



tmmob
makina mühendisleri odası



15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi



26-29 NİSAN 2023

MMO Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi - İzmir

BİLDİRİLER KİTABI



tmmob
makina mühendisleri odası

15. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ

BİLDİRİLER KİTABI

tmmob
makina mühendisleri odası

Meşrutiyet Cad. No: 19 Kat: 6-7-8 Kızılay / ANKARA
Tel : (0312) 425 21 41 Pbx Faks: (0312) 417 86 21

ODA YAYIN NO: E/MMO/742

ISBN 978-605-01-1569-7

BU YAPITIN YAYIN HAKKI MMO' NA AİTTİR.

DİZGİ VE KAPAK TASARIMI : TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
MMO Tepekule Kongre - Sergi ve İş Merkezi
Anadolu Cad. No:40 Kat: M2 35010 Bayraklı/İzmir
Tel : (0232) 462 33 33 Pbx

Bu yayın MMO tarafından derlenmiştir. MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Yunus Yener
Harun Erpolat
Aytekin Çakır
Vahap Uğurludemir
Seyit Ali Korkmaz
İbrahim Atmaca
Emine Kaya
Umut Cüneyt İyiol
Nejdet Kaya
Birce Altay
Melis Arıcıoğlu
Aydan Adanır Usta
İlkin Boz
Evrin Aksoy
Osman Mıhçıokur
Cansel Osmanoğlu
Erdal Tozoğlu
Mehmet Çakmak
Yaşar Baş
Dilek Denizci
Birhan Şahin

TMMOB Makina Mühendisleri Odası
TMMOB Makina Mühendisleri Odası
TMMOB Makina Mühendisleri Odası
TMMOB MMO Adana Şubesi
TMMOB MMO Ankara Şubesi
TMMOB MMO Antalya Şubesi
TMMOB MMO Bursa Şubesi
TMMOB MMO Denizli Şubesi
TMMOB MMO Diyarbakır Şubesi
TMMOB MMO Edirne Şubesi
TMMOB MMO Eskişehir Şubesi
TMMOB MMO İstanbul Şubesi
TMMOB MMO İzmir Şubesi
TMMOB MMO İzmir Şubesi
TMMOB MMO Kayseri Şubesi
TMMOB MMO Kocaeli Şubesi
TMMOB MMO Konya Şubesi
TMMOB MMO Mersin Şubesi
TMMOB MMO Samsun Şubesi
TMMOB MMO Trabzon Şubesi
TMMOB MMO Zonguldak Şubesi

KONGRE YÜRÜTME KURULU

Aytekin Çakır
Battal Kılıç
Cemal Ahmet Akçakaya
Harun Erpolat
Mehmet Soğanlı
Necmi Varlık
Tevfik Peker
Yunus Yener

KONGRE SEKRETERİ

Necmi Varlık

KONGRE SEKRETARYASI

Baturalp Osmanlar
Ece Gültekin
Gizem Balcı
Murat Üstebay
Sungu Köksalözkan
Önder Sözen

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

- BACADER - Baca İmalatçıları ve Uygulayıcıları Derneği
ÇEDBİK - Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
DİD - Deprem İzolasyon Derneği
DOSİDER - Doğal Gaz Cihazları Sanayicileri ve İş Adamları Derneği
ENSİA - Enerji Sanayicileri & İş Adamları Derneği
ESSİAD - Ege Soğutma Sanayicileri ve İş Adamları Derneği
EYODER - Enerji Verimliliği ve Yönetimi Derneği
ISKAV - Isıtma Soğutma Klima Araştırma ve Eğitim Vakfı
İSİB - İklimlendirme Sanayi İhracatçıları Birliği
İSKİD - İklimlendirme Soğutma Klima İmalatçıları Derneği
İZODER - Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği
MTMD - Mekanik Tesisat Mütahhitleri Derneği
MÜKAD - Mühendis ve Mimar Kadınlar Derneği
POMSAD - Türk Pompa ve Vana Sanayicileri Derneği
SOSİAD - Soğutma Sanayii İş Adamları Derneği
TEMEV - Temiz Enerji Vakfı
TTD - Temizoda Teknolojileri Derneği
TIBTD - Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği
TRFMA - Tesis Yönetim Derneği
TürkMMMB - Türk Müşavir Mühendisler ve Mimarlar Birliği
TTMD - Türk Tesisat Mühendisleri Derneği
TÜYAK - Türkiye Yangından Korunma ve Eğitim Vakfı / Yangından Korunma Derneği
UHE - Ulusal Havuz Enstitüsü Derneği
UTTMD - Uluslararası Tesis Teknik Müdürleri Derneği

SUNUŞ

Makina Mühendisleri Odası tarafından 1993 yılından itibaren iki yılda bir düzenlenen Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongreleri'nin onbeşincisini 26-29 Nisan 2023 tarihleri arasında 30. kez İzmir'de gerçekleştiriyor olmaktan onur duymaktayız.

Tesisat Mühendisliği, makina mühendisliği içinde en önemli meslek alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu alan inşaat sektöründeki hareketliliğe bağlı olarak hızla gelişmekte ve buna paralel olarak bu alanda yetişmiş eleman gücüne olan gereksinim de her geçen gün artmaktadır. Makina Mühendisleri Odası, bu doğrultuda üyelerine ve sektördeki tüm teknik elemanlara gelişmeleri doğru ve yeterli şekilde ulaştırmak amacıyla, tüm meslek alanlarımızda olduğu gibi, tesisat mühendisliği alanında da çalışmalarını sürdürmektedir.

Gelişmiş ülkelerde uygulanan yapı standartları ve kodları henüz ülkemize bütünü ile yansımamış olsa bile bu alanda tarafımızdan gerçekleştirilen Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongreleri'nin ivmelendirdiği süreçlerde önemli adımlar atılmaktadır. Buna ilave olarak, mühendislik etiği, uzman mühendislik, yapı denetimi, eğitim ve akreditasyon gibi mesleğimizin önemli konuları önceki Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongreleri'nde ele alınmış ve kamuoyu bilgilendirilmiştir. Böylece Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi bir yandan yeni bilgi ve teknolojilerin paylaşıldığı etkili bir platform olarak görevini yerine getirirken, diğer yandan meslek alanlarımızı ve halkımızı yakından ilgilendiren pek çok konuyu ülke gündemine taşıma görevini de üstlenmiştir.

Kongrelerimizde tesisat alanında çalışan makina mühendisleri ile yapı üretiminde görevli diğer tüm meslek disiplinleri elemanlarının birlikte çalışmaları özendirilerek, daha verimli ve sağlıklı yapıların oluşturulması amacıyla yönelik olarak, disiplinler arası çalışmaların temellerinin atılmasına büyük önem verilmektedir.

Teskon 2023 kapsamında sunum, tartışma ve eğitim platformları değişik başlıklar altında toplanmış bulunmaktadır. Bu platformlar, Bilimsel/Teknolojik Araştırma Oturumu, Sempozyum, Seminer, Konferans, Panel ve Forum olarak adlandırılmıştır.

Önceki yıllarda olduğu gibi, 15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi de birlikte üretme ve yaşama geçirme anlayışı ile çok yönlü katılımı amaç edinen ve ülke geneline yayılmış bulunan; Düzenleme Kurulu Üyeleriyle, Destekleyen Kurum ve Kuruluşlarıyla, Yürütme Kurulu ve Sekreteryasıyla birlikte sürdürülen uzun erimli bir çalışmanın ürünüdür.

Konusunda uzman, örnek uygulamalar gerçekleştirmiş, çağdaş bilgi ve deneyime sahip mühendis ve bilim insanlarının sundukları bildirimlerin yer aldığı ve bu yıl ilk kez sadece dijital olarak sizlerle buluşan Kongre Bildiriler Kitabı'nın yayımlanması ile birlikte Kongremize katılamayan pek çok tesisat mühendisinin bu birikimlerden yararlanması mümkün olacaktır.

Kongremizi; başlangıcına yedi ay kala kaybettiğimiz, Odamızın ve İstanbul Şubemizin eski yöneticilerinden, en son Tesisat Mühendisliği Dergisi Yayın Kurulu Üyeliği ve TESKON Yürütme Kurulu Başkanlığı görevlerini yürüten meslek büyüğümüz Ali Metin Duruk Anısına düzenliyoruz. O'nu her zaman saygıyla, sevgiyle ve katkılarıyla anacağız.

Kongremizin gerçekleştirilmesinde emeği geçen Düzenleme Kurulu üyelerine, destekleyen kurum ve kuruluşlara, bildiri sunan yazarlarımıza, seminer ve sempozyum düzenleyicilerimize, panellerimize katılan yönetici ve uzmanlara, Kongremiz bünyesinde gerçekleştirilen teskon+sodex Fuarı'na katılarak önemli destek sağlayan değerli firmalara, Kongremizin tüm delegelerine, Yürütme Kuruluna, Kongre Sekreteryasına, İzmir Şubemiz Yönetim Kurulu ve çalışanlarına teşekkür ediyoruz.

Saygılarımızla.

TMMOB
Makina Mühendisleri Odası
Yönetim Kurulu

ÖNSÖZ

TMMOB Makina Mühendisleri Odası tarafından 1993 yılından itibaren iki yılda bir düzenlenen Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongrelerinin onbeşincisini 26-29 Nisan 2023 tarihleri arasında tekrar İzmir’de gerçekleştiriyor olmaktan onur duymaktayız.

Tesisat mühendisliği alanında çalışan mühendislerin, bilim adamlarının, sanayicilerin ve diğer meslek disiplinlerinin bir araya gelerek bilgi alışverişinde bulunmalarını ve son bilimsel araştırma sonuçları ile teknolojik gelişmeleri izleme olanağını sağlayan 15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, alanında en yaygın katılımlı ulusal bir platform olma özelliğini sürdürmektedir.

15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi bu yıl “**Mekanik Tesisatta Dönüşüm**” ana teması ile gerçekleştirilmiştir. Teskon 2023 kapsamında hakem incelemesinden geçirilen toplam 121 bildiri paralel oturumlarda sözlü olarak sunulmak üzere kabul edilmiştir. Sunulan bu bildiriler “**Küresel Salgın ve Mekanik Tesisat**”, “**Temel Bilimler**”, “**Soğutma Teknolojileri**”, “**Binalarda Enerji Performansı ve Sıfır Enerjili Binalar**”, “**İç Hava Kalitesi**” sempozyumlarındadır. Ayrıca Kongre kapsamında “**Bacalar**”, “**Binalarda Commissioning Uygulamaları ve Faydaları**”, “**Bütünleşik Sistem Tasarımında Performans Modelleme ve Simülasyon Uygulamaları**”, “**Enerji Depolama Uygulamalarında Yenilikçi Yaklaşımlar**”, “**Binalarda Titreşim, Ses ve Yangın Yalıtımı**”, “**Yangın ve Can Güvenliğine Yönelik Tesis Edilen Sistemlerin Çalışma Sürekliliğini Sağlayacak Periyodik Kontrol, Test ve Bakım Süreçlerinin Yönetimi**”, “**Yapı Bilgi Modellemesi (BIM)**”, “**Madenlerde Havalandırma Sistemleri**” seminerleri ve bilimsel/teknolojik araştırma oturumlarının bildirileri olarak bu kongrede sadece dijital olarak yayımlanarak Kongre Bildiriler Kitabında yer almaktadır.

Tesisat Mühendisliği alanındaki sorunların ortaya konulduğu ve irdelendiği değişik platformları oluşturma amacına yönelik olarak da bu yıl Kongremiz kapsamında “**Yeşil Mutabakat**” ve “**Mekanik Tesisatta Dönüşüm**” başlıklı iki panel düzenlenecektir.

Kongremizi; başlangıcına yedi ay kala kaybettiğimiz, Odamızın ve İstanbul Şubemizin eski yöneticilerinden, en son Tesisat Mühendisliği Dergisi Yayın Kurulu Üyeliği ve TESKON Yürütme Kurulu Başkanlığı görevlerini yürüten meslek büyüğümüz Ali Metin Duruk Anısına düzenliyoruz. O’nu her zaman saygıyla, sevgiyle ve katkılarıyla anacağız.

Düzenleme ve Yürütme Kurulu olarak, ülkemizde tesisat mühendisliği alanında çağdaş bilgi ve teknolojinin kullanılarak gelişmesi perspektifi ile tüm etkinliklere destek veren, öncülük eden Makina Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu’na, Kongre çalışmalarının özgün bir çalışma ortamında yapılmasını sağlayan Kongre Sekretaryası’nı oluşturarak, hazırlık çalışmalarında her türlü desteği veren Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yönetim Kurulu’na, Kongre başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar tüm hazırlık hizmetlerini yürüten Kongre Sekretaryası’na, Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi çalışanlarına, Kongre’nin yürütülmesinde özverili, gönüllü olarak görev alan genç mühendis meslektaşlarımıza ve Makina Mühendisliği Bölümü öğrencilerine, Kongre’nin ülke genelinde etkinliğini artırmaya çaba göstererek Kongreyi destekleyen kurum ve kuruluşlara teşekkür ediyoruz.

Ayrıca, Kongre oluşumuna görüş ve önerileri ile önemli katkılarda bulunan sempozyum ve seminer yöneticilerine, sundukları bildirilerle Kongre’yi olanaklı kılan tüm uzmanlara ve öğretim üyelerine, Kongreye sunulan bildirileri değerlendiren hakemlerimize, “Kongre Delegatesi” olma bilincini taşıyarak çağdaş bilgi ve teknolojiye ulaşma çabası içinde olan değerli tesisat mühendislerine, mimar ve diğer teknik elemanlara, Kongre’nin duyurulmasına katkıda bulunan sektörel yayın kuruluşlarına, teşekkürlerimizi sunarız.

KONGRE DÜZENLEME-YÜRÜTME KURULU
26 Nisan 2023

KÜRESEL SALGIN VE MEKANİK TESİSAT SEMPOZYUMU

1. Bilge,	Mustafa. Peker, Tevfik. Yılmazoğlu. M. Zeki. "Pandemi İle Mücadelerde Hastanelerde Klima Ve Havalandırma Tesisatında Alınacak Önlemler"	1
2. Yüce ,	Bahadır Erman. "Duvar Tipi Klimaların Enfekte Damlacık Dağılımına Etkisi"	14
3. Divrikli ,	Esmâ Sariaslan. "Et Kombinalarında Pandemi Kuralları Ve İklimlendirme Sistemlerinde Alınması Gereken Önlemler"	24
4. İlhan,	Mükremin. Bağan, Levent. Çetinkaya, Bilal. Ulu, M. Serdar. "Covid-19 Salgını Döneminde Mevcut Binalarda İklimlendirme Ve Havalandırma Sistemlerinin İşletme Ve Bakımı Yönünden Alınması Gereken Genel Tedbirler"	35

BİNALARDA COMMISSIONING UYGULAMALARI VE FAYDALARI SEMİNERİ

5. Candemir,	Azemet. "Yapı Kabuğu BİD – YKBİD"	47
6. Özmen,	Emre. "Yeni Binalarda Mep Sistemleri Bid (Commissioning) Süreci"	57

İÇ HAVA KALİTESİ SEMPOZYUMU

7. Genç,	Alper Mete. Atmaca, İbrahim. Karadeniz, Ziya Haktan. "Şehirlerarası Otobüslerde Menfez Konumlarının Kabin İçi Hava Dağılımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi"	73
8. Çobanoğlu	Nur. Şahin, Çağrı. Karadeniz, Ziya Haktan. Sofuoğlu, Sait Cemil. Sofuoğlu, Aysun. "Mekanik Havalandırma Sınıflarında Havalandırma Debisinin İç Hava Kalitesi Üzerindeki Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi"	81
9. Atcı,	Fatih. Çetin, Yunus Emre. Aydın, Orhan. "Bir Ofis Ortamında Uzak Uv-C (222 Nm) İle Hava Dezenfeksiyonu: Sayısal Çalışma"	94
10. Özbey,	Nurdan. Arslanbaş, Demet. "Bir Kuaförün Farklı İşlem Uygulanan Ortamlarında Partikül Kirliliğinin Değerlendirilmesi"	106
11. Sarı,	Kaan. Yüksel, Ahmet. Arıcı, Müslüm. Civan, Mihriban. "Camilerde İç Ortam Partikül Madde Seviyelerinin Ve Dış Ortam İle İlişkisinin Değerlendirilmesi"	116
12. Şahin,	Çağrı. Sofuoğlu, Sait Cemil. "Düşük Maliyetli Ve Taşınabilir Partikül Madde (Pm) Sensörlerinin Kalibrasyonu"	126
13. Menteşe,	Sibel. Aydın, Müge. "Covid19 Pandemisi Kapsamında Tam Kapanma Döneminde Evlerin İç Ve Dış Ortam Havasında Uçucu Organik Bileşik Düzeyleri"	140
14. Nikravan,	Afsoun. Babaei, Parisa. Güllü, Gülen. "Astımlı Okul Çağı Çocukların Evlerinde İç Ortam Mikrobiyal Kirlenmelerin İncelenmesi"	150
15. Babaei,	Parisa. Nikravan, Afsoun. Güllü, Gülen. "Okul Çağı Çocukların Evlerinde Kalıcı Organik Kirlenici Seviyelerinin Belirlenmesi: Vaka Kontrol Çalışması"	159
16. Edebali,	Özge. Genişoğlu, Mesut. Sofuoğlu, Aysun. Turgut, Cafer. Sofuoğlu, Sait Cemil. "İzmir'deki Okullarda İç Ortam Yer Tozu Pbde Düzeyleri"	169

YAPI BİLGİ MODELLEMESİ (BIM) SEMİNERİ

17. Elibollar,	Serkan. "BIM Platformu Ve Dijital Kütüphaneler"	180
18. Kılınçarslan,	Tanju. "BIM ve Dijital İkiz"	186

YANGIN VE CAN GÜVENLİĞİNE YÖNELİK TESİS EDİLEN SİSTEMLERİN ÇALIŞMA SÜREKLİLİĞİNİ SAĞLAYACAK PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM SÜREÇLERİNİN YÖNETİMİ SEMİNERİ

19.	Güneç,	Özlem. "Sulu Söndürme Sistemlerinin Periyodik Kontrol, Test Ve Bakımı".....	196
20.	Aktaş,	Volkan. "Yangın Algılama Ve Uyarı Sistemlerinin Periyodik Kontrol, Test Ve Bakım Prosedürleri".....	209
21.	Balık,	Gökhan. "Duman Kontrol Sistemlerinin Periyodik Kontrol, Test Ve Bakım Prosedürleri".....	222
22.	Portakal,	Duhan. "Yangın Korunum Sistemlerinde Akıllı Bakım Yönetimi – Veri Analizi Ve Kestirimci Bakım" ..	231

ENERJİ DEPOLAMA UYGULAMALARINDA YENİLİKÇİ YAKLAŞIM SEMİNERİ

23.	Koçak,	Burcu. Paksoy, Halime. "Endüstride Güneş Enerjisi Uygulamaları İçin Yüksek Sıcaklıkta Termal Enerji Depolama" ..	246
24.	Çetin,	Ayşegül. Paksoy, Halime. "Yeraltında Termal Enerji Depolama Yöntemleri, Türkiye Ve Dünyada Mevcut Uygulamalar".....	262
25.	Özbek,	Veli. "Evsel Çözümlerde Fotovoltaik Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi Ve Isıtma Sistemi Entegrasyonunda Enerji Depolamanın Önemi".....	272
26.	Aksoy,	Hasan. "Enerji Ve Ulaştırma Sektörleri Dönüşümünde Batarya Teknolojilerinin Rolü: Eğilimler, Fırsatlar Ve Yenilikçi Uygulamalar"	282

TEMEL BİLİMLER SEMPOZYUMU

27.	Yağcı,	Esra. Aydın, Orhan. Balı, Tülin. "Düzlemsel Bir Kanal İçindeki Power-Law Akışkanın Mhd Akış Ve Isı Geçişi"	288
28.	Çelik,	Hamdi Selçuk. Doğan, Bahadır. Erbay, L. Berrin. "Serpantin Tipi Bir Isı Değiştiricinin Isıl Performansının Analitik, Sayısal Ve Deneysel İncelenmesi"	301
29.	Göker,	Sinem. Yaman, Hakan. Şentürk, Utku. "Otomotiv Sektöründe Kullanılan S-Kanatlı Tipte Bir Eksenel Fanın Akış Simülasyonları Ve Performans Testleri"	318
30.	Genç,	Alper Mete. Yıldırım, Yusuf. Karadeniz, Ziya Haktan. "Gyroid Isı Değiştiricilerinin Akış Ve Isı Transfer Karakteristiklerinin İncelenmesi"	327
31.	Örnek,	Tarcan. Kaya, Erdem. Şentürk, Utku. "Kelebek Vana Karakteristik Eğrilerinin Açık Kaynaklı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle Belirlenmesi"	337
32.	Toprak,	Beytullah İsmet. Solmaz, İsmail. Şahin, Yiğit Serkan. "Yapay Alüminyum Köpük Isı Alıcısının Çarpan Jetle Isı Transferi Ve Akış Karakteristiklerinin Sayısal Analizi"	348
33.	Kılış,	Biol. "Beraber Isı Ve Güç Sistemlerinde Üretilen Isının Ekserji Akılcı Değerlendirilme Seçenekleri"	357
34.	Özsancak,	Nil. Kılış, Birol. "Ekserji-Akılcı En Uygun Jeotermal Kuyu Derinliğini Çözümleme Modeli"	369
35.	Uyar,	Erol. Candan, Mücahid. "Boru Hattı Parametre Değişimlerine Bağlı Seviye Kontrolünün Dinamiği Ve Kararlılığı"	382
36.	Kahraman,	Enes. Ertürk, Mustafa. Keçebaş, Ali. Çay, Yusuf. "Karadeniz Bölgesindeki 114 İlçenin Isıtma Derece Saat Değeri Hesapları İçin Yeni Bir Yöntemin Araştırılması"	394

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

37. İlgın,	Muhammed Hüseyin. Ertürk, Mustafa. "Isıtma Sistemleri Çalışma Sürelerinin Aylık Ve Sezonluk Olarak İzmir İli İçin Araştırılması" . 415
38. Kesen,	Fırat. Günerhan, Hüseyin. Hepbaşlı, Arif. "Nanoakışkan Kullanılan Güneş Kolektörlerinin Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması" 432
39. Ayhan,	Bülent. Öztürk, Hasan Hüseyin. "Adana İklimi Koşullarında Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma Amacıyla Vakum Borulu Toplaç Ve Nanoakışkan Kullanılması Üzerine Bir Araştırma" 445
40. Aksoy,	Mehmet. Ata, Sadık. Kahraman, Ali. Şahin, Remzi. "Türkiye'de Orç Destekli Jeotermal Enerji Santrallerinde Kullanılan Organik Akışkanların Termodinamik Performanslarının Karşılaştırılması" 466
41. Yılmaz,	Fatih. "Jeotermal Enerji Destekli Kombine Bir Çevrim İle Güç, Hidrojen Ve Sıcak Su Üretiminin Tasarlanması Ve Termodinamik Performans Analizi" 476
42. Batur,	Barbaros. Çelik, M. Cem. Akgün, Muammer. "Sürekli Çalışan Endüstriyel Fırının Isıl Analizi" 486
43. Ufat,	Hande. "Mahal İçerisindeki Radyatör Yerleşiminin İçerideki Sıcaklık Dağılımına Etkisinin Nümerik Analiz İle İncelenmesi" 499
44. Koparan,	Mehmet Furkan. Yılmaz, Ömer Faruk. Cumhuri, Ahmet. Aktan, Berkan. İnan, Oktay. Alptekin, Ersin. "Silindirik Fdm Haznesinde Kanatçık Kullanımının Performans Analizi" 509
45. Özdemir,	Fırat. Akdemir, Özay. Güngör, Ali. "Isı Borusu Uygulamaları Ve Son Gelişmeler" 520

BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI VE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR SEMPOZYUMU

46. Akgün,	Muammer. Batur, Barbaros. Yurtsever, Özlem. Çelik, M. Cem. "Karbonsuz Gelecek" 535
47. Kılış,	Biol. "%100 Yenilenebilir Enerjili Kentler ve Hidrojen Ekonomisi" 563
48. Yılmaz,	A. Zerrin. "Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği İçin Öncelikli Sorunlar" 570
49. Kızanlık İskender,	Seçil. "Akıllı Evler" 577
50. Can,	Ahmet. "Birincil Enerji Kullanımı Sıfır Binaların Enerji Etkinliği İçin Değerlendirme" 591
51. Kılış,	Biol. "Net Sıfır-Enerjili Bina Mı Net-Sıfır Ekserjili Bina mı" 602
52. Kılış,	Biol. Uğuz, Metin. "%100 Taze Havalı, Çevreci, Yeni-Nesil Klima Cihazlarının Ekserji-Tabanlı Tasarım ve Değerlendirme Modeli" 621
53. Yavuz,	Biol. "Geleceğe Uyumlu İklimlendirme Sistemleri" 641
54. Bulgurcu,	Hüseyin. Koçyiğit, Necati. "Isıl Yük Hesaplarında Türkiye İçin Yeni İklim Verileri" 650
55. Erdemir Kocagil,	İdil. Koçlar Oral, Gül. "Kentsel Geometrinin Konut Yerleşmelerinde Enerji ve Güneş Enerjisi Performansına Etkisi: İstanbul Örneği" 660
56. Kılış,	Biol. Heperkan, Hasan Alpay. "Yeşil Sertifikasyonlarında Yerlilik ve Küresel Kriz Duyarlığında TSE Güvenli-Yeşil Bina Belgelendirme Örneği" 672

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

57. Çalık,	Halil İbrahim. Özgören, Muammer. "Düşük Emisyonlu Yeşil Bina Tasarımı ve Hesaplanması: Ankara İli İçin Örnek Bir Çalışma" 684
58. Manioğlu,	Gülten. Akşit, Ş. Filiz. Köse Murathan, Eda. Taşkın, Halime Firdevs. Ganiç Sağlam, Neşe. "Enerji Etkin Yerleşme Dokusu Seçeneklerinin Değerlendirilmesi" 722
59. Köse Murathan,	Eda. Manioğlu, Gülten. "Avlulu Binalarda Çevresel Parametrelerin Dış Ortam Konfor Koşulu Bakımından Değerlendirilmesi" 738
60. Akşit,	Şule Filiz. Akfıdan Metin, Cansu. "Isıtma Enerjisi Korunumunda Etkili Olan Tasarım Değişkenlerinin Değerlendirilmesi: Bolu Gülezler Konağı" 756
61. Başyazıcı,	İbrahim Utku. Ağra, Özden. "Bileşik Isı Güç Sistemi Olarak Bir Alışveriş Merkezinde Yakıt Pili Uygulaması" 771
62. Uzman,	İsmail. Yurdakul, Can Kıraç. "Yüksek Binalarda Enerji Geri Kazanımı İçin Ahır Performans Sertifikalı Contalı Plakalı Eşanjör Kullanımı" 782
63. Pamuklu,	Erdem Can. Fenercioğlu, Artuğ. Yılmaz, Büşra. "Akıllı Kontrol Vanalarının Mekanik Tesisatta Kullanımının Tesisat Ve Kontrol Sistemi Tasarım Ve Uygulamalarına Etkileri" 787
64. Özçelik,	Batuğhan Rüştü. Akdemir, Özay. Gürel, Arslan Çağlayan. "Ege Bölgesinde Isı Pompalı Yerden Isıtma Sisteminin İncelenmesi" 796
65. Pastakkaya,	Bilsay. "Bir Yapının Doğalgazlı Kombi İle Yerden Isıtılması Uygulamasında Isıtma Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi" 809
66. Bayramian,	Hourieh. Günerhan, Hüseyin. Yıldırım Yalçınkaya, Deniz. "Güneş Enerjisi Destekli Isıtma Sistemlerin F-Grafik Yöntemi İle Analizi" 822
67. Turan Tombak	Esra. "Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Kamu Binalarının Enerji Etkin Dönüşümü" 837
68. Önal,	Büşra Selenay. Heperkan, Hasan Alpay. "Yeni Enerji Teknolojilerinin Binalarda Kullanımının Enerji Performansına Etkileri" 850
69. Batur,	Barbaros. Çelik, M. Cem. Akgün, Muammer. "Süreksiz Çalışan Isıl Sistemlerde Enerji Tasarrufunun Analizi" 870
70. Kan,	Furkan Erman. Arıcı, Mehmet Emin. "Farklı Tuğla Boşluğu Düzenlemlerinin Isıl Direnç Üzerine Etkisi" 881
71. Çaçan,	Buse. Ertürk, Mustafa. Aydın, Ahmet. "İl Bazlı Optimum Hava Tabakası Kalınlığının Marmara Bölgesi İçin Araştırılması" 890
72. Fındık,	Cansu. Kumlutaş, Dilek. Yücekaya, Utku Alp. Sönmez, Göknil. Akış, Tunahan. Özer, Özgün. "Su Kaynakları Isı Pompaları İçin İnverter Kompresör Kullanımının Analitik Olarak İncelenmesi" 899
73. Mungan Arda,	Meral. Azizoğlu, Selim Can. "Sürdürülebilir Soğutma, Soğutma Sektörü Durum Raporu" 910
74. Batur,	Barbaros. Çelik, Mustafa Cem. Yurtsever, Özlem. Akgün, Muammer. "Enerji Yoğun Sektörlerde Dekarbonizasyon" 923
75. Güngör,	Gökhan. Cur, Jan Gabriyel. Çilingiryan, Kami. "Isı Pompası Dış Ünitesi Eşanjörünün İstanbul Şartlarında Alternatif Gazlar İle Performansının İrdelenmesi" 935
76. Tunç,	Ahmet Murat. Yaraş, Nadide Asuman. "Veri Merkezi Klima Santrali Test Laboratuvarlarında Atık Isının Kullanımı Yöntemiyle Enerji Tasarrufu ve Karbon Ayak İzine Etkisi" 944

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

77.	Söğüt,	M.Ziya. "Hastaneler İçin Çevresel Sürdürülebilirliğin Kriterleri; Enerji Verimliliği ve Yönetimi"	958
78.	Yüce,	Ozan Serhat. Fenercioğlu, Artuğ. "Büyük Hastanelerde Mekanik Sistemlere Otomasyon Yönetim Sisteminin Entegrasyonu İle Enerjinin Etkin Kullanımı Vaka Analizi"	968
79.	Tarakcioğlu Başeğmez,	Aslı. Temir, Galip. "Örnek Bir Hastane Binasında Enerji Tüketim Değerlerinin Hesaplanması"	983
80.	Söğüt,	M.Ziya. Mutlu, Hamit. "Kurumsal Yapılarda Enerji Verimli Dönüşüm ve Okul Örneği: Mekanik Enerji Sistem Verimliliği ve Talep Yönetimi Proje Çözümü"	993
81.	Demirpolat,	Süleyman Orkun. Demirpolat, Havva. "Eğitim Yapılarında Enerji Verimli Isıtma Sistemi Dönüşümü; Örnek Çalışma Sarayönü Meslek Yüksekokulu"	1002
82.	Tomrukçu,	Gökçe. Avgan, Gizem. Kızıldağ, Hazal. Dal, Ayşe Özlem. Ganiç Sağlam, Neşe. Kalaycioğlu Özdemir, Ece. Ashrafiyan, Touraj. "Enerji Performans Simülasyonunun Doğrulama Süreci: Okul Binası Örneği"	1013
83.	Yılmaz,	Önder "Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mekanik Tesisat Birim Fiyat ve Tarifleri"	1027
84.	Söğüt,	M. Ziya. "Kurumsal Yapıların Isı Talebi Yönetimi İçin Verimliliğe Bağlı Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergeleri"	1034
85.	Dal,	Ayşe Özlem. Tomrukçu, Gökçe. Kızıldağ, Hazal. Avgan, Gizem. Kalaycioğlu Özdemir, Ece. Ganiç Sağlam, Neşe. Ashrafiyan, Touraj. "Bina Enerji Performans Analizi; Simülasyon, Doğrulama ve Kalibrasyon Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma"	1044
86.	Koral,	Oğuzhan. Manioğlu, Gülten. Demiröz Boz, Betül. "Enerji Etkin Çoklu Senaryolu Bina ve yerleşim Tasarımı İçin Parametrik Model Üretilmesi"	1053

SOĞUTMA TEKNOLOJİLERİ SEMPOZYUMU

87.	Şişman,	Süleyman. İpekoğlu, Mehmet. Parmaksızoğlu, İ. Cem. "GWP Değeri Düşük Soğutucu Akışkanlı, İç Isı Değiştiricili Soğutma Sisteminin Modellenmesi"	1065
88.	Zeybek,	Sadık Berk. Kan, Miraç. "R22 Gazına Alternatif Bir Soğutucu Gazın, Yeniden Dolum İşlemi İçin Araştırılması"	1074
89.	Kırtepe,	Erhan. Güngör, Ali. "Güneş Enerjili Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Şırnak İli İklim Koşullarındaki Davranışının Teorik İncelenmesi"	1081
90.	Erkan,	Turan. Güngör, Ali. "Sebze ve Meyvelerin Hasat Sonrası Önsoğutulması Yöntemleri ve Hesaplama Prensipleri"	1095
91.	Bulgurcu,	Hüseyin. Şavkay, Önder. "Tahıl Silolarında Isı Yüklerinin Hesaplanması"	1131
92.	Bulgurcu,	Hüseyin. "Meyve ve Sebze Soğuk Depo Yük Hesaplamalarındaki Belirsizlikler İçin Öneriler"	1148
93.	İsa, Kadir. Aslantaş, Kıvanç. Can, Hayati.	"Soğutma Uygulamalarında Net Sıfır Hedefi İçin Yetkin Teknik Personelin Önemi"	1165
94.	Küheylan,	Cüneyt Deniz. Özkan, Derya Burcu. "Mahallerin Tavandan Soğutulmasına Etki Eden Parametrelerin deneysel İncelenmesi"	1170
95.	Denizli,	Harun. Zabun, Mustafa. "Oda Soğutucularında Defrost Flap'in Defrost Esnasında Odaya Olan Isı Kazancına Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi"	1188

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

96. Devres, Y. Onur.
"Gıda Üretim Tesisleri Ve Cihazlarının Hijyenik Tasarımı İle Yapımında Görev Alacak Mimarlar, Mühendisler Ve Tasarımcıların Çalıştığı Firmaların Gfsı JI/JII'ye Göre Belgelendirilmesi"... 1204

BİNALARDA TİTREŞİM, SES VE YANGIN YALITIMI SEMİNERİ

97. Diz, Timur. Tanyol, Beyza. Aktaş, Yiğit Kaan.
"TS 825 Yalıtım Standardının Güncellenme Çalışmaları" 1226
98. Dürmüş, Günay.
"Yapılardaki Mekanik Sistemlerin Titreşim İzolasyonu" 1236
99. Dikmen, Volkan.
"Mekanik Tesisat Ve Ekipmanların Sismik Koruma Sistemleri Hesaplamaları, Projelendirme Ve Uygulamaları" 1242
100. Kavas, Mert.
"Binalarda Mekanik Tesisat Gürültüsü Kontrol Adımları" 1252
101. Dikmen, Volkan.
"Mekanik Odalarda Ses Yalıtımı Ve Titreşim Kontrolü Uygulamaları" 1264
102. Heperkan, Hasan. Kılış, Birol.
"TSE Güvenli Ve Yeşil Bina Belgelendirme Sisteminin Deprem Bölgelerinde Değerlendirilmesi" 1273

BÜTÜNLEŞİK SİSTEM TASARIMINDA PERFORMANS MODELLEME SEMİNERİ

103. Yılmaz, Levent.
"Otel Elektromekanik Tesisatında IoT [Internet of Things] Tabanlı BMS [Building Management Systems] Uygulama Esasları" 1279
104. Gökşen, Fulya.
"Dijitalleşen İnşaat Sektörü ve ISO 19650 Standardı" 1286
105. Ulukavak Harputlugil, Gülsu.
"Yüksek Performanslı Bina Tasarımında Dijital Dönüşümün Yarattığı Fırsatlar" 1298

MADENLERDE HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ SEMİNERİ

106. Gönülalan, A.Uğur. Güreli, Orhan.
"Kömür Yataklarındaki Metan Gazının (CBM) ve Fayların (Kırıkların) Jeofizik-Sismik Yöntemlerle Belirlenmesi" 1305
107. Barış, Kemal
"Türk Yeraltı Ocaklarında Değişmesi Gereken Bir Yaklaşım: Havalandırma" 1322
108. Bulgurcu, Hüseyin.
"Kömür Madenleri İçin Havalandırma Sistem Tasarımı" 1334
109. Kılıçarslan, Ali Ozan. Tunç, Ahmet Murat.
"Yeraltı Maden İşletmeciliğinde Havalandırma Sistemi" 1352
110. Özmen, Emre.
"Yer Altı Maden (Cebri) Havalandırma Otomasyon Sistemleri" 1359

BACALAR SEMİNERİ

111. Coşkun, Murat. Yallagöz, Mustafa Zekai.
"Hermetik Baca Uygulamaları / Yanlış Uygulamalar / Kollektif ve Konsantrik Baca Sistemleri (LAS / CLV / 3CE)" 1416
112. Gür, Hakan.
"Endüstriyel Bacalar ve Standartları (H0 ve H1 SINIFI)" 1449
113. Akgün, Muammer.
"Endüstriyel Bacalarda Titreşim Kontrolü" 1457

İÇİNDEKİLER**Sayfa No**

114. Gür,	Hakan. "Bacalar ve Kontrol Standartları"	1469
-----------	---	------

BİLİMSEL TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA OTURUMLARI

115. Savtak,	Arda. Tokgöz, Rasim. Erdoğan, Seçkin Tuncer. "Binalarda Yangın Güvenliği ve Yangın Dampierleri"	1476
116. Polat,	Ali. "Ameliyat Salonlarındaki Yangın Güvenlik Önlemlerinin İncelenmesi"	1484
117. Yağcı,	Oğuz Kaan. Aydın, Orhan. Avcı, Mete. Markal, Burak. "Fotovoltaik Panellerin Faz Değiştiren Madde Destekli Isı Alıcısıyla Soğutulması"	1502
118. Taşkın,	Halime Firdevs. Manioğlu, Gülten. "Yerleşme Tasarımında Arazi Kullanım Oranı ve Malzeme Seçiminin Yüzeysel Akış Miktarına Etkisi"	1517
119. Demirbaş,	Ömer Faruk. Ertürk, Mustafa Ali Ergün. "Tekstil Fabrikalarında Atık Isının Termoelektrik Jeneratör Sistemiyle Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesinin Araştırılması"	1529
120. Zabun,	Mustafa. Denizli, Harun. "Hava Soğutmalı Yağ Soğutucu Isı Eşanjöründe Kullanılan Burgulu ve Tel Türbülatorlerin Ürün Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi"	1546
121. Kılıç,	Oğuz. Baş, Ferhatcan. Onbaşıoğlu, Hüseyin. "Yeni "Y" Kanat Modelinin Isı Transferi Performansının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi"	1555



KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ 114 İLÇENİN ISITMA DERECE SAAT DEĞERİ HESAPLARI İÇİN YENİ BİR YÖNTEMİN ARAŞTIRILMASI

Calculation Of Heating Degree Hour Values of f 18 Provinces And Districts In The Black Sea Region By A Different Method

Enes Kahraman
Mustafa Ertürk
Ali Keçebaş
Yusuf Çay

ÖZET

Isıtma derece saat hesaplamalarında en az on yıllık saatlik bazda dış hava sıcaklığı meteoroloji veri setiyle hesaplamalar yapılmaktadır. Türkiye'de son on yıl düzenli olarak saatlik dış hava sıcaklıkları ölçüm sonuçlarına ulaşılamamaktadır. Kısmen ulaşılan ilçeler içinse her ilçe IDS değerlerini hesaplamak çok uzun sürmektedir. Bu çalışmada Türkiye'de yedi bölge için yapılan çalışmalar sonucunda hata payı en az olan bölgelerden birisi Karadeniz bölgesi olması ve ilçe sayısının fazla olmasından dolayı bu bölge tercih edilmiştir. Karadeniz Bölgesindeki 18 ilin 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre hesaplanmış IDS değerleri dikkate alınarak ilçe bazlı hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda 18 ilin enlem, rakım, boylam, hava hızı, bağıl nem dikkate alınarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda rakım etkisinin IDS değerlerine etkisi Matlab yazılımıyla araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre 18 ilin IDS değeri rakım ilişkisi denklemi ortaya konulmuştur. Bu denklemin Regrasyon katsayısı 0,9012 bulunmuştur. Denklem model parametreleri baz alınarak Karadeniz bölgesindeki 209 ilçe için IDS değerleri ilk defa hesaplanmıştır. Ayrıca bu denklemdeki rakım parametresine istenilen değer yazıldığında her bir metre aralıklarla bu bölgedeki köy, mahalle vb yerleşim birimlerinde IDS değerleri, Regrasyon Katsayısı hassasiyetinde hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıtma derece saat, ilçe bazlı ısıtma derece saat, Karadeniz bölgesi, rüzgar hızı, bağıl nem, rakım, IDS değerleri, regrasyon katsayısı

ABSTRACT

In heating degree hour calculations, calculations are made with the outdoor air temperature meteorology data set on an hourly basis of at least ten years. In the last decade in Turkey, the results of regular hourly measurement of outdoor temperatures cannot be found. For partially reached counties, it takes a long time to calculate each county's IDS value. In this study, as a result of the studies conducted for seven regions in Turkey, this region was preferred because one of the regions with the least margin of error was the Black Sea region and the number of districts was high. District-based calculations were made by taking into account the IDS values calculated according to the 20°C internal environment reference temperature of 18 provinces in the Black Sea Region. In these calculations, studies were carried out by taking into account the latitude, altitude, longitude, air velocity and relative humidity of 18 provinces. In the studies, the effect of altitude on IDS values was investigated with Matlab software. According to the results of the calculations, the equation of the IDS value altitude relationship of 18 provinces was revealed. The regression coefficient of this equation was found to be 0.9012. Based on the equation model parameters, IDS values for 209 districts in the Black Sea region were calculated for the first time. In addition, when the desired value is written in the altitude parameter in this equation, the IDS values in the villages, neighborhoods and other

settlements in this region were calculated with the precision of the Regression Coefficient at intervals of one meter.

Key Words: Heating temperature per hour, district-based heating degrees hour, Black Sea region, wind speed, relative humidity, altitude, heating degree hour values, Regression Coefficient

1. GİRİŞ

Küresel olarak artan insan sayısı ve gelir seviyesi, enerji olan ihtiyacı sürekli olarak artırmaktadır. Global enerji arzı, çoğunlukla fosil türü yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durum baca gazı salınımlarını artırdığı için hava kirliliği ve küresel ısınma hızının artmasına neden olmaktadır. Enerji arzı, fosil kökenli yakıtların yeniden oluşma süresine göre çok hızlı artması bu yakıt miktarının rezervlerinin azalmasına neden olmaktadır[1]. Küresel olarak tüm ülkelerin, kısa, uzun dönemli enerji ihtiyacı, tüketimi için üretim ve tüketim modelleri için sistem tasarımı ve maliyetler için en önemli parametrelerden oluşmaktadır[2]. Isıtma, soğutma, iklimlendirme sistemleri hesaplamalarında, binalarda enerji analizi, hesaplamaları için iklim verileri en önemli parametrelerdir[3]. Bu veriler enerji analizi ve ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemlerinin analizi için yapılacak çalışmalarda sonuçların doğruluğu ve enerji verimliliği açısından sonuçların doğruluğu ve enerji verimliliği açısından son derece önem arz etmektedir[4]. Binalar ve iklimlendirme sistemleri için çeşitli enerji tahmin yöntemleriyle verdikleri sonuçların gerçeğe uygunlukları karmaşıklık derecelerine göre değişmektedir[5]. Derece zaman yöntemleriyle ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemlerinin kapasite hesaplamaları tahin edilmekte, doğalgaz taşıma ve iletim boru hatları boyutlandırılmakta, konutlarda ısıtma amaçlı yakıt miktarı, soğutma amaçlı elektrik tüketimi aylık ve sezonluk olarak belirlenmekte, ülke bazlı yıllık yakıt tüketimi hesaplanmakta, her il için ömür maliyet analizine göre optimum dış duvar yalıtım kalınlıkları hesaplanmakta, tarımda ekim, dikim, hasat zamanları belirlenip ürünün nerede yetiştirileceği belirlenmekte, zirai mücadelenin ise hangi günlerde olacağını tahmin edilmesinde kullanılmaktadır[6]. Literatürde ısıtma ve soğutma derece-saat değerleri sezonluk olarak farklı iç ortam referans sıcaklıklarına göre hem Türkiye'deki şehirler [7-9] hem de dünyanın birçok şehirleri [10,11] için bulunmaktadır. Isıtma yükleri hesaplamalarında aylık hatta saatlik bazda derece-saat değerlerinin hesaplanması ayrıntılı analiz imkanı vermektedir. Isıtma ve soğutma sezonlarında her ayın herhangi bir zamanındaki veya iki zaman dilimi arasındaki yirmi dört saatlik derece-saat hesaplamaları Ankara için ısıtma, İzmir için soğutma amaçlı olarak ortaya konulmuştur[12]. Antalya ili içinde soğutma amaçlı çalışma yapılmıştır[13].

Isıtma Derece Saat (IDS) değeri her ildeki; kapalı hacimlerin ısıtma yüklerinin tahmininde, optimum yalıtım kalınlıklarının hesaplamalarında kullanılmaktadır. IDS değeri hesaplamalarında en önemli parametre en az on yıllık kayıt altına alınan saatlik bazda dış hava sıcaklığı veri setleridir. İl bazlı IDS değeri hesaplamaları 79 il için 11 farklı iç ortam referans sıcaklığına göre Ertürk'ün doktora tez çalışmasıyla ortaya konulmuştur. İl bazlı IDS değeri hesaplamaları bu ile bağlı tüm ilçelerde de aynı olarak kabul edilmesi ısıtma yükü hesaplamalarında ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında hatalı sonuçlara neden olmaktadır. Türkiye'de 81 ile bağlı 959 ilçe bulunmaktadır. Bu ilçelerin en az 10 yıllık kayıt altına alınan dış hava sıcaklığı verilerine ulaşım problemi bulunmaktadır. Bu verilere bazı ilçeler için ulaşılsa da IDS değerlerini hesaplamak çok uzun sürmektedir. Bu çalışmada Türkiye'de yedi bölge için coğrafik şartların ısıtma yüklerine etkisi araştırıldığı da hata payı en az olan bölgelerden birisi Karadeniz bölgesi olması ve ilçe sayısının fazla olmasından dolayı bu bölge olduğu tespit edilmiştir. Karadeniz Bölgesindeki 18 ilin 20°C iç ortam referans sıcaklığına göre hesaplanmış IDS değerleri dikkate alınarak ilçe bazlı hesaplamalar yapılmıştır. Literatürde bulunan IDS değerleri il merkezleri için sunulmuştur.

Karadeniz bölgesi için ilk defa yapılan bu çalışmanın literatüre katkıları;

- i. Karadeniz bölgesindeki 17 ilin IDS değeri baz alınarak bölgenin rakım-IDS değeri grafiği çıkartılıp bu grafiğe eğri uydurularak bölge denklemi ve regrasyon katsayısı 0,9012 olarak belirlenmiştir.

- ii. Karadeniz bölgesi 17 ili Rakım-IDS değeri yaklaşımla bu bölgedeki 194 ilçeye ait IDS değeri ayrı ayrı olmak üzere IDS değeri $\pm 0,0988$ hata payıyla tahmin edilmiştir.
- iii. Karadeniz bölgesi için ortaya konulan denklemle 194 ilçeye birlikte köy, kasaba vb yerleşim birimlerinin IDS değerleri tahmin edilebilir.
- iv. Bu bölgedeki her bir metre rakım farkıyla IDS değeri tahmin edilmesi bu bölgedeki ısıtma yükleri hesaplamalarında ve optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında daha hassas olarak yapılabilecektir.

2. HESAPLAMA YÖNTEMİ VE ANALİZ

Konutlarda insanların yaşam rahatlığının ve üretim tesislerinin konfor şartlarının sağlanması için ısıtma, soğutma, iklimlendirme vb işlemler oldukça önem arz etmektedir. Derece zaman hesaplama yöntemleriyle bu sistemlerin soğutma yükleri ve ısıtma yükleri bulunabilmektedir. Bunların yanı sıra yaz (soğutma) ve kış (ısıtma) sezonları belirlenmesinde, yaşam mahallerinin ısıtmada kullandıkları yakıt miktarlarının belirlenmesinde, doğalgaz boru çaplarının belirlenmesinde, optimum dış duvar yalıtım kalınlıklarının belirlenmesinde, tarımda ekme biçme işlemlerinin ve hasat zamanının belirlenmesinde, yumurtacı bıldırcın kümeslerinin ısıtma-soğutma hesaplamalarında, tarımda toprak verimliliğinin artması için verilecek zirai mücadelelerin planlamasında derece zaman yöntemleri kullanılmaktadır[12].

2.1 Derece-Zaman Yöntemlerinin Açıklanması

Yıllık ve aylık sıcaklık dağılımları küresel ısınmanın da etkisiyle her sene farklılık göstermekte ve önceki senelerle aynı değerlerde olmamaktadır. Bundan dolayı belirlenen herhangi bir iç ortam referans sıcaklığına bağlı gerçekleşen soğutma derece saat (SDS) değerleri farklılık göstermektedir. Bu SDS değerlerinin herhangi bir zaman diliminde aynı değere ulaşması pek mümkün değildir. Bu sebeple literatür de SDS ve IDS değerleri genellikle sezonluk olarak bulunmaktadır. Derece zaman hesaplama yöntemleri ile alakalı literatürde üç farklı (derece saat yöntemi, derece bin yöntemi ve derece gün yöntemi) yöntemin olduğu bilinmektedir[3-5].

2.2 Derece Bin Yöntemi

Derece bin yöntemi tasarlanan ısıtma, soğutma, iklimlendirme sistemlerinin verimlerinin farklılık gösterdiği, konutların kullanım şeklinin ve ısı kayıp katsayısının sabit olmadığı birçok alanda kullanılır. Bu yöntem ile aylık ve yıllık enerji harcamalarının belirlenmesi mümkündür. Bunun için sıcaklık aralıkları ve zaman aralıklarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Derece bin yöntemi hesaplamalarında denge noktası sıcaklığı (T_b), belirlenen bir sezon içerisinde (yıllık, aylık) bulunan dış hava sıcaklık değerinin ortalama değeri ($T_{o,i}$) ve hesaplamaların yapıldığı belirli bir sıcaklık aralığında geçen süre saat olarak ($N_{bin,i}$) tespit edilir. Enerji miktarının tespiti bu sıcaklık değerine göre tespit edilir. Bütün sıcaklık aralıklarındaki enerji miktarlarının toplamı ise toplam enerji sarfiyatını verir. Enerji miktarı " Q_{bin} " ile gösterilirken toplam enerji sarfiyatı " Q_{top} " şeklinde gösterilir.

$$Q_{bin,i} = N_{bin,i} \frac{K_{top}}{\eta} (T_b - T_{o,i})^{\pm} \quad (1)$$

$$Q_{top} = \sum_{i=1}^m Q_{bin,i} \quad (2)$$

Yukarıdaki formüllerde; binanın toplam ısı transfer katsayısı ' K_{top} [W/m^2C]', ısıtma sisteminin verimi ' η ', sıcaklık aralık sayısı ise ' m ' ile gösterilmiştir.

2.3 Derece Gün Yöntemi

Derece gün yöntemi herhangi bir konumda ve yerde olduğu bilinen bir konutun yıllık enerji gereksiniminin tahmin edilmesinde tercih edilen en basit yollardan birisidir. Bina dışında kullanılan malzemelere ve duvarlarına ait ortalama ısı transfer katsayısı olan U değerleri kullanılarak binanın yıllık enerji gereksinimi kolaylıkla hesaplanabilir. Binanın dış cephe elemanlarının (çatı, duvar, pencere) toplam alanı A (m^2) ve ortalama ısı transfer katsayısı U (W/m^2K), derece gün sayısı (DGS).

Örneğin; bina dış kabuğu elemanlarına (duvarlar, çatı, döşeme) ait toplam alan 'A [m²]' ve ortalama ısı transfer katsayısı 'U [W/m²K]', derece gün sayısı ise 'DGS' şeklinde gösterilir. Binanın sabit konfor sıcaklık şartlarını sağlaması için gerekli olan enerji (Q) 'kWh' cinsinden 3 eşitliği ile hesaplanır.

$$Q=A \cdot (U /1000) \cdot (DGS) \quad (3)$$

Projesi ve inşaatı yapılmış bir konutun U değeri soğutma sezonu ve ısıtma sezonu için aynı alınabilmektedir. Ancak derece gün değerlerinin her sezon için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Isıtma sezonu ve soğutma sezonu için ayrı ayrı hesaplanan derece gün değerleri, hesaplamaların yapıldığı bölgede kullanılan ısıtma ve soğutma sistem kapasitelerinin ve maliyetlerinin bulunabilmesi adına yüksek önem arz etmektedir.

Bu parametrelerin hesabında; karşılaştırılabilir ve ortak bir kullanım oluşturmak için Avrupa Birliği İstatistik Ofisi tarafından önerilen Isıtma Derece Gün (IDG) ve Soğutma Derece Gün (SDG) denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$IDG = \sum_1^N (T_{ios} - T_{dhs}) \quad (4)$$

4 numaralı denklemle yapılan hesaplamalarda $T_{ios} > T_{dhs}$ olan günler dikkate alınır. Yani iç ortam referans sıcaklığının dış ortam referans sıcaklığından büyük olduğu günler kullanılır. Bu denklem ısıtma derece gün değerlerini verir.

$$SDG = \sum_1^M (T_{dhs} - T_{ios}) \quad (5)$$

5 numaralı denklemle yapılan hesaplamalarda ise $T_{dhs} > T_{ios}$ olan günler dikkate alınır. Yani dış ortam referans sıcaklığının iç ortam referans sıcaklığından yüksek olduğu günler kullanılır. Bu denklem soğutma derece gün değerlerini verir.

Denklemlerde; T_{dhs} günlük ortalama dış hava sıcaklığı, T_{ios} iç ortam denge sıcaklığını tanımlar. Isıtma dönemindeki toplam gün sayısı N, soğutma dönemindeki toplam gün sayısı M değerleri ile gösterilmektedir. Isıtma gereksinimi veya soğutma gereksinimi bulunmayan günler bu sayılara dahil edilmez.

2.4 Derece Saat Yöntemi

Kapalı hacimlerin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacı derece saat yöntemiyle tahmin edilebilir. Derece saat yöntemi de derece gün yöntemi gibi kapalı bir hacmin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji gereksinimi, dış hava sıcaklığı ve denge noktası sıcaklığı arasındaki farkla orantılıdır. Bu yöntemde ilk olarak belirlenen bir denge noktasına göre derece saat değerlerinin tespitinin yapılması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için ise yıl içerisinde bulunan toplam saat (24x360) olan 8760 saatlik ölçüm değerlerinin elde edilmesi gerekir. Denge noktası sıcaklığı, bir kapalı hacimde soğutma ve ısıtma ihtiyacının bulunmadığı durumdaki dış hava sıcaklığıdır. Genellikle yalıtımsız bir bina için derece saat değerleri soğutmada 25 °C, ısıtmada ise 18°C denge sıcaklığı göz önüne alınarak hesaplanır. SDS ve IDS değerleri denklem 6 ve denklem 7'deki gibi hesaplanır[5].

$$IDS = (1 \text{ saat}) \sum_{\text{saatler}} (T_{ios} - T_{dhs})^+ \quad (6)$$

$$SDS = (1 \text{ saat}) \sum_{\text{saatler}} (T_{dhs} - T_{ios})^+ \quad (7)$$

Denklem 6-7'de + işareti görünen yerler sadece pozitif değerler ile hesaplama yapılacağını göstermektedir. SDS ve IDS'ler kullanılarak, yıllık ve aylık ısıtma enerjisi gereksinimi Q_i , soğutma enerjisi gereksinimi Q_s , kWh değeri cinsinden aşağıdaki denklem 8-9 yardımıyla hesaplanabilir

$$Q_i = \frac{K_{top}}{\eta} IDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (8)$$

$$Q_s = \frac{K_{top}}{COP} SDS \left(\frac{1}{1000} \right) \quad (9)$$

Yukarıdaki denklemlerde binanın toplam ısı transfer katsayısı $K_{top}[W/°C]$, ısıtma sistemi verimi η , binada kullanılan soğutma sisteminin etkinlik katsayısı COP ile ifade edilir.

3. ENLEM BOYLAM, RÜZGAR HIZI, BAĞIL NEM VE RAKIMIN ISITMA DERECE SAAT DEĞERLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Isı kaybı hesaplamalarında zamsız ısı kaybı hesaplaması yapıldıktan sonra farklı zamlar (işletme zammı, yükseklik zammı, kuzey cepheler için yön zammı vb) ilave edilerek zamlı ısı kayıpları hesaplanmaktadır. Rakımla ısıtma yükleri arasında doğru orantılı yaklaşımın olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada ısıtma yüküne rakım, enlem, boylam, rüzgar hızı etkisi ve bağıl nem değerleri ilişkisi araştırılmıştır. İllerin rakım değerleri valilik binalarının bulunduğu konumdan alınmaktadır. Valilik binalarının konumu değiştiğinde illerin rakım değerleri de değişmektedir. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM) meteorolojik istasyonlarında dış hava kuru termometre sıcaklığı, rakım, enlem, boylam, bağıl nem ve rüzgar hızı eş zamanlı ölçülüp kayıt altına alınmaktadır. Bu çalışmada Ertürk'ün tez çalışmasında kullanmış olduğu meteorolojik ölçüm istasyonundaki dış hava kuru termometre sıcaklığı, rakım, enlem, boylam değerlerinin yanı sıra bağıl nem ve rüzgar hızı değerleri resmi yazıyla DMİGM'den temin edilmiştir. Türkiye de tüm illerin IDSD on bir farklı iç ortam referans sıcaklığına Ertürk'ün doktora teziyle literatüre kazandırılmıştır. Literatüre kazandırılan bu çalışmayla Karadeniz bölgesindeki 114 ilçenin IDSD'leri ortaya konulmuştur.

3.1 Derece Saat Hesaplamalarında Kullanılan Meteorolojik Veri Seti Özelliklerinin Açıklanması

Derece saat hesaplamalarında en az on yıl geçmiş yıllara ait saatlik olarak kayıt altına alınmış kuru termometre sıcaklıkları veri seti önem arz etmektedir. Bu veri setlerinde günün 24 saati, yılın her ayı için (30x24) 720 saat, aylık toplam ((720x12) 8760 saat olmak üzere kayıt altına alınan kuru termometre sıcaklıkları bulunmaktadır. Derece saat hesaplamalarında ne kadar geriye doğru geçmiş yıl verileri temin edilirse hesaplamalarda o denli hassas olmaktadır. Ertürk'ün tez çalışmasında kullanılan meteorolojik veri seti her il için 32 yıllık (32x8760) 280320 adet veri, Karadeniz bölgesindeki toplam 14 il için 3924480 adet veri bulunmaktadır.

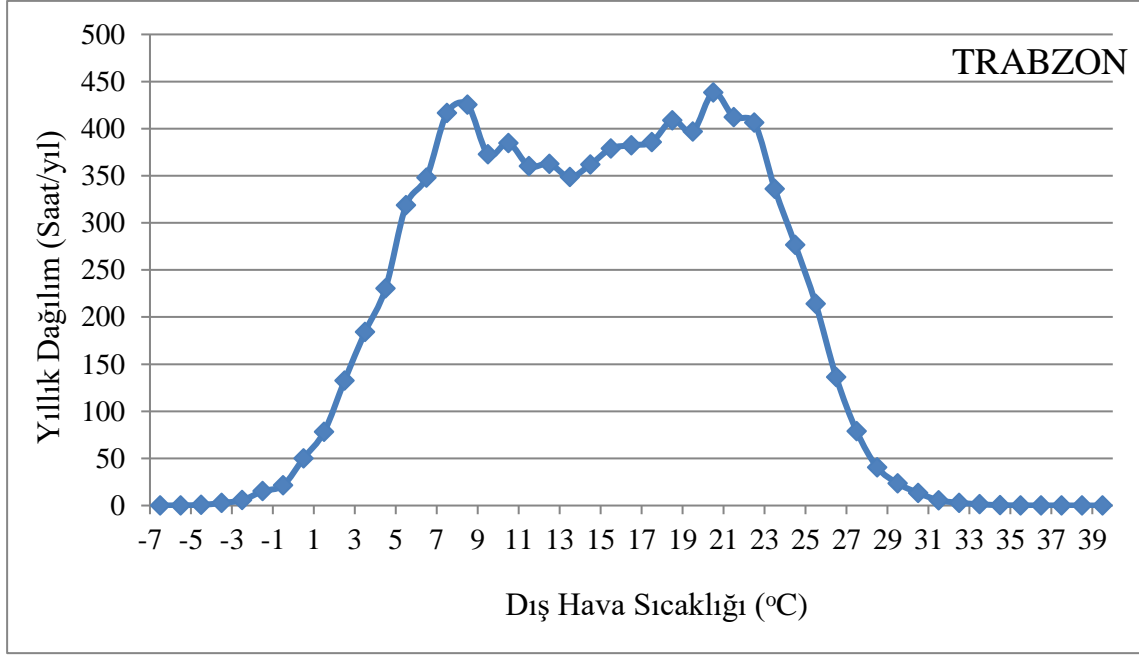
3.2 Dış Hava Sıcaklık Dağılımlarının Bulunması

Derece saat hesaplamalarında geçmiş yıllara ait yılın on iki ayı ve yıllık ortalama dış hava sıcaklık dağılımının bulunması gereklidir. Dış hava sıcaklık dağılımları tespitinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, DMİGM'den temin edilen meteorolojik ham veri seti kullanılmıştır. Karadeniz bölgesindeki 18 il için yapılan dış hava sıcaklık dağılımı Tablo 1'de örnek olarak Trabzon için verilmiştir. Tablo 1'de; birinci sütunda 1°C farkla DHS değerleri, aylar sütununda her ay için ortalama DHS değerleri o ay içerisinde toplamda görülen sıcaklıkların yüzde olarak sayısı 1°C farkla görülmekte, son sütunda ise 12 ayın ortalaması yıllık ortalama dış hava sıcaklık dağılımı (YODHSD) görülmektedir. Bu tabloda görüleceği üzere 1°C farkla yılın her ayı, YODHSD değerlerine göre maksimum ve minimum dış hava sıcaklık dağılımı (DHSD) değerleri kolaylıkla bulunabilmektedir.

Tablo.1 Trabzon Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklık Dağılımı

TRABZON													
DHS °C	AYLIK VE YILLIK ORTALAMA DIŞ HAVA SICAKLIK DAĞILIMI (% ADET)												YODHSD %Adet
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002381
0	0,05	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00722
0,07	0,20	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031132
0,20	0,42	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,064972
0,45	1,12	0,24	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0,173724
1,02	1,26	0,41	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,245016
2,14	2,92	1,11	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0,572387
3,22	4,22	1,69	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,13	1,37	0,891917
5,08	6,67	3,06	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0,41	2,72	1,514065
7,20	7,96	4,83	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0,80	3,74	2,102655
8,36	9,09	6,70	0,87	0	0	0	0	0	0	0	1,59	4,95	2,630626
10,51	11,00	10,28	1,85	0,01	0	0	0	0	0	0,11	2,73	7,16	3,637768
9,93	10,58	12,14	3,08	0,04	0	0	0	0	0	0,20	3,66	8,05	3,973744
10,53	9,94	13,57	6,70	0,32	0	0	0	0	0	0,58	5,25	10,19	4,756405
10,01	7,96	11,18	9,69	1,21	0	0	0	0	0	0,97	6,60	10,65	4,855306
7,62	4,88	6,93	11,03	1,90	0	0	0	0	0	1,39	7,45	9,84	4,254123
5,80	3,93	5,38	12,92	3,74	0,04	0	0	0	0	3,22	8,38	9,28	4,391087
4,36	3,22	3,91	10,25	5,69	0,10	0	0	0	0,20	4,58	9,52	7,53	4,112926
3,14	2,55	3,59	9,33	8,38	0,39	0	0	0	0,76	6,18	9,54	5,80	4,138721
2,70	2,02	2,90	6,86	10,11	0,99	0	0	0	1,23	7,95	9,09	3,91	3,97906
2,25	1,85	2,45	5,47	11,28	2,24	0,06	0,01	2,59	9,96	8,00	3,41	4,130741	
1,53	1,89	1,85	4,56	11,73	4,33	0,17	0,10	4,40	11,25	7,50	2,59	4,325033	
1,34	1,73	1,63	3,41	11,44	6,30	0,59	0,65	6,46	11,12	5,70	2,01	4,365167	
0,96	1,44	1,34	2,76	9,84	8,90	1,63	1,47	8,35	10,25	4,23	1,67	4,404448	
0,80	0,96	1,20	2,39	7,81	11,80	3,79	3,56	10,54	8,82	3,09	1,26	4,66803	
0,38	0,74	0,89	1,62	5,53	12,44	6,10	5,67	11,31	6,65	2,14	0,91	4,532034	
0,20	0,52	0,79	1,42	4,27	13,45	9,92	9,19	12,10	5,86	1,60	0,71	5,003481	
0,11	0,32	0,64	1,14	2,48	11,40	12,53	11,61	11,34	3,57	0,91	0,42	4,705815	
0,07	0,21	0,38	0,95	1,79	10,02	14,15	14,07	10,30	2,70	0,64	0,39	4,639661	
0,01	0,14	0,29	0,82	0,91	7,14	13,92	12,91	7,47	1,84	0,44	0,13	3,836051	
0,00	0,09	0,18	0,53	0,65	4,95	12,76	12,10	5,07	1,21	0,26	0,07	3,156418	
0,00	0,05	0,09	0,40	0,37	2,99	9,89	10,86	3,61	0,87	0,15	0,02	2,44204	
0,00	0,02	0,07	0,29	0,23	1,46	6,10	7,80	2,23	0,33	0,10	0,01	1,554322	
0,00	0,00	0,05	0,17	0,12	0,56	3,74	4,80	1,13	0,17	0,05	0,00	0,898689	
0,00	0,00	0,02	0,08	0,06	0,26	2,07	2,42	0,53	0,09	0,03	0,00	0,462726	
0,00	0,00	0,01	0,08	0,02	0,11	1,29	1,47	0,17	0,05	0,01	0,00	0,267657	
0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,05	0,85	0,65	0,13	0,05	0,01	0,00	0,152833	
0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,03	0,29	0,31	0,05	0,01	0,00	0,00	0,063593	
0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,10	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,033072	
0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,015645	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,004023	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001843	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000723	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000723	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002381
0	0,05	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00722
0,07	0,20	0,10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,031132
0,20	0,42	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,064972
0,45	1,12	0,24	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	0,173724
1,02	1,26	0,41	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,245016
2,14	2,92	1,11	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0,572387
3,22	4,22	1,69	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,13	1,37	0,891917
5,08	6,67	3,06	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0,41	2,72	1,514065
7,20	7,96	4,83	0,71	0	0	0	0	0	0	0	0,80	3,74	2,102655

Tablo1' deki dağılımların yıllık dış hava sıcaklık dağılım süreleri Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1' de minimum ve maksimum sıcaklıkların yıllık görülme saatleri verilmiştir. Bu şekilde yatay ekseninde minimum ve maksimum dış hava sıcaklıkları 3 °C düşey ekseninde yıllık sıcaklık dağılımı saat/yıl olarak görülmektedir.



Şekil.1 Trabzon Yıllık Ortalama Dış Hava Sıcaklık Dağılımı

3.3 KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ 114 İLÇENİN IDSD HESAPLANMASI

Derece saat değerlerinin hesaplanmasında İl merkezli hesaplamalar yapılmaktadır. İl merkezli hesaplamalarda DMİGM tarafından kayıt altına alınan il merkezli dış hava kuru termometre sıcaklıkları kullanılmaktadır. İlçe merkezli derece saat değerleri bulunmamaktadır. Bu çalışmada Karadeniz bölgesindeki tüm ilçelerin IDS değerlerinin hesaplanabilmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

3.3.1 Geliştirilen Yöntemin Açıklanması

Derece saat değerlerinin hesaplanmasında il bazlı hesaplamalar yapılmaktadır. İl bazlı hesaplamalarda şehir merkezi dikkate alınmaktadır. Yapılan hesaplamalarda DMİGM tarafından kayıt altına alınan il merkezli dış hava kuru termometre sıcaklıkları kullanılmaktadır. Aynı ilde bulunan fakat rakım ve coğrafik farklılıklar içeren ilçeler bulunmaktadır. İlçe bazlı derece saat değerleri bulunmamaktadır. Bu çalışmada Türkiye'deki Karadeniz bölgesinde bulunan 17 ilin Rakım-IDS değeri ilişkisi formülize edilerek her ilde bulunan ilçelerin ve rakımı bilinen herhangi bir yerleşim biriminin IDS değerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Ertürk'ün doktora tez çalışmasında DMİGM tarafından 79 il için elde edilen meteorolojik istasyonlara ait rakım, rüzgar hızı ve nispi nem değerleri resmi yazıyla istenerek yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Ertürk tarafından 79 il merkezi için ortaya konulan IDS değeri ilçe merkezleri içinde kullanıldığında IDS değerinin hatalı seçilmesine neden olmaktadır. Karadeniz bölgesinde 17 il bulunmaktadır. Bu bölgede bulunan Giresun ilinin IDS değeri şehir merkezi dikkate alınarak 52927 olarak hesaplanmıştır. Giresun'da 14 ilçe bulunmaktadır. Şehir merkezine göre hesaplanan IDS değerini 14 ilçe için aynı almak çok büyük hatalara neden olacaktır. Öyle ki aynı ilde bulunan Espiye ilçesinin rakımı 9 m, IDS değeri 52057 iken Şebinkarahisar ilçesinin rakımı 1371 m, IDS değeri 95277 olması gereklidir. Yani Şebinkarahisar ilçesinin IDS değeri Espiye ilçesine göre 1,830 kat daha fazladır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında Giresun ilinin IDS değeri 49036 olarak alınmaktadır. Bu durum Giresun il merkezi optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında doğru iken Şebinkarahisar ilçesi optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında bulunan yalıtım kalınlığının çok küçük seçilmesine neden olacaktır.

Bu örnekten yola çıkılarak Karadeniz bölgesindeki 14 ilin coğrafik şartları ayrıntılı olarak incelenerek rakım IDS değeri ilişkisi Karadeniz Bölgesi için formülize edilmiştir. Bu formülde model parametrelerden birisi olan rakım değiştirildiğinde 1m rakım farkıyla IDS değeri hesaplama yaklaşımı getirilmiştir.

3.3.1.1 IDS Değerlerine Enlem Boylam Rakım Bağlı Nem ve Rüzgar Hızı Etkisinin Araştırılması

Literatürde rakımla ısıtma yükleri doğru orantılı ilişki bulunmaktadır[15]. Bu çalışmada ısıtma enerji ihtiyacıyla rakım, enlem, boylam, bağıl nem ve rüzgar hızı etkisi araştırılmıştır. İllerin rakım değerleri valilik binalarının bulunduğu konumdan alınmaktadır. Valilik binalarının yeri değiştiğinde ilin rakım değerleri de değişmektedir. DMGM meteorolojik istasyonlarda dış hava kuru termometre sıcaklığı, rakım, enlem, boylam, bağıl nem ve rüzgar hızı eş zamanlı olarak ölçülüp kayıt altına alınmaktadır. Bu çalışmada Ertürk'ün tez çalışmasında kullanmış olduğu meteorolojik istasyondaki dış hava kuru termometre sıcaklığı, rakım, enlem, boylam, bağıl nem ve rüzgar hızı verileri resmi yazıyla temin edilmiştir.

3.3.1.1.1 Enlem

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın Ekvator'a olan uzaklığının açı cinsinden değeridir. Enlemlerin en önemli etkilerinden biri Dünya'nın dönüş hızını etkilemeleridir. Toprağın yapısı ve bitki örtüsüne de etkileri olan enlemlere göre tarımda verimlilik de farklılık gösterir. Güneş'in yüksekliği, Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaştığı açılar hakkında bilgiler veren enlemin gece ve gündüz sürelerindeki değişimler ile iklimlere de etkisi vardır. Akarsu rejimlerini ve deniz sularının tuzluluk özelliklerini de etkileyen enlemler, yerleşme biçimi, haritalardaki bozulma oranlarını ve nesnelerin gölge uzunluklarını da etkiler. İnsanların yaşam tarzları ve yerleşim yerlerine de etkisi olan enlem, hayvan çeşitliliğini de etkiler.

3.3.1.1.2 Boylam

Dünya'daki herhangi bir noktanın Başlangıç Meridyeni arasında kalan paralel yayının derece, dakika ve saniye cinsinden değeridir. Sıfır derece boylamının batısındaki çizgilere Batı Boylamı; doğusundaki çizgilere Doğu Boylamı adı verilir. Boylamın sadece zaman kavramına ve yerel saatlerin oluşumuna etkileri vardır. Boylamlar üzerindeki farklı yerlerdeki noktalar, yerel saatler arasındaki farklılıklara yol açar. Aynı boylam üzerindeki yerleşim yerlerinin veya noktaların yerel saatleri de aynıdır. Aynı paralel üzerinde bulunan boylamlar arası mesafeler değişmez. Bir alanın veya şehrin bulunduğu boylam yerel saatleri ve saat dilimlerini etkiler. Aynı enlemi kesen boylamlar sayesinde kestiği noktada Güneş'in doğuş ve batış saatleri hakkında veriler sağlanabilir. Güneş'in konumuna göre günün saati boylamlardaki farklılıklar dikkate alınarak tespit edilir.

3.3.1.1.3 Rakım

Rakım, herhangi bir nesnenin bilinen deniz seviyesine olan yüksekliğidir. Rakım yükseldikçe iklim koşulları farklılaşır. Bunun sebebi artan rakımın sıcaklık, nem, yağış, ve rüzgar hızı gibi iklim elemanları üzerindeki etkileridir. Aynı enlemde bulunan farklı yükseklikteki alanlarda farklı sıcaklıklar görülmekte olup deniz seviyesinden yüksekçe çıktıkça her 100 m havada sıcaklık 1°C, nemli havada 0.6°C düşmektedir. Yüksek rakımda gece gündüz arası sıcaklık farkları yüksektir. Her yüz metrelik rakım artışında atmosfer sıcaklığında 0.6°C azalma gözlenmektedir. İlman iklim kuşağında, her hangi bir ekolojide rakımın artması sonucu atmosfer sıcaklığı azalmakta ve yağış miktarı artmaktadır. Hava akımı yüksek rakımlı bölgelerden geçerken taşımış olduğu nemin büyük bir kısmını yağış şeklinde bırakmaktadır.

3.3.1.1.4 Bağıl Nem

Bağıl nem, havada bulunan su buharına ait kısmi basıncın, aynı sıcaklıktaki suyun denge buhar basıncına oranıdır. Başka bir deyişle bağıl nem, havanın belirli bir sıcaklıkta taşıyabileceği nem miktarının yüzde kaçını taşıdığını belirtir. Bağıl nem sıcaklık ile ters orantılıdır aynı zamanda bağıl nem çöl gibi kurak yerlerde az, ekvatorial bölge ve deniz kıyıları gibi yerlerde fazladır.

3.3.1.1.5 Rüzgar Hızı

Rüzgar hızını etkileyen en önemli faktörlerden en önemlisi, farklı yerlerde meydana gelen atmosferik basınçtaki dereceli bir eşitsizlik tarafından oluşturulan basınç gradyanıdır. Genellikle, basınç her iki nokta arasında kademeli olarak artar. Basınçtaki fark arttıkça rüzgar hızı da artar. Bu nedenle, kısa bir

mesafe boyunca basınçta büyük bir değişiklik yaşayan alanlar, genellikle değişimin daha kademeli olduğu alanlardan daha yüksek rüzgar hızlarına sahip olacaktır.

3.4. Meteorolojik Veri Setinin Tanıtılması

Yalıtımsız bir binada dış hava sıcaklığı 18°C, yalıtımlı binada dış hava sıcaklığı 15°C olması durumunda ısınma ihtiyacı ortaya çıkmaktadır[14]. Bu çalışmada tüm binaların yalıtımsız olduğu, dış hava sıcaklığının 18°C olduğu varsayılmıştır.

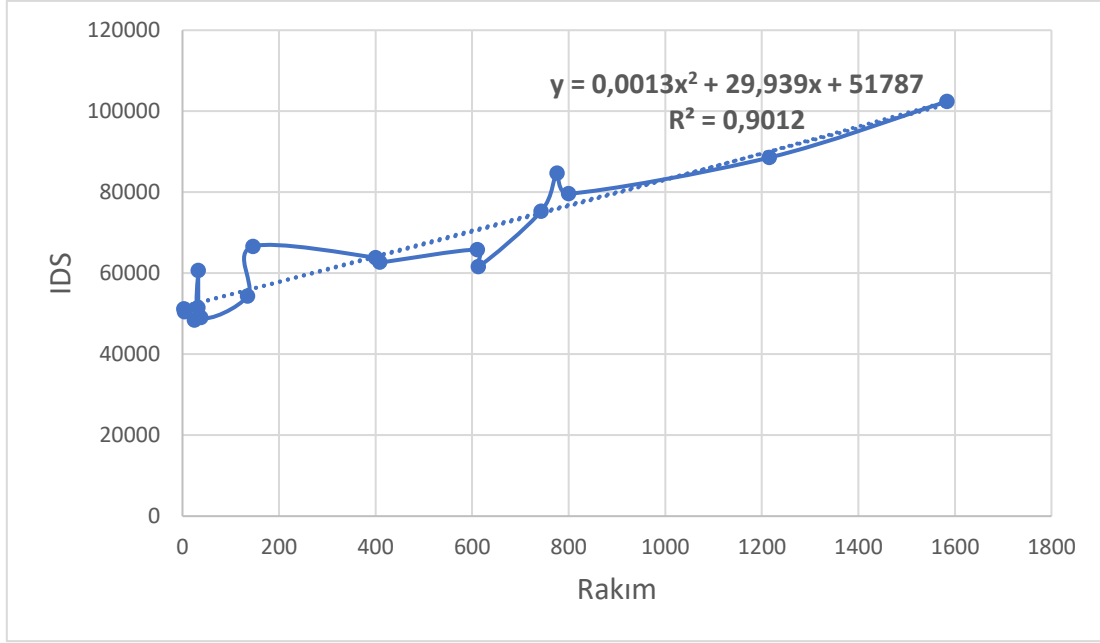
3.5 Karadeniz Bölgesindeki İllerin Coğrafik Şartların Ve IDSD Açıklanması

Ertürk'ün doktora tez çalışmasında Karadeniz bölgesindeki 14 il merkezi için dış hava sıcaklık very istasyonları belirlenmiştir. Bu istasyonlarda bu illere ait enlem, rakım, boylam, yıllık ortalama rüzgar hızı, yıllık ortalama bağıl nem değerleride kayıt altına alınan veriler resmi yazıyla temin edilmiştir. Bu veriler ve iç ortam referans sıcaklığı 20°C'na göre hesaplanmış IDSD Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo.2 Karadeniz Bölgesindeki 14 İle Ait Veri ve IDSD

İLLER	ENLEM [derece-dk]	BOYLAM [derece-dk]	RAKIM [m]	NEM [%]	RÜZGAR HIZI [m/s]	IDS [°C-saat]
RİZE	41,040	40,501	3	75,66	1,33	51192
SAMSUN	41,344	36,256	4	73,65	2,32	50486
ORDU	40,984	37,886	5	72,48	1,60	51032
TRABZON	40,999	39,765	25	71,46	2,25	48393
SİNOP	42,030	35,155	32	74,32	2,89	51462
BARTIN	41,625	32,357	33	78,88	1,32	60656
GİRESUN	40,923	38,388	38	73,77	1,21	49036
ZONGULDAK	41,449	31,778	135	69,16	2,44	54375
DÜZCE	40,844	31,149	146	75,01	0,96	66610
KARABÜK	41,196	32,621	400	66,99	0,97	63840
AMASYA	40,667	35,835	409	58,14	1,51	62694
TOKAT	40,331	36,558	611	62,90	2,08	65801
ARTVİN	41,175	41,819	613	64,94	1,60	61628
BOLU	40,733	31,602	743	72,87	1,35	75289
ÇORUM	40,546	34,936	776	69,28	1,77	84701
KASTAMONU	41,371	33,776	800	69,08	1,31	79632
GÜMÜŞHANE	40,460	39,465	1216	64,99	1,62	88569
BAYBURT	40,255	40,221	1584	61,49	1,88	102401

Tablo 2' de Karadeniz bölgesi için rakım-IDSD grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Bu grafiğe eğri uydurularak Denklem 10 elde edilmiştir. Bu elde edilen denklemin sadece Karadeniz bölgesindeki illeri kapsayıp, rakımın ne kadar artarsa, IDS değerlerinin de o oranda artacağı regresyon katsayısındaki yakınsama doğruluğunda IDS değeri gösterilmiştir.



Şekil.2 Karadeniz Bölgesi IDS- rakım ilişkisi

$$y = 0,0013x^2 + 29,939x + 51787 \quad (10)$$

Denklem 10'un regresyon katsayısı 0,9012 olarak hesaplanmıştır. Visual basic tabanlı hazırlanan yazılıma Denklem 10 aktarılarak IDS değeri y, rakım ise x olarak işlenmiştir. İlçe bazlı IDS değeri hesaplamalarında Denklem 10 kullanılmıştır.

3.6 Karadeniz Bölgesindeki 114 İlçenin IDS Değerlerinin Hesaplanması

Karadeniz bölgesinde 14 ile bağlı 114 ilçe bulunmaktadır. 114 ilçeye ait rakım değerleri DMİGM'den resmi yazıyla istenmiştir. Her ile ait ilçenin rakım değerleri yazılıma intikal ettirilerek Denklem 10'dan o ilçeye ait IDS değeri hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında her ilin IDS değeri dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu çalışmada ilçe bazlı IDS değerine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarının ne kadar önemli bir çalışma olacağı Tablo 3' de ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

3.6.1 Rize İlçe Bazlı IDS Değeri

Denklem 10'daki Rize ilçelerine ait x (rakım) değerleri yazılıma girildiğinde Tablo 3'teki bu ile ait 12 ilçenin IDS değeri tahmin edilmiştir. Rakımları girilen iller için yapılan çalışmada elde edilen formülle bulunan ilçelerin IDS değeri tabloda gösterilmiştir. Rize ilçelerinde Rakım arttıkça IDS değerlerinin arttığı görülmektedir. İlçelerin rakım değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında rakımı 3m ile en düşük olan Ardeşen ilçesinin IDS değerinin 51192 olacağı, en yüksek rakıma (554m) sahip olan İkizdere ilçesinde IDS değerinin 68772 olacağı tahmin edilmiştir. Hemşin ilçesinin IDS değeri olmadığı için Rize il merkezi IDS değerine göre optimum yalıtım kalınlığı seçilmektedir. Bu durum Çamlıhemşindeki yalıtım kalınlığının %20 küçük seçilmesine neden olmaktadır.

Tablo.3 Rize ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
RİZE	3	51192
Ardeşen	5	51937
Pazar	5	51937
Fındıklı	7	51997
İyidere	7	51997
Çayeli	13	52176
Rize Merkez	14	52206
Derepazarı	18	52326
Kalkandere	128	55640
Güneysu	165	56762
Çamlıhemşin	298	60824
Hemşin	316	61378
İkizdere	554	68772

3.6.2 Samsun İlçe Bazlı IDS Değeri

Samsun iline ait 17 ilçe bulunmaktadır. Bu ilçeleri rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo'4 te verilmiştir. Bu tabloda Ballica ilçesinin 7 m rakımda IDS değerinin 51907 olacağı, Ladik ilçesinde 924 rakımda IDS değerinin 80561 olacağı tahmin edilmiştir. Küçükten büyüğe ilçelerin rakım değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında rakımı 3m ile en düşük olan Ardeşen ilçesinin IDS değerinin 51192 olacağı, en yüksek rakıma (554m) sahip olan İkizdere ilçesinde IDS değerinin 68772 olacağı tahmin edilmiştir. Samsun'a bağlı Ladik ilçesinin IDS değerinin olmadığı için Samsun il merkezi IDS değerine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları yapılmaktadır. Bu durum Ladikte'ki yalıtım kalınlığının (80561/51907) %55 oranında küçük seçilmesi Ladik ilçesinde yakıt tüketimini %55 oranında artacağı tahmin edilmiştir.

Tablo.4 Samsun ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
SAMSUN	4	51907
Ballica	7	51997
Terme	10	52087
Yakakent	16	52266
Tekkeköy	19	52356
Bafra	25	52536
Çarşamba	27	52596
Atakum	61	53618
Canik	61	53618
İlkadım	61	53618
Alaçam	63	53678
Ayvacık	78	54130
Salıpazarı	84	54311
Vezirköprü	348	62363
Kavak	569	69243
Havza	632	71228
Asarcık	797	76474
Ladik	924	80561

3.6.3 Ordu İlçe Bazlı IDS Değerleri

Orduya ait 19 ilçe bulunmaktadır. 19 ilçenin rakım-IDSD ilişkisi Tablo'6 da verilmiştir. Bu tabloda Merkez ilçesi 7 m rakımda IDS Değerinin 51967 olacağı, Akkuş ilçesinde 1281 m rakımda IDSD'nin 92272 olacağı görülmektedir. Literatürde Ordu ilçesine ait IDS Değeri bulunmamaktadır. Akkuş ilçesinde Ordu merkeze göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında %78 tüketiminde aynı oranda artacağı tahmin edilmiştir.

Tablo.5 Ordu ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
ORDU	5	51937
Ordu Merkez	6	51967
Perşembe	9	52057
Ünye	10	52087
Gülyalı	12	52146
Fatsa	13	52176
İkizce	140	56004
Çatalpınar	146	56186
Kabataş	446	65398
Kumru	459	65803
Karadüz(Kabadüz)	578	69526
Çamaş	587	69809
Ulubey	597	70124
Aybastı	741	74686
Çaybaşı	757	75196
Korgan	770	75611
Gölköy	825	77371
Mesudiye	1114	86752
Gürgentepe	1236	90778
Akkuş	1281	92272

3.6.4 Trabzon İlçe Bazlı IDS Değeri

Trabzon'a bağlı 19 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo 6' da verilmiştir. Bu tabloda Araklı ilçesi 25 m rakımda IDS değerinin 52536 olacağı, Düzköy ilçesinde 779 m rakımda IDS Değerinin 75898 olacağı verilmiştir. Literatürde Trabzon ilçesine ait IDS değeri çalışması bulunmamaktadır. Düzköy ilçesinde Trabzon merkeze göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında %45 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini %45 artıracaktır tahmin edilmiştir.

Tablo.6 Trabzon ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
TRABZON	25	52536
Araklı	7	51997
Of	9	52057
Beşikdüzü	10	52087
Çarşıbaşı	10	52087
Sürmene	10	52087
Akçaabat	11	52116
Vakfikebir	12	52146
Yomra	14	52206
Arsin	21	52416
Trabzon Merkez	49	53257
Hayrat	176	57097
Dernekpazarı	200	57827
Köprübaşı	303	60978
Çaykara	309	61162
Şalpazarı	335	61962
Maçka	351	62456
Tonya	733	74431
Düzköy	779	75898

3.6.5 Sinop İlçe Bazlı IDS Değerleri

Sinop iline bağlı 9 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS Değeri ilişkisi Tablo'7 de verilmiştir. Bu tabloda Ayancık ilçesi 11 m rakımda IDS değerinin 52116 olacağı, Saraydüzü ilçesinde 423 m rakımda IDS değerinin 64684 olacağı görülmektedir. Literatürde Sinop ilçesine ait IDS değeri çalışması bulunmamaktadır. Saraydüzü ilçesinde merkeze göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında %13 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini %13 artıracaktır tahmin edilmiştir.

Tablo.7 Sinop ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
SİNOP	32	51462
Ayancık	11	52116
Türkeli	11	52116
Sinop Merkez	28	52626
Gerze	43	53077
Erfelek	186	57401
Dikmen	192	57583
Durağan	219	58406
Boyabat	328	61747
Saraydüzü	423	64684

3.6.6 Bartın İlçe Bazlı IDS Değerleri

Bartın 4 ilçeye sahiptir. Bu ilçelere ait rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo'8 de verilmiştir. Bu tabloda Bartın 33m rakımda IDS değerinin 52776 olacağı, Ulus ilçesinde 179 m rakımda IDS değerinin 57188 olacağı görülmektedir. Ulus ilçesinin Bartın'a göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 8 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini % 8artıracaktır tahmin edilmiştir.

Tablo.8 Bartın ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
BARTIN	33	52776
Bartın Merkez	10	52087
Kurucaşile	13	52176
Amasra	14	52206
Ulus	179	57188

3.6.7 Giresun İlçe Bazlı IDS Değerleri

Giresun iline bağlı 15 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo 9' da verilmiştir. Bu tabloda Giresun şehir merkezinde rakım 38 m'de IDS değerinin 49036 olacağı, Alucra ilçesinde 1475 m rakımda IDS değerinin 98775 olacağı görülmektedir. Literatürde Giresuna ait 15 ilçenin IDS değerleri bulunmamaktadır. Alucra ilçesinin Giresun şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 200 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini %200 artıracaktır tahmin edilmiştir.

Tablo.9 Giresun İli ve İlçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
GİRESUN	38	49036
Espiye	9	52057
Görele	10	52087
Eynesil	11	52116
Bulancağ	16	52266
Piraziz	17	52296
Tirebolu	18	52326
Keşap	29	52656
Giresun Merkez	40	52987
Çanakçı	184	57340
Doğankent	194	57644
Dereli	273	60057
Güce	342	62178
Çamoluk	1134	87410
Şebinkarahisar	1371	95277
Alucra	1475	98775

3.6.8 Zonguldak İlçe Bazlı IDS Değerleri

Zonguldak 6 ilçeye sahiptir. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo 10'da verilmiştir. Bu tabloda Zonguldak şehir merkezinde rakım 1358 m'de IDS değerinin 54375 olacağı, Karadeniz Ereğli ilçesinde 286 m rakımda IDS değerinin 60456 olacağı görülmektedir. Literatürde Zonguldak ilçelerine IDS değerleri bulunmamaktadır. Karadeniz Ereğli ilçesinin Zonguldak şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 11 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini %11 artıracığı tahmin edilmiştir.

Tablo.10 Zonguldak ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
ZONGULDAK	135	54375
Alaplı	15	52236
Zonguldak Merkez	16	52266
Çaycuma	36	52866
Gökçebey	65	53739
Devrek	91	54522
Karadeniz Ereğli	286	60456

3.6.9 Düzce İlçe Bazlı IDS Değerleri

Düzceye bağlı 9 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo 11'de verilmiştir. Bu tabloda Düzce şehir merkezinde rakım 146 m'de IDS değerinin 56186 olacağı, Akçakoca'da 10m rakımda IDS değerinin 52087 olacağı görülmektedir. Literatürde Düzce ilçelerine IDS değerleri bulunmamaktadır. Akçakoca ilçesinin Düzce şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 7 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.11 Düzce ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
DÜZCE	146	56186
Akçakoca	10	52087
Gölyaka	130	55701
Cumayeri	132	55762
Düzce Merkez	153	56398
Gümüşova	170	56914
Çilimli	190	57522
Kaynaşlı	296	60763
Yığılca	331	61839

3.6.10 Karabük İlçe Bazlı IDS Değerleri

Karabük 6 ilçeye sahiptir. Bu ilçelerin rakım-IDS değerleri ilişkisi Tablo 12'de verilmiştir. Bu tabloda Karabük şehir merkezinde rakım 400 m'de IDS değerinin 63840 olacağı, Yenice ilçesinde 141m IDS değerinin 56034 olacağı görülmektedir. Yenice ilçesinin Karabük şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 13 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.12 Karabük ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
KARABÜK	400	63840
Yenice	141	56034
Karabük Merkez	261	59690
Safranbolu	504	67206
Eskipazar	747	74877
Eflani	909	80076
Ovacık	1135	87442

3.6.11 Amasya İlçe Bazlı IDS Değerleri

Amasya iline bağlı 7 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo'13 de verilmiştir. Bu tabloda Amasya şehir merkezinde rakım 409 m'de IDS değerinin 62694 olacağı, Taşova ilçesinde 241m'de IDS değerinin % 6 azalarak 59078 olacağı görülmektedir. Taşova ilçesinin Amasya şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 6 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.13 Amasya ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
AMASYA	409	62694
Taşova	241	59078
Amasya Merkez	405	64126
Göynücek	523	67801
Suluova	551	68678
Hamamözü	687	72969
Merzifon	741	74686
Gümüşhacıköy	819	77179

3.6.12 Tokat İlçe Bazlı IDS Değerleri

Tokat iline bağlı 12 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo14' te verilmiştir. Bu tabloda Tokat şehir merkezinde rakım 611 m'de IDS değerinin 65801 olacağı, Erbaa ilçesinde 235m rakımda IDS değerinin % 12 azalarak 58894 olacağı görülmektedir. Erbaa ilçesinin Tokat şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 6 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.14 Tokat ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
TOKAT	611	65801
Erbaa	235	58894
Niksar	359	62703
Reşadiye	522	67769
Turhal	536	68208
Pazar	574	69400
Tokat Merkez	613	70628
Zile	740	74654
Almus	852	78239
Sulusaray	1036	84199
Yeşilyurt	1080	85637
Artova	1189	89222
Başçiftlik	1567	101894

3.6.12 Artvin İlçe Bazlı IDS Değerleri

Artvin iline bağlı 8 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo15' te verilmiştir. Bu tabloda Artvin şehir merkezinde rakım 613 m'de IDS değeri 61628 olacağı, Arhavi ilçesinde 7 m rakımda IDS değerinin % 19 azalarak 51997 olacağı görülmektedir. Arhavi ilçesinin Artvin şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 19 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.15 Artvin ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
ARTVİN	613	61628
Arhavi	7	51997
Hopa	8	52027
Borçka	124	55519
Ardanuç	486	66644
Artvin Merkez	524	67832
Yusufeli	601	70250
Murgul(Göktaş)	952	81467
Şavşat	1108	86555

3.6.13 Bolu İlçe Bazlı IDS Değerleri

Bolu iline bağlı 9 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo'16 da verilmiştir. Bu tabloda Bolu şehir merkezinde rakım 743 m'de IDS değerinin 75289 olacağı, Gerede ilçesinde 1331 m rakımda IDS değerinin 93939 olacağı görülmektedir. Literatürde Boluya ait 9 ilçenin IDS değerleri bulunmamaktadır. Gerede ilçesinin Bolu şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 124 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini %124 artıracığı tahmin edilmiştir.

Tablo.16 Bolu ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
BOLU	743	75289
Mengen	615	70691
Bolu Merkez	733	74431
Göynük	747	74877
Seben	754	75100
Mudurnu	872	78882
Yeniçağa	1001	83059
Dörtdivan	1166	88463
Kıbrısçık	1308	93171
Gerede	1331	93939

3.6.14 Çorum İlçe Bazlı IDS Değerleri

Çorum iline bağlı 14 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo17' de verilmiştir. Bu tabloda Çorum şehir merkezinde rakım 776 m'de IDS değerinin 84701 olacağı, Oğuzlar ilçesinde 60 m rakımda IDS değerinin % 158 azalarak 53588 olacağı görülmektedir. Oğuzlar ilçesinin Çorum şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 158 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.17 Çorum ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
ÇORUM	776	84701
Oğuzlar(Karaören)	60	53588
Kargı	396	63847
Osmancık	419	64560
Dodurga	592	69966
Bayat	697	73286
Laçın	715	73858
İskilip	730	74335
Sungurlu	761	75323
Çorum Merkez	806	76762
Uğurludağ	809	76858
Ortaköy	811	76923
Mecitözü	813	76987
Alaca	921	80464
Boğazkale	1014	83482

3.6.15 Kastamonu İlçe Bazlı IDS Değerleri

Çorum iline bağlı 20 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo18' de verilmiştir. Bu tabloda Kastamonu şehir merkezinde rakım 800 m'de IDS değerinin 79632 olacağı, İnebolu ilçesinde 11 m rakımda IDS değerinin % 152 azalarak 52116 olacağı görülmektedir. İnebolu ilçesinin Kastamonu şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında yalıtım kalınlığının % 158 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.18 Kastamonu ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
KASTAMONU	800	79632
İnebolu	11	52116
Çatalzeytin	12	52146
Abana	14	52206
Doğanyurt	19	52356
Cide	23	52476
Bozkurt	42	53047
Şenpazar	378	63290
Hanönü(Gökçeağaç)	462	65896
Taşköprü	556	68835
Pınarbaşı	671	72461
Araç	677	72652
Kastamonu Merkez	784	76058
Tosya	837	77757
Azdavay	839	77821
Daday	866	78689
İhsangazi	869	78786
Küre	981	82408
Seydiler	1032	84069
Devrekani	1082	85703
Ağlı	1169	88562

3.6.16 Gümüşhane İlçe Bazlı IDS Değeri

Gümüşhane iline bağlı 4 ilçe vardır. Bu ilçelerin rakım-IDS ilişkisi Tablo19' da verilmiştir. Bu tabloda Gümüşhane şehir merkezinde rakım 1216 m'de IDS değerinin 88569 olacağı, Kürtün ilçesinde 593 m rakımda IDS değerinin % 27 azalarak 69998 olacağı görülmektedir. Kürtün ilçesinin Gümüşhane şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında yalıtım kalınlığının % 27 daha büyük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında geri ödeme sürelerini uzatacaktır.

Tablo.19 Gümüşhane ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
GÜMÜŞHANE	1216	88569
Kürtün	593	69998
Torul	940	81078
Gümüşhane Merkez	1189	89222
Şiran	1407	96485
Kelkit	1408	96518
Köse	1575	102166

3.6.17 Bayburt İlçe Bazlı IDS Değerleri

Bayburt 3 ilçeye sahiptir. Bu ilçelerin rakım-IDS değeri ilişkisi Tablo'20 de verilmiştir. Bu tabloda Bayburt şehir merkezinde rakım 1584 m'de IDS değerinin 102401 olacağı, Demirözü ilçesinde 1684 m rakımda IDS değerinin 105891 olacağı görülmektedir. Literatürde Gümüşhaneye ait 3 ilçenin IDS değerleri bulunmamaktadır. Demirözü ilçesinin Bayburt şehir merkezine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplaması yapıldığında % 3 daha küçük seçilmesine neden olacaktır. Bu durum yakıt tüketimini % 3artıracağı tahmin edilmiştir.

Tablo.20 Giresun ili ve ilçeleri IDS değerleri

İL/İLÇE	RAKIM (m)	IDS (derece-saat)
Bayburt	1584	102401
Bayburt Merkez	1554	101452
Aydıntepe	1623	103802
Demirözü	1684	105891

BÖLÜM. 4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Karadeniz bölgesindeki 17 ilin Rakım-IDS değeri ilişkisi formülize edilerek her ilde bulunan ilçelerin IDS değerleri ilk defa bu çalışmayla ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Küçükten büyüğe rakım-IDS değerleri araştırma sonuçlarına göre; Rize rakımı 3m ile 554 m arasında değişen 12 ilçeye sahiptir. Samsun rakımı 4 m ile 924 m arasında değişmektedir. Ordu ile 5-1281 m rakımlı 19 ilçeye sahiptir. Trabzon 25-779 m rakıma sahip 19 ilçeye sahiptir. Sinop'un 32-423 m rakımlı 19 ilçesi vardır. Bartın 33-179 m rakıma sahip 4 ilçesi vardır. Giresun'un 38-1475 m rakımlı 15 ilçesi vardır. Zonguldak 135-286m rakıma sahip 6 ilçesi vardır. Rize, Samsun, Ordu, Trabzon, Sinop, Bartın, Giresun ve Zonguldak'ın il merkezi baz alınarak IDS değeri hesaplamalarında rakım genelde il merkezlerinde küçüktür. Bu durum optimum yalıtım kalınlığı hesaplamalarında yalıtım kalınlığının küçük seçilmesine neden olması bu illere bağlı ilçelerde yakıt tüketimin artıracığı tahmin edilmiştir. Düzce, Karabük, Amasya, Tokat, Artvin, Kastamonu, Gümüşhane ve Bayburt illeri için rakım-IDS değeri araştırma sonuçlarına göre genelde il merkezleri rakım değerleri büyük olup ilçeler içinde daha küçüktür. Rakıma bağlı bu ilçelerin IDS değerleri küçük olarak tahmin edilmiştir. Bu durum il merkezleriyle ilçelerin IDS değerleri aynı seçilmesi gereğinden optimum yalıtım kalınlığının büyük seçilmesine neden olduğu gibi optimum yalıtım kalınlığı geri ödeme sürelerini de artırmaktadır. Literatüre getirilen bu yaklaşımla;

Karadeniz bölgesinde 1 m rakım farkıyla tüm köy, kasaba ve mahallelerin IDS değerleri tahmin edilebilecektir.

Karadeniz bölgesi için literature sunulan bu çalışma Türkiye'deki 6 bölge içinde yapılırsa bu bölgedeki tüm ilçe, köy kasaba ve mahallelerinde IDS değerleri tahmin edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ertürk, Mustafa . "Dış Hava Sıcaklığındaki Değişimin Soğutma Enerji Talebine Ve Küresel Isınmaya Etkisinin Düzce İli İçin Araştırılması". Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 7 (1) :895-903. (2019).
- [2] Dılmaç Kesen., "A comparison of new turkish thermal insulation in building", Energy and Building, 35 (2) :161-174, (2003).
- [3] Bulut, H., Büyükalaca O., Yılmaz T., Aktacı M. A., "GAP bölgesi için detaylı iklim verileri", GAP IV. Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, 183-191,(2002).
- [4] Büyükalaca O., Bulut H., Yılmaz T., "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", Applied Energy, 69(4): 269-283, (2001).
- [5] Bulut H., Büyükalaca O., Yılmaz T., "New Outdoor Cooling Design Data for Turkey", Energy, 27(10): 923-946 (2002).
- [6] Coşkun C., Oktay Z., Ertürk M., "Konutların ısıtma sezonunda seçilen iç ortama sıcaklık parameteresinin enerji-maliyet-çevre açısından değerlendirilmesi ve bir uygulama örneği", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 529-538, (2009).
- [7] Satman A., Yalcinkaya N., "Heating and cooling degree-hours for Turkey", Energy, 24(10): 833-40, (1999).



- [8] Coskun C., "A novel approach to degree-hour calculation: Indoor and outdoor reference temperature based degree-hour calculation" *Energy*, 35(6): 2455-2460, (2010).
- [9] Oktay Z., Coskun C., Dincer I., "A new approach for predicting cooling degree hours and energy requirements in buildings", *Energy*, 36(8): 4855-4863, (2011).
- [10] Papakostas, K., Kyriakis, N. "Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece" *Renewable Energy*, 30(12): 1873-1880, (2005).
- [11] Badescu V., Zamfir E., "Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania)", *Energy Conversion and Management* 40 (8): 885-900, (1999).
- [12] Ertürk M., "Isıtma ve soğutma derece saat hesaplamalarında farklı bir yöntemin araştırılması ve geliştirilmesi". Doktora Tezi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği, (2012).
- [13] Coskun C., Ertürk M., Oktay Z., Dinçer İ., "Aylık bazda saatlik derece-saat değerlerinin tespitini mümkün kılan yeni bir yaklaşım", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 31: 28-36, (2012).
- [14] Ertürk M., Çay Y., "Soğutma derece-saat yöntemini kullanarak bina soğutma yüklerinin hesaplanması", *Politeknik Dergisi*, 24(2): 723-732, (2021).
- [15] Papada, Lefkothea & Kaliampakos, Dimitris, 2016. "Developing the energy profile of mountainous areas," *Energy*, Elsevier, vol. 107(C), pages 205-214.

ÖZGEÇMİŞ

Enes KAHRAMAN

1993 yılı Sakarya' da dünyaya gelmiştir. İlk, orta, lise öğrenimlerini Sakarya ili Sapanca ilçesinde tamamlamıştır. 2018 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2019 yılından beri Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünde çalışmaktadır.

Mustafa ERTÜRK

1965 yılı Afyonkarahisar'da dünyaya gelmiştir. İlk,orta, lise öğrenimlerini Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesinde tamamlamıştır. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünden lisans derecesini aldı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 2012 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünden doktora derecesini aldı. 2018 yılı 11 haziranda Üniversitelerarası kurulundan Makine Mühendisliği Termodinamik- Enerji alanında Doçentlik derecesini almıştır. 1998-2019 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO iklimlendirme ve soğutma programında öğretim görevlisi, Yrd Doç Dr ve Doç Dr olarak çalışmıştır. 2019 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Farklı enerji kaynaklı ısı pompaları, farklı faz akışkanlı ısı değiştiriciler, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, yalıtım ve güneş enerjisi konularında çalışmaları vardır.

Ali KEÇEBAŞ

1980 yılında Fethiye'de doğmuştur. 2003'te Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü'nden lisans mezunu olmuştur. Yüksek lisansını 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitimi ABD'den ve doktora derecesini 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD'den almıştır. 2013 yılından beri Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doçent Doktor olarak çalışmaktadır. Çalışma konuları; akışkanlar mekaniği, yenilenebilir enerji kaynakları, jeotermal ve hidrolik enerjiler ve termodinamik analiz metotlarıdır. Dergi ve konferanslarda sunulmuş 100'ün üzerinde makalesi bulunmaktadır.

**Yusuf ÇAY**

1963 yılında Sakarya'nın Geyve ilçesinde doğdu. 1985 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 1986 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1988 yılında Gazi Üniversitesi'nde yüksek lisansını tamamladı. 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Düzce Meslek Yüksek Okulu'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. 1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Michigan Ferris State Üniversitesi'nde YÖK-Dünya Bankası bursu ile mesleki araştırmalarda bulundu. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimini tamamladı. 1997 yılında Düzce Meslek Yüksek Okulu'nda Yrd. Doç. Dr. Unvanını aldı. Düzce MYO da Anabilim dalı Başkanlığı, Bölüm Başkanlığı ve Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü görevlerinde bulundu. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne Yrd. Doç. Dr. olarak atandı. Bölüm Başkanlığı ve Fakülte Yönetim Kurulu Üyeliği görevlerinde bulundu. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesin de Doçent oldu. Amerika Birleşik Devletleri, Louisiana, Southern Üniversitesi'nde misafir öğretim üyesi olarak görev yaptı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne atandı. Makine Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı ve Bölüm Başkanı olarak görev yaptı. 2018 yılında Profesör unvanını aldı. 2018-2022 yılları arasında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde Dekanlık yapmıştır.

Akademik olarak çok sayıda ulusal ve uluslararası yayın çalışmalarıyla birlikte bilimsel projelerde araştırmacı, danışmanlık ve yürütücü olarak görevler yapmıştır. Termodinamik, Isı Pompası, Alternatif Enerji Kaynakları, Enerji Verimliliği konularında çalışmalar yapmaktadır.

ISITMA SİSTEMLERİ ÇALIŞMA SÜRELERİNİN AYLIK VE SEZONLUK OLARAK İZMİR İLİ İÇİN ARAŞTIRILMASI

Research On The Monthly And Seasonal Operating Times Of Heating Systems In The İzmir Province

Muhammed Hüseyin İlgın
Mustafa Ertürk

ÖZET

Literatürde Merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan (kazan), bireysel ısıtma sistemlerinde kullanılan kombilerin ısıtma sezonundaki her ayın ve yıllık devreye girme saatleri konusunda bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada ısıtma dönemindeki her ay için ayrı ayrı olmak üzere ve sezondaki çalışma saatleri ayrıntılı olarak İzmir ili için araştırılmıştır. Çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden (DMİGM) temin edilen son 30 yıllık meteoroloji veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti yıllık 8760 saat olmak üzere (8760x30) 262800 saatlik ham veriden oluşmaktadır. Bu veriler visual basic tabanlı geliştirilen yazılıma aktarılarak İzmir ili için dış hava sıcaklık dağılımları aylık ve sezonluk olmak üzere dış hava sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Yalıtım yapılmamış ısıtma sistemleri dış hava sıcaklığı 18 °C ve altındaki sıcaklıklarda devreye girmektedir. Bu çalışmada İzmir ili için ısıtma sezonundaki her ay için ayrı ayrı olmak üzere ve ısıtma sezonundaki çalışma sürelerinin dağılım eğrileri ve denklemleri ayrıntılı olarak İzmir ili için literatüre kazandırılmış olacaktır. Çalışmada ısıtma sistemlerinin ayrıntılı olarak ortaya konulmasıyla ısıtma sistemleri kullanıcılarının bilinçlendirilmesi, ısıtma sistemleri için her il için optimum garanti süreleri konusunun gündeme gelmesi hedeflenmektedir. Isıtma dönemi için çalışma süreleri (saat); Ocak ayında 718,29; Şubat ayında 706,36; Mart ayında 655,0515; Nisan ayında 506,51; Ekim ayında 304,99; Kasım ayında 601,63; Aralık ayında 707,09 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dış Hava Sıcaklık Dağılımı, Isıtma Sezonu, Sezonluk Isıtma Saati, Isıtma Sistemleri Aylık Çalışma Saati, Regrasyon Katsayısı, İzmir

ABSTRACT

There is no study in the literature on the monthly and annual operating hours of boilers used in individual heating systems in central heating systems. In this study, the monthly and detailed operating hours of the heating season for the İzmir province were studied separately for each month. The meteorological data set of the last 30 years obtained from the General Directorate of State Meteorological Affairs (DMİGM) was used in the study. This data set consists of a total of 262,800 hours (8760x30) of raw data per year. These data were transferred to a software developed on the Visual Basic platform and monthly and seasonal outdoor temperature distributions were found for the İzmir province. Uninsulated heating systems are activated at outdoor temperatures below 18 °C. In this study, the distribution curves and equations of the operating times of the heating season for each month will be detailed for the İzmir province and will be included in the literature. It is aimed to raise awareness of the heating system users by detailing the heating systems in the study and to bring the issue of optimum guarantee periods for each province to the agenda for heating systems. The working hours (hours) for the heating season were determined as 716.27 in January, 706.18 in February, 653.76 in March, 497.51 in April, 304.29 in October, 602.49 in November and 707.29 in December."

Key Words: External Temperature Distribution, Heating Season, Season Heating Time, Heating Systems Monthly Operating Hours, Regrting Coefficient, Izmir

1. GİRİŞ

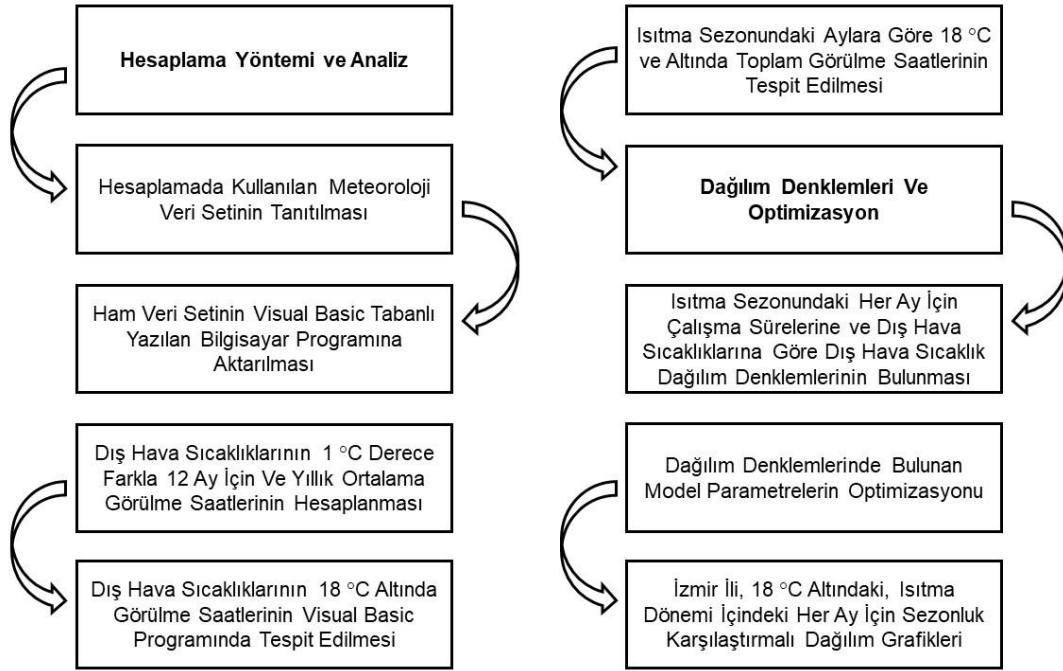
Sanayi devrimiyle buhar makinelerinde fosil kaynaklı yakıtların kullanılması, çok hızlı gelişen endüstriyel süreçler, sürekli olarak hızlı artan dünya nüfusu ve insanların refah düzeylerinin artması dünyanın enerjiye olan ihtiyacını sürekli olarak artırmaktadır. Fosil türü yakıt kaynaklarının oluşumunun dünya enerji ihtiyacı hızının çok gerisinde olması yakın gelecekte dünya enerji krizine neden olacağı aşikardır. Dünya Enerji Konseyi (WEC) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, 1990 ile 2050 yılları arasında birincil enerji tüketiminin çevresel etkiler dikkate alındığında yüzde 50 oranında artabileceği tahmin edilmektedir. Ancak en yüksek büyüme oranı senaryosu incelendiğinde, bu tüketimin yüzde 275'e yakın bir miktarda artabileceği belirlenmiştir. 2000'li yılların başından itibaren, mevcut kaynakların gelecek kuşaklara yetmeyeceği anlaşılmış ve sürdürülebilirlik kavramının kullanılmasıyla birlikte, fosil yakıt kullanımının kısıtlanmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu süreçte, yenilenebilir enerjinin binalarda kullanımını teşvik etmek amacıyla sürdürülebilirlik kavramı ön plana çıkarılmıştır [1]. 2008 yılında ABD'de, petrol toplam arzın yüzde 40'ını oluştururken, doğal gaz ve kömür yüzde 20'nin biraz üzerinde, nükleer elektrik ise yüzde 10 civarındaydı. Diğer taraftan, hidroelektrik ve odun gibi kaynaklar geri kalan kısmı karşılamaktaydı. 2007 yılında dünyadaki birincil arzın yüzde 34'ü petrole, yüzde 21'i gaza, yüzde 26,5'i kömüre ve turbaya, yüzde 6'sı da nükleer enerjiye dayanıyordu. Hidroelektrik, atık ve yanabilir yenilenebilir kaynaklar yüzde 12'lik bir paya sahipti, ancak jeotermal, güneş ve rüzgâr gibi diğer kaynaklar ihmal edilebilir bir oranda kullanılmaktaydı [2]. Enerji, ekonominin en önemli girdisidir ve dünya siyaset politikasını yönlendirirken aynı zamanda iklim değişikliği etkileri nedeniyle gelecekte dünya ekonomik, sosyal ve coğrafik düzeninin belirleyicisi olacaktır. Bu yüzden günümüzde, enerji ve verimliliği politikası; enerji arzının maliyetinin yüksek olması nedeniyle yaşam ve ekonomik gelişme sürdürülebilirliğinin tehdit altında olduğu, enerji bağımlılığı yüksek olan ve iklim değişikliği etkilerinden etkilenecek olan ülkeler için en önemli politika alanı haline gelmiştir. Türkiye'de, hızlı ekonomik büyüme, sanayileşme ve sabit nüfus artışı nedeniyle fosil yakıtın artan enerji ihtiyacı nedeniyle, emisyon artış oranları kaçınılmazdır. 1990 ile 2009 yılları arasında, CO2 eşdeğeri sera gazı emisyonu 187,03 milyon tondan 2009 yılında toplam 369,65 milyon tona yükselmiştir [3]. 2022 yılının Kasım ayı sonunda, ülkemizde kurulu güç 103.541 MW'a ulaşmıştır. Bu gücün kaynaklara göre dağılımı ise şöyle olmuştur: hidrolik enerji: %30,5, doğal gaz: %24,4, kömür: %21,1, rüzgâr: %11,0, güneş: %9,0, jeotermal: %1,6, diğer kaynaklar: %2,4 [4]. Türkiye'de enerji tüketiminin sektörel dağılımı, enerji tüketiminin çeşitli amaçlar için kullanımına göre değişmektedir. Örneğin, 2021 yılında Türkiye'de enerji tüketiminin sektörel dağılımı inşaat, taşıt araçları ve elektronik cihazlar için %34, sanayi için %28, evler, işyerleri ve diğer hizmetler için %22, tarım için %6, toplu taşıma için %5 ve elektrik üretimi için %5 şeklindedir [5]. Geçtiğimiz 20 yıl boyunca, gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu azaltılmaya çalışılmıştır. Örneğin, 1990-2004 yılları arasında, AB ekonomisi için enerji verimliliği endeksi azalmıştır ve bu, %14 oranında artan enerji verimliliği anlamına gelir. Bu iyileştirme, bütün sektörlerin çabaları sayesinde gerçekleşmiştir; konutlar %10, ulaşım %11 ve sanayi %20 oranında bu sonuca katkıda bulunmuştur [6]. 2012 yılında Türkiye'de enerji tüketimi, sanayi, konut ve hizmetlerde %26, ulaştırma da %17, çevrim santrallerinde %26, tarımda %3 ve diğer sektörlerde %2 oranında kullanılmıştır. 2000 yılından bu yana, Türkiye'de inşa edilecek tüm ruhsatlı binalarda, yalıtım zorunlu hale getirilmiştir. Bu, 2007 yılında konut ve hizmetlerde tüketilen enerjinin %30'dan %26'ya düşürülmesine yardımcı olmuştur. [7]. Türkiye, enerji üretiminde yetersiz olduğu için enerji ihtiyacının büyük bölümünü dışarıdan ithal etmektedir. Özellikle petrol, doğal gaz ve kömür gibi temel enerji kaynaklarının önemli bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Türkiye, enerji ithalatında lider ülkeler arasındadır. Enerji ithalatı, Türkiye'nin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir role sahiptir. Özellikle doğal gaz ve petrol gibi enerji kaynaklarının önemli bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Bu durum, Türkiye'nin enerji güvenliğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, enerji ithalatının yüksek olması, Türkiye'nin enerji maliyetlerini artırmaktadır. Son yıllarda, Türkiye, enerji üretimini artırmaya yönelik çalışmalar yapmıştır. Örneğin, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmış ve nükleer santraller kurulması gibi projeler geliştirmiştir. Bununla birlikte, Türkiye hala enerji üretiminde yetersizdir ve enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamak zorundadır ve enerji ihtiyacının %60 - 65'lik bir kısmını dışarıdan ithal etmektedir. [8,9]. Enerjinin

verimli kullanımı, enerji ihtiyacının azaltılması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, gelecekte sürdürülebilir bir enerji kaynakları yapısı oluşturmak amacıyla önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, nüfus artışının yanı sıra teknolojik gelişmelerin de etkisiyle artan enerji ihtiyacının karşılanması ve çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliği sağlama isteğinin doğurduğu bir ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması, önemli bir konu haline gelmiştir. [10]. Binalardaki ısı kayıpları, tasarımı, yapımı ve kullanımındaki hatalar nedeniyle ortaya çıkan enerji kayıplarıdır. Enerji tasarrufu sağlamak ve çevre dostu olmak için önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir. Çünkü binalardaki ısı kayıpları, ülkelerin enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Binalarda ısı kaybı genellikle duvarlar, pencereler, çatılar, bodrum ve hava kaçaklarından kaynaklanır. Bu oranlar, çok katlı konutlarda dış duvarlar için yüzde 40, pencereler için yüzde 30, çatılar için yüzde 7, bodrum için yüzde 6 ve hava kaçakları için yüzde 17 olarak tespit edilmiştir. Tek katlı konutlarda ise ısı kaybı dış duvarlar için yüzde 25, çatılar için yüzde 22, pencereler için yüzde 20, bodrum için yüzde 20 ve hava kaçakları için yüzde 13 olarak ölçülmüştür. Binalardaki bu ısı kayıplarını azaltmak, ülkelerin enerji ihtiyacını azaltmaya yardımcı olacaktır. Özellikle tek katlı binaların ısı kayıpları, çok katlı binalara göre daha yüksektir. Bu nedenle, tek katlı binalarda ısı kayıplarını azaltmak, ülkelerin enerji tasarrufuna önemli katkı sağlayacaktır [11]. Türkiye'de konutlarda tüketilen enerjinin %80'i ısıtma soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Türkiye gibi enerjisinin neredeyse tamamını ithal eden bir ülke için bu oran çok yüksektir. Çevresel sorunların da artmasıyla birlikte ülke genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının teşviki ve fosil yakıt kullanımını azaltma çabaları olsa da yüksek kurulum maliyetleri ve alt yapı zorlukları bu yakıtların kullanımı sırasında oluşacak çevresel girişimleri yavaşlatmaktadır. Çeşitli enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanan en büyük çevresel problem sera etkisi ya da küresel ısınma olarak bilinen küresel iklim değişikliğidir. [12]. Türkiye, enerji faturasını azaltmak için enerji tasarrufu sağlama çalışmalarına ağırlık vermektedir. Bu çalışmalar arasında binalarda ısı yalıtımı da önemli bir yere sahiptir. Özellikle konutlarda yapılacak ısı yalıtımı çalışmaları, enerji faturasını düşürürken aynı zamanda çevresel açıdan da sürdürülebilirliği artırır. Türkiye, enerji tüketiminin önemli bir bölümünü binalarda gerçekleştirir. Bu nedenle, binalarda ısı yalıtımı çalışmaları yapılması önemlidir. Binalarda yapılacak ısı yalıtımı çalışmaları hem enerji tasarrufu sağlayacak hem de çevresel açıdan sürdürülebilirliği arttıracaktır. Bu nedenle, binalarda ısı yalıtımı çalışmalarının yapılması önemlidir. Isı yalıtımlı bir konutta, ortalama olarak % 50 ila % 60 arasında enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu, enerji faturasında ciddi bir azalmaya neden olabilir ve aynı zamanda çevresel açıdan da önemli tasarruflar sağlayabilir. Yalıtımsız binaların yalıtımlı hale getirilmesi, ortalama 7,5 milyar dolar tutarında enerji tasarrufu sağlayacak ve Türkiye'nin enerji faturasını azaltarak ülkenin ekonomik yükünü hafifletebilir [13].

Literatürde Merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan (kazan), bireysel ısıtma sistemlerinde kullanılan kombilerin ısıtma sezonundaki her ayın ve yıllık devreye girme saatleri konusunda bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada İzmir ili için merkezi ve bireysel ısıtma sistemlerinin ısıtma sezonundaki hey ay için dış hava sıcaklığının 18 C ve altındaki dış hava sıcaklık dağılımları yazılan visual basic tabanlı ve Matlab yazılımlarıyla ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımla ısıtma dönemindeki her ay için dış hava sıcaklık dağılımına göre eğri uydurularak her ay için denklem ve denklem parametreleri bulunarak her ay için ısıtma sistemleri için aylık bazda çalışma süreleri ortaya konulmuştur.

2. HESAPLAMA YÖNTEMİ VE ANALİZ

Isıtma sistemlerinin çalışma saatleri konusunda literatürde bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada İzmir ili için ısıtma dönemi her ayı, ısıtma mevsimi çalışma süreleri yaklaşımı getirilmiştir. Bu bölümde hesaplama yöntemi ve analizin yapıldığı akış şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Hesaplama yöntemi ve analizin yapıldığı akış şeması

2.1. Hesaplamada Kullanılan Meteoroloji Veri Setinin Tanıtılması

Bu çalışmada Ertürk'ün doktora çalışmasında kullanmak için ve DMİGM'den resmi yazı ile elde ettiği veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti geçmiş geçmiş son 30 yıla ait dış hava sıcaklığı ham görülme saatleridir. İzmir için $8760 \times 30 = 262800$ adet ham veri kullanılmıştır.

2.2. Ham Veri Setinin Visual Basic Tabanlı Yazılan Bilgisayar Programına Aktarılması

Bu veri seti visual basic tabanlı yazılıma aktararak, yılın 12 ayı için ortalama dış hava sıcaklık dağılımı $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ derece aralıklarla hesaplanmıştır. İzmir ili için yapılan çalışma örnek olarak Tablo 1' de verilmiştir. Tablo 1 de sütunlar 12 ay ve ortalamayı ve satırlar ise $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ derece farkla dış hava sıcaklıklarının temsil etmektedir.



Tablo 1. İzmir ili 12 aylık yüzdelerle görülme sıklıkları

Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Aylık Bazda Yüzde Görülme Sıklığı												Yıllık Ortalama Yüzde Görülme Sıklığı
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
-10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4,5	0	0,009249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000770749
-3,5	0,029402	0,087865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,009772268
-2,5	0,075605	0,2266	0,037802	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,028333944
-1,5	0,214214	0,536441	0,100806	0	0	0	0	0	0	0	0,025202	0	0,07305523
-0,5	0,592238	0,758417	0,15961	0	0	0	0	0	0	0	0,168011	0	0,139856287
0,5	1,373488	1,512209	0,415827	0	0	0	0	0	0	0,026042	0,730847	0	0,3382200968
1,5	2,335349	2,640585	0,705645	0,013021	0	0	0	0	0	0,125868	1,171875	0	0,582695254
2,5	3,532426	3,459119	1,264281	0,034722	0	0	0	0	0	0,31684	2,020329	0	0,885643191
3,5	4,716902	4,467259	1,902722	0,043403	0	0	0	0	0	0,659722	2,667171	0	1,20476483
4,5	5,771169	4,985202	2,217742	0,16059	0	0	0	0	0	0,998264	3,75084	0	1,490317262
5,5	7,010249	6,428043	3,59963	0,390625	0	0	0	0	0	1,779514	5,498152	0	2,05885106
6,5	7,980511	6,899741	4,6833	0,62066	0	0	0	0	0,025202	2,599826	6,207997	0	2,418103046
7,5	8,392137	6,90899	5,813172	1,197917	0,033602	0	0	0	0	0,130208	3,328993	6,686828	2,707653943
8,5	9,122984	8,846652	7,258065	2,222222	0,058804	0	0	0	0,277218	4,309896	7,795699	0	3,324294895
9,5	8,74496	8,652423	7,942708	3,541667	0,117608	0	0	0	0,709845	4,921875	8,28713	0	3,57651802
10,5	8,988575	8,50444	8,28713	5,069444	0,415827	0,013021	0	0	1,524698	6,775174	9,744624	0	4,110244325
11,5	7,795699	7,829264	8,845766	6,662326	0,63004	0,017361	0	0	2,272345	7,721354	9,253192	0	4,252279038
12,5	6,787634	6,807251	8,371136	7,582465	1,5667	0,047743	0	0	2,877184	8,554688	8,728159	0	4,276913351
13,5	5,825773	5,914724	7,787298	8,550347	2,423555	0,069444	0	0,075596	4,292675	9,309896	8,232527	0	4,373486309
14,5	3,994456	4,915834	7,232863	8,780382	3,818044	0,104167	0	0,506937	5,955981	9,427083	6,460013	0	4,266313397
15,5	2,914987	3,565483	5,976983	8,815104	5,724966	0,338542	0	1,254002	7,484879	8,546007	4,964718	0	4,132139164
16,5	2,079133	2,515723	4,37668	8,090278	7,010249	0,707465	0	0,012601	2,058876	8,043515	7,894965	3,473622	3,855258932
17,5	1,205477	1,609323	3,826445	7,361111	8,106519	1,592882	0,079886	0,042003	3,255069	8,669355	6,384549	2,368952	3,708464137
18,5	0,420027	1,045135	3,28461	6,605903	8,060316	2,586806	0,227043	0,168011	5,007115	9,097782	5,303819	1,09207	3,574886414
19,5	0,092406	0,54569	2,108535	5,568576	8,12332	3,949653	0,542381	0,747648	6,141053	8,715558	3,875868	0,46623	3,406409823
20,5	0,0042	0,249723	1,650706	5,095486	8,358535	6,024306	1,198285	1,785114	8,782462	8,505544	2,821181	0,168011	3,720295941
21,5	0	0,060118	0,806452	4,045139	7,96371	6,471354	2,627817	3,44422	9,458378	7,232863	1,861979	0,012601	3,665385905
22,5	0	0,013873	0,642641	3,172743	7,526882	7,80816	4,700639	5,834173	9,573995	6,237399	1,189236	0,0042	3,891995181
23,5	0	0,004624	0,348622	2,217882	6,619624	8,381076	6,95005	8,018313	9,280505	5,136929	0,568576	0,016801	3,961916984
24,5	0	0	0,176411	1,540799	6,052587	8,74566	8,400605	8,917171	8,849164	3,90205	0,399306	0,0042	3,915662724
25,5	0	0,071405	0,967882	5,036122	8,602431	9,704003	9,84963	8,115439	3,301411	0,182292	0	0	3,819217896
26,5	0	0	0,033602	0,642361	3,767641	8,385417	9,321393	9,391801	7,194948	1,990927	0,069444	0	3,399794579
27,5	0	0	0,025202	0,460069	3,167003	7,443576	8,930373	9,21959	5,932053	1,512097	0,043403	0	3,061113813
28,5	0	0	0,021001	0,299479	2,19254	6,688368	8,522536	8,581149	4,807008	0,907258	0,00434	0	2,668640064
29,5	0	0	0,025202	0,182292	1,369288	5,924479	7,904474	8,005712	3,508538	0,537634	0	0	2,288134861
30,5	0	0	0	0,047743	0,894657	4,952257	8,097881	7,287466	2,5836	0,340222	0	0	2,016985542
31,5	0	0	0	0,013021	0,428427	4,114583	7,286411	6,212198	1,587513	0,168011	0	0	1,650847024
32,5	0	0	0	0	0,281418	2,916667	5,554154	4,704301	0,973853	0,105007	0	0	1,211283271
33,5	0	0	0	0	0,138609	1,835938	4,061554	3,162802	0,551405	0,008401	0	0	0,813225709
34,5	0	0	0	0	0,063004	1,189236	2,64884	2,137937	0,262362	0,021001	0	0	0,526865002
35,5	0	0	0	0	0,029402	0,503472	1,488396	1,180276	0,173426	0,016801	0	0	0,282647675
36,5	0	0	0	0	0,021001	0,347222	0,786243	0,651042	0,048915	0	0	0	0,154535255
37,5	0	0	0	0	0	0,164931	0,42886	0,449429	0,01334	0	0	0	0,088046625
38,5	0	0	0	0	0	0,039063	0,29852	0,105007	0	0	0	0	0,036882436
39,5	0	0	0	0	0	0,030382	0,172385	0,067204	0	0	0	0	0,022497587
40,5	0	0	0	0	0	0	0,042045	0,012601	0	0	0	0	0,004553823
41,5	0	0	0	0	0	0,00434	0,021023	0,0042	0	0	0	0	0,00246359
42,5	0	0	0	0	0	0	0	0,008401	0	0	0	0	0,000700045
43,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	100	100	100	99,99566	100	100	99,9958	100	99,99555	100	100	100	99,99891737

Tablo 1'deki birinci Sütun 1 °C derece farkla dış hava sıcaklıklarını, ikinci – on üçüncü yılın 12 ayını, on dördüncü sütun yıllık ortalama dış hava sıcaklığı görülme temsil etmektedir. Aylık görülme sıklıkları 30*24=720 saat içerisinde yüzde olarak görülme sıklıklarını ifade etmektedir. Tablodaki 4, 7, 9 ve 12. Ayların %100 çıkmamasının nedeni devirli sayıların yuvarlanmamasından dolayıdır.

2.3 Dış Hava Sıcaklıklarının 1 °C Derece Farkla 12 Ay İçin ve Yıllık Ortalama Görülme Saatlerinin Hesaplanması

Tablo 1'de görülme sıklıkları yüzde olarak verilmiştir. Tablo 2'de ise yılın her ayı için 720 saat içerisinde görülme zamanı saat olarak, yıllık 8760 saat içerisinde toplam görülme zamanı saat olarak hesaplanmıştır.

$$GS = YGS * \frac{720}{100} \quad \text{Denklem (1)}$$



Denklem 1'de kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir.

GS: Görülme Saati

YGS: Yüzde görülme sıklığı

Tablo 2'deki birinci Sütun 1 °C derece farkla dış hava sıcaklıklarını, 2–13 sütunlar yılın 12 ayını, on dördüncü sütun yıllık ortalama dış hava sıcaklığı görülme temsil etmektedir. Aylık görülme saatleri 30*24=720 saat içerisinde saat olarak görülme saatlerini ifade etmektedir. Tablodaki 4, 7, 9 ve 12. Ayların 720 çıkmamasının nedeni devirli sayıların yuvarlanmamasından dolayıdır.

Tablo 2. İzmir ili 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri

Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Aylık Bazda Görülme Saatleri												Yıllık Ortalama Görülme Saatleri	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık		
-10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4,5	0	0,066593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00554939
-3,5	0,211694	0,63263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07036033
-2,5	0,544355	1,631521	0,272177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,204004399
-1,5	1,542339	3,862375	0,725806	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,181452	0,525997659
-0,5	4,264113	5,460599	1,149194	0	0	0	0	0	0	0	0	1,209677	1,006965267	2,435046968
0,5	9,889113	10,8879	2,993952	0	0	0	0	0	0	0,1875	5,262097	2,435046968	2,435046968	2,435046968
1,5	16,81452	19,01221	5,080645	0,09375	0	0	0	0	0	0,90625	8,4375	4,195405829	4,195405829	4,195405829
2,5	25,43347	24,90566	9,102823	0,25	0	0	0	0	0	2,28125	14,54637	6,376630972	6,376630972	6,376630972
3,5	33,96169	32,16426	13,6996	0,3125	0	0	0	0	0	4,75	19,20363	8,674306774	8,674306774	8,674306774
4,5	41,55242	35,89345	15,96774	1,15625	0	0	0	0	0	7,1875	27,00605	10,73028428	10,73028428	10,73028428
5,5	50,47379	46,28191	25,91734	2,8125	0	0	0	0	0	12,8125	39,58669	14,82372763	14,82372763	14,82372763
6,5	57,45968	49,67814	33,71976	4,46875	0	0	0	0	0,181452	18,71875	44,69758	17,41034193	17,41034193	17,41034193
7,5	60,42339	49,74473	41,85484	8,625	0,241935	0	0	0	0,9375	23,96875	48,14516	19,49510839	19,49510839	19,49510839
8,5	65,68548	63,69589	52,25806	16	0,423387	0	0	0	1,995968	31,03125	56,12903	23,93492324	23,93492324	23,93492324
9,5	62,96371	62,29745	57,1875	25,5	0,846774	0	0	0	5,110887	35,4375	59,66734	25,75092975	25,75092975	25,75092975
10,5	64,71774	61,23196	59,66734	36,5	2,993952	0,09375	0	0	10,97782	48,78125	70,16129	29,59375914	29,59375914	29,59375914
11,5	56,12903	56,3707	63,68952	47,96875	4,53629	0,125	0	0	16,36089	55,59375	66,62298	30,61640908	30,61640908	30,61640908
12,5	48,87097	49,01221	60,27218	54,59375	11,28024	0,34375	0	0	20,71573	61,59375	62,84274	30,79377612	30,79377612	30,79377612
13,5	41,94556	42,58602	56,06855	61,5625	17,4496	0,5	0	0,54429	30,90726	67,03125	59,27419	31,48910143	31,48910143	31,48910143
14,5	28,76008	35,39401	52,07661	63,21875	27,48992	0,75	0	0	3,649947	42,88306	67,875	30,71745646	30,71745646	30,71745646
15,5	20,9879	25,67148	43,03427	63,46875	41,21976	2,4375	0	0	9,028815	53,89113	61,53125	29,75140198	29,75140198	29,75140198
16,5	14,96976	18,11321	31,5121	58,25	50,47379	5,09375	0,090726	14,82391	57,91331	56,84375	25,01008	27,75786431	27,75786431	27,75786431
17,5	8,679435	11,58713	27,5504	53	58,36694	11,46875	0,575177	0,302419	23,4365	62,41935	45,96875	17,05645	17,05645	17,05645
18,5	3,024194	7,524972	23,64919	47,5625	58,03427	18,625	1,634712	1,209677	36,05123	65,50403	38,1875	7,862903	7,862903	7,862903
19,5	0,665323	3,928968	15,18145	40,09375	58,4879	28,4375	3,905146	5,383065	44,21558	62,75202	27,90625	3,356855	3,356855	3,356855
20,5	0,030242	1,798002	11,88508	36,6875	60,18145	43,375	8,627649	12,85282	63,23372	61,23992	20,3125	1,209677	1,209677	1,209677
21,5	0	0,432852	5,806452	29,125	57,33871	46,59375	18,92028	24,79839	68,10032	52,07661	13,40625	0,090726	0,090726	0,090726
22,5	0	0,099889	4,627016	22,84375	54,19355	56,21875	33,8446	42,00605	68,93276	44,90927	8,5625	0,030242	0,030242	0,030242
23,5	0	0,033296	2,510081	15,96875	47,66129	60,34375	50,04036	57,73185	66,81964	36,98589	4,09375	0,120968	0,120968	0,120968
24,5	0	0	1,270161	11,09375	43,57863	62,96875	60,48436	64,20363	63,71398	28,09476	2,875	0,030242	0,030242	0,030242
25,5	0	0	0,514113	6,96875	36,26008	61,9375	69,86882	70,91734	58,43116	23,77016	1,3125	0	0	0
26,5	0	0	0,241935	4,625	27,12702	60,375	67,62097	67,62097	51,80363	14,33468	0,5	0	0	0
27,5	0	0	0,181452	3,3125	22,80242	53,59375	64,29869	66,38105	42,71078	10,8871	0,3125	0	0	0
28,5	0	0	0,15121	2,15625	15,78629	48,15625	61,36226	61,78427	34,61046	6,532258	0,03125	0	0	0
29,5	0	0	0,181452	1,3125	9,858871	42,65625	56,91221	57,64113	25,26147	3,870968	0	0	0	0
30,5	0	0	0	0,34375	6,441532	35,65625	58,30474	52,46976	18,60192	2,449597	0	0	0	0
31,5	0	0	0	0,09375	3,084677	29,625	52,46216	44,72782	11,4301	1,209677	0	0	0	0
32,5	0	0	0	0	2,02621	21	39,98991	33,87097	7,01174	0,756048	0	0	0	0
33,5	0	0	0	0	0,997984	13,21875	29,24319	22,77218	3,970117	0,060484	0	0	0	0
34,5	0	0	0	0	0,453629	8,5625	19,07164	15,39315	1,889007	0,15121	0	0	0	0
35,5	0	0	0	0	0,211694	3,625	10,71645	8,497984	1,248666	0,120968	0	0	0	0
36,5	0	0	0	0	0,15121	2,5	5,660949	4,6875	0,352188	0	0	0	0	0
37,5	0	0	0	0	0	1,1875	3,08779	3,235887	0,096051	0	0	0	0	0
38,5	0	0	0	0	0	0,28125	2,149344	0,756048	0	0	0	0	0	0
39,5	0	0	0	0	0	0,21875	1,241171	0,483871	0	0	0	0	0	0
40,5	0	0	0	0	0	0	0,302725	0,090726	0	0	0	0	0	0
41,5	0	0	0	0	0	0,03125	0,151362	0,030242	0	0	0	0	0	0
42,5	0	0	0	0	0	0	0	0,060484	0	0	0	0	0	0
43,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	720	720	720	719,9688	720	720	719,9697	720	719,968	720	720	720	719,992205	719,992205

2.4. Dış Hava Sıcaklıklarının 18 °C Altında Görülme Saatlerinin Visual Basic Programında Tespit Edilmesi

Tablo 3. İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri

Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Aylık Bazda Görülme Saatleri												Yıllık Ortalama Görülme Saatleri
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
-10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4,5	0	0,066593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00554939
-3,5	0,211694	0,63263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07036033
-2,5	0,544355	1,631521	0,272177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,204004399
-1,5	1,542339	3,862375	0,725806	0	0	0	0	0	0	0	0,181452	0	0,525997659
-0,5	4,264113	5,460599	1,149194	0	0	0	0	0	0	0	0	1,209677	1,006965267
0,5	9,889113	10,8879	2,993952	0	0	0	0	0	0	0,1875	5,262097	0	2,435046968
1,5	16,81452	19,01221	5,080645	0,09375	0	0	0	0	0	0,90625	8,4375	0	4,195405829
2,5	25,43347	24,90566	9,102823	0,25	0	0	0	0	0	2,28125	14,54637	0	6,376630972
3,5	33,96169	32,16426	13,6996	0,3125	0	0	0	0	0	4,75	19,20363	0	8,674306774
4,5	41,55242	35,89345	15,96774	1,15625	0	0	0	0	0	7,1875	27,00605	0	10,73028428
5,5	50,47379	46,28191	25,91734	2,8125	0	0	0	0	0	12,8125	39,58669	0	14,82372763
6,5	57,45968	49,67814	33,71976	4,46875	0	0	0	0	0,181452	18,71875	44,69758	0	17,41034193
7,5	60,42339	49,74473	41,85484	8,625	0,241935	0	0	0	0,9375	23,96875	48,14516	0	19,49510839
8,5	65,68548	63,69589	52,25806	16	0,423387	0	0	0	1,995968	31,03125	56,12903	0	23,93492324
9,5	62,96371	62,29745	57,1875	25,5	0,846774	0	0	0	5,110887	35,4375	59,66734	0	25,75092975
10,5	64,71774	61,23196	59,66734	36,5	2,993952	0,09375	0	0	10,97782	48,78125	70,16129	0	29,59375914
11,5	56,12903	56,3707	63,68952	47,96875	4,53629	0,125	0	0	16,36089	55,59375	66,62298	0	30,61640908
12,5	48,87097	49,01221	60,27218	54,59375	11,28024	0,34375	0	0	20,71573	61,59375	62,84274	0	30,79377612
13,5	41,94556	42,58602	56,06855	61,5625	17,4496	0,5	0	0,54429	30,90726	67,03125	59,27419	0	31,48910143
14,5	28,76008	35,39401	52,07661	63,21875	27,48992	0,75	0	0	3,649947	42,88306	67,875	46,5121	30,71745646
15,5	20,9879	25,67148	43,03427	63,46875	41,21976	2,4375	0	0	9,028815	53,89113	61,53125	35,74597	29,75140198
16,5	14,96976	18,11321	31,5121	58,25	50,47379	5,09375	0	0,090726	14,82391	57,91331	56,84375	25,01008	27,75786431
17,5	8,679435	11,58713	27,5504	53	58,36694	11,46875	0,575177	0,302419	23,4365	62,41935	45,96875	17,05645	26,70094179
Toplam	716,2802	706,182	653,8004	497,7813	215,3226	20,8125	0,575177	0,393145	51,48346	304,2944	602,5	707,2984	373,0602931

Tablo 3'te yer alan veriler, Tablo 2'de yer alan verilerin 18 °C altındaki görülme saatlerinin tespit edilmiş halidir.

2.5. Isıtma Sezonundaki Aylara Göre 18 °C ve Altında Toplam Görülme Saatlerinin Tespit Edilmesi

Isıtma sezonundaki aylar Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık olmak üzere toplam 7 aydan oluşmaktadır. Tablo 4'tede belirtildiği üzere 18 °C altında ısıtma sezonundaki toplam çalışma saatleri Ocak ayı için 716,2802 saat; Şubat ayı için 706,1820 saat; Mart ayı için 653,8004 saat; Nisan ayı için 497,7813 saat; Ekim ayı için 304,2944 saat; Kasım ayı için 602,5 saat; Aralık ayı için 707,2984 saat olarak tespit edilmiştir. Bu tablo -4,5 – 17,5 °C dış hava sıcaklıklarının 1°C farkla görülme saatleri ayrıntılı olarak görülmektedir. Bu yaklaşımla -4,5 – 17,5 °C arasındaki dış hava sıcaklıklarının görülme saatleri ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur. Yaklaşımın hangi aylarda ısıtma sistemlerinin devreye girme saatleri için en önemli parametre olduğu gibi ısıtma sistemlerinin Isıtma Derece Saat Değerleri (IDSD) hesaplamasında da en önemli parametreleri oluşturmaktadır.

Tablo 4. İzmir İli İçin Aylara Göre 18 °C ve Altında Toplam Isıtma Sezonu Çalışma Saati

Ocak	716,2802
Şubat	706,1820
Mart	653,8004
Nisan	497,7813
Mayıs	215,3226
Haziran	20,8125
Temmuz	0,5752
Ağustos	0,3931
Eylül	51,4835
Ekim	304,2944
Kasım	602,5000
Aralık	707,2984
12 Aylık Ortalama	373,0603
Isıtma Sezonu Toplam	4188,1367

2.6. Dağılım Denklemleri Ve Optimizasyon

Isıtma sezonundaki her ay için çalışma sürelerine ve dış hava sıcaklıklarına göre dış hava sıcaklık eğri uydurma ve Gaussian metodu kullanılarak dağılım denklemleri bulunmuştur.

2.6.1. Eğri Uydurma

Eğri uydurma, muhtemelen kısıtlamalara tabi olan bir dizi veri noktasına en iyi uyan bir eğriyi veya matematiksel fonksiyonu oluşturma işlemidir. Yerleştirilen eğriler, veri görselleştirmeye yardımcı olarak, hiçbir veri bulunmadığında bir fonksiyonun değerlerini çıkarmak ve iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri özetlemek için kullanılabilir.

2.6.2. Gaussian Metodu

Gauss fonksiyonları, matematik, bilim ve mühendislikteki birçok işlemi tanımlamak için uygundur, bu da onları sinyal ve görüntü işleme alanlarında çok faydalı kılar. Örneğin, karmaşık fiziksel faktörlerin neden olduğu bir sinyaldeki rastgele gürültü, olasılık teorisinden merkezi limit teoremine göre Gauss dağılımı ile basitçe modellenilebilir. Gauss fonksiyonlarını deneysel verilere uydurmak, birçok sinyal işleme disiplininde çok önemlidir.

2.6.3. Gaussian Eğri Uydurma

$$f(x) = a * \exp\left(-\frac{(x - b)^2}{2 * c^2}\right) \quad \text{Denklem 2}$$

Bu fonksiyon, x=b konumunda merkezlenmiş simetrik çan şeklindeki bir eğri ile grafiklendirebilir; a tepe noktasının yüksekliğidir ve c genişliğini kontrol eder ve tepe noktasının her iki tarafında da kuyuklar (düşük genlikli kısımlar) bulunur. Eğri hızla düşer ve x eksenine yaklaşır. a, b ve c de dahil olmak üzere tüm Gauss parametrelerini belirlemek kolay değildir, çünkü bu problem genellikle, gözlenen verilerin (1)'e ikame edilmesiyle üretilen, üst-belirlenmiş doğrusal olmayan denklemler sisteminin çözümü ile ilişkilidir.

2.6.4. Dağılım Denklemleri

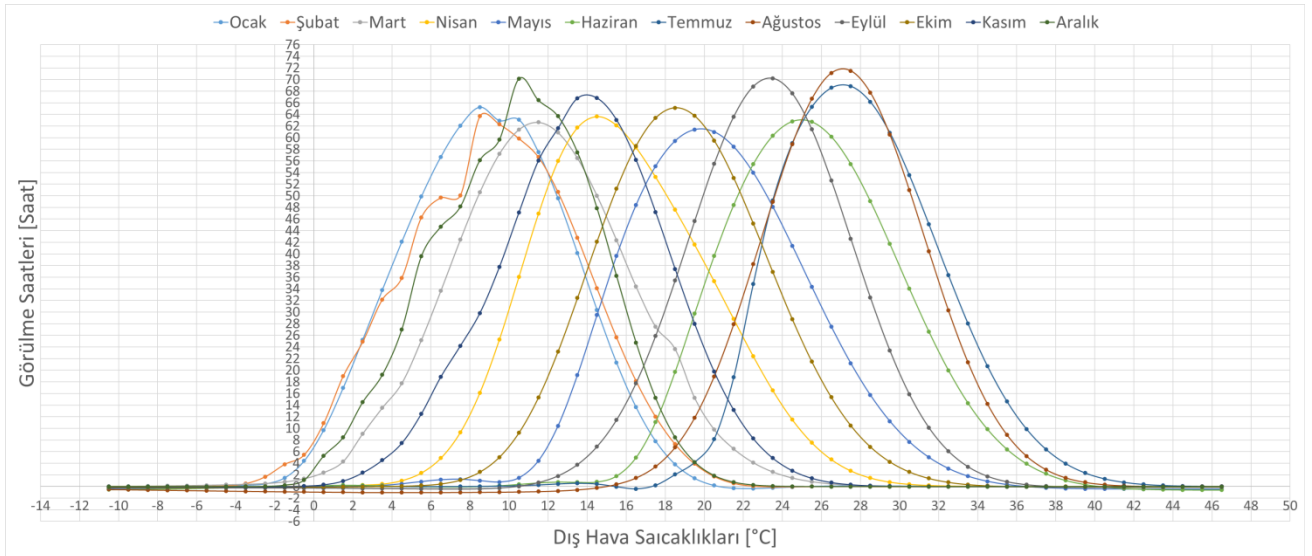
Isıtma sezonundaki her ay için çalışma sürelerine ve dış hava sıcaklıklarına göre dış hava sıcaklık dağılım denklemleri bulunmuştur ve gerçek değerler arasındaki hata payı hesaplanmıştır.

Gerçek Değerler;

Tablo 5. İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri (Gerçek)

Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Aylık Bazda Görülme Saatleri												Yıllık Ortalama Görülme Saatleri	
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık		
-10,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-8,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-6,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4,5	0	0,066593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00554939
-3,5	0,211694	0,63263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07036033
-2,5	0,544355	1,631521	0,272177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,204004399
-1,5	1,542339	3,862375	0,725806	0	0	0	0	0	0	0	0	0,181452	0	0,525997659
-0,5	4,264113	5,460599	1,149194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,209677	1,006965267
0,5	9,889113	10,8879	2,993952	0	0	0	0	0	0	0	0,1875	5,262097	0	2,435046968
1,5	16,81452	19,01221	5,080645	0,09375	0	0	0	0	0	0	0,90625	8,4375	0	4,195405829
2,5	25,43347	24,90566	9,102823	0,25	0	0	0	0	0	0	2,28125	14,54637	0	6,376630972
3,5	33,96169	32,16426	13,6996	0,3125	0	0	0	0	0	0	4,75	19,20363	0	8,674306774
4,5	41,55242	35,89345	15,96774	1,15625	0	0	0	0	0	0	7,1875	27,00605	0	10,73028428
5,5	50,47379	46,28191	25,91734	2,8125	0	0	0	0	0	0	12,8125	39,58669	0	14,82372763
6,5	57,45968	49,67814	33,71976	4,46875	0	0	0	0	0	0,181452	18,71875	44,69758	0	17,41034193
7,5	60,42339	49,74473	41,85484	8,625	0,241935	0	0	0	0	0,9375	23,96875	48,14516	0	19,49510839
8,5	65,68548	63,69589	52,25806	16	0,423387	0	0	0	0	1,995968	31,03125	56,12903	0	23,93492324
9,5	62,96371	62,29745	57,1875	25,5	0,846774	0	0	0	0	5,110887	35,4375	59,66734	0	25,75092975
10,5	64,71774	61,23196	59,66734	36,5	2,993952	0,09375	0	0	0	10,97782	48,78125	70,16129	0	29,59375914
11,5	56,12903	56,3707	63,68952	47,96875	4,53629	0,125	0	0	0	16,36089	55,59375	66,62298	0	30,61640908
12,5	48,87097	49,01221	60,27218	54,59375	11,28024	0,34375	0	0	0	20,71573	61,59375	62,84274	0	30,79377612
13,5	41,94556	42,58602	56,06855	61,5625	17,4496	0,5	0	0,54429	30,90726	67,03125	59,27419	0	0	31,48910143
14,5	28,76008	35,39401	52,07661	63,21875	27,48992	0,75	0	0	3,649947	42,88306	67,875	46,5121	0	30,71745646
15,5	20,9879	25,67148	43,03427	63,46875	41,21976	2,4375	0	0	9,028815	53,89113	61,53125	35,74597	0	29,75140198
16,5	14,96976	18,11321	31,5121	58,25	50,47379	5,09375	0	0,090726	14,82391	57,91331	56,84375	25,01008	0	27,75786431
17,5	8,679435	11,58713	27,5504	53	58,36694	11,46875	0,575177	0,302419	23,4365	62,41935	45,96875	17,05645	0	26,70094179
Toplam	716,2802	706,182	653,8004	497,7813	215,3226	20,8125	0,575177	0,393145	51,48346	304,2944	602,5	707,2984	0	373,0602931

Tablo 5'te İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri verilmiştir. Bu tablodaki veriler dikkate alınarak dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Isıtma sezonları için görülme saatleri Ekim ayında 304,2944 saat; Kasım ayında 602,5 saat; Aralık ayında 707,30 saat; Ocak ayında 716,2802 saat; Şubat ayına 706,182 saat; Mart ayında 653,8004 saat; Nisan ayında 497,7813 saat olduğu tespit edilmiştir.

**Şekil 2.** İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme dağılım grafiği

2.6.5 Dağılım Denklemleri Optimizasyonu

Şekil 1'deki dağılım grafiğine eğri regresyon katsayısı en yüksek olan eğri uydurma yöntemleri araştırılarak optimum eğri uydurma yöntemi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre gerçek verilere en yakın yakınsama Gaussian yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

2.6.5.1. Isıtma Sezonundaki Her Ay İçin Çalışma Sürelerine ve Dış Hava Sıcaklıklarına Göre Dış Hava Sıcaklık Dağılım Denklemlerinin Bulunması

Şekil 1'deki dağılım grafiğine hata payları minimum olmak şartıyla visual basic tabanlı yazılım la optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda Denklem 3 elde edilmiştir.

$f(x) =$

$$\begin{aligned} & a_1 * \exp\left(-\frac{(x-b_1)^2}{2*(c_1)^2}\right) + a_2 * \exp\left(-\frac{(x-b_2)^2}{2*(c_2)^2}\right) + a_3 * \exp\left(-\frac{(x-b_3)^2}{2*(c_3)^2}\right) + a_4 * \exp\left(-\frac{(x-b_4)^2}{2*(c_4)^2}\right) + \\ & a_5 * \exp\left(-\frac{(x-b_5)^2}{2*(c_5)^2}\right) + a_6 * \exp\left(-\frac{(x-b_6)^2}{2*(c_6)^2}\right) + a_7 * \exp\left(-\frac{(x-b_7)^2}{2*(c_7)^2}\right) + a_8 * \exp\left(-\frac{(x-b_8)^2}{2*(c_8)^2}\right) + \\ & a_9 * \exp\left(-\frac{(x-b_9)^2}{2*(c_9)^2}\right) + a_{10} * \exp\left(-\frac{(x-b_{10})^2}{2*(c_{10})^2}\right) \end{aligned}$$

(Denklem 3)

Denklem 3'te bulunan model parametreler aşağıda verilmiştir.

$a, a_1, a_2, a_3, \dots, a_9, a_{10}$: Fonksiyon tepe noktasının yüksekliği

$b, b_1, b_2, b_3, \dots, b_9, b_{10}$: Fonksiyon tepe noktasının merkezi

$c, c_1, c_2, c_3, \dots, c_9, c_{10}$: Fonksiyon tepe noktasının genişliği

x : Dış hava sıcaklığı

Model parametrelerle ilgili katsayılar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Model Parametre Katsayıları

Ocak			Şubat			Mart		
65,51121	9,344898	4,126472	60,29247	10,04409	4,162664	62,83363	11,51478	4,492726
15,56131	8,567379	0,031291	18,07427	8,90209	0,301155	14,43203	9,174739	-0,02782
-0,00138	65,55189	41,64734	-0,0014	64,02811	42,94803	-0,00069	12,74769	21,56722
20,71725	6,081156	-0,26173	22,47859	6,035538	-0,31471	-0,48828	1,049963	-0,07985
-5,57839	1,549352	-0,00255	-5,57839	1,549352	-0,00255	-0,33114	1,02813	0,362605
13,31635	1,801682	-0,77916	20,52058	1,772191	-0,76649	0,018112	1,044936	0,442637
-6,99657	1,625342	-0,2722	-8,28555	1,417627	-0,26727	0,018112	1,044936	0,442637
0,303886	-0,46589	0,270651	2,949048	-0,88667	1,12589	0,018112	1,044936	0,442637
11,9675	4,974087	-0,463	14,17441	4,927612	-0,52206	0,018112	1,044936	0,442637
12,31901	3,793039	-0,34734	13,50413	3,631509	-0,37215	0,018112	1,044936	0,442637
Nisan			Mayıs			Haziran		
64,64849	14,87271	3,987177	63,76856	21,9056	4,305277	59,73631	28,31085	4,337579
14,43203	9,174739	-0,02782	21,71373	16,68662	-2,27553	21,32159	20,11574	-1,92438
-0,00043	16,69319	4,210509	0,209306	11,6762	56,75426	0,210062	11,67184	56,78358
-0,48828	1,049963	-0,07985	0,096111	4,57517	-1,71001	0,096254	4,591675	-1,71063
-0,33188	1,030786	0,364103	-0,21848	1,982233	5,685251	-0,21894	1,979615	5,642783
0,018109	1,044798	0,442537	0,215657	1,253868	-0,09244	0,215659	1,254226	-0,09244
0,018109	1,044798	0,442537	0,215657	1,253868	-0,09244	0,215659	1,254226	-0,09244
0,018109	1,044798	0,442537	0,215657	1,253868	-0,09244	0,215659	1,254226	-0,09244
0,018109	1,044798	0,442537	0,215657	1,253868	-0,09244	0,215659	1,254226	-0,09244
0,018109	1,044798	0,442537	0,215657	1,253868	-0,09244	0,215659	1,254226	-0,09244
Temmuz			Ağustos			Eylül		
158,4284	19,33082	0,546179	125,7208	27,004	2,737489	95,01793	23,18246	3,431518
20,73794	28,6029	-1,80648	20,73793	28,60473	-1,80643	20,73793	28,60478	-1,80643
0,000781	11,4534	56,75426	0,000783	11,45372	56,7628	0,000783	11,45359	56,76349
0,000211	2,281589	-0,87821	0,000211	2,280337	-0,87787	0,000211	2,305926	-0,87787
-0,0008	2,430077	9,503562	-0,0008	2,424565	9,462705	-0,00083	3,247591	9,464078
0,215062	1,108378	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975
0,215062	1,108378	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975
0,215062	1,108378	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975
0,215062	1,108378	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975
0,215062	1,108378	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975	0,215062	1,108421	-0,08975
Ekim			Kasım			Aralık		
62,46174	17,73267	3,682203	65,78635	13,97543	4,46789	66,17271	11,6008	3,530903
20,73793	28,60477	-1,80643	20,73792	28,60534	-1,80642	14,43203	9,174739	-0,02782
0,000693	11,4023	57,35874	-7,4E-06	10,797	65,8856	-5,3E-07	18,46581	27,72984
0,000211	7,221318	-0,87786	0,000213	7,114606	-0,88317	-0,48827	1,049463	-0,07983
-0,0009	3,364323	8,036124	-0,00911	-1,22229	-1,63749	0,001088	-14,5348	0,069725
0,215062	1,108421	-0,08975	0,215065	1,109234	-0,08977	4,38099	5,482899	2,579338
0,215062	1,108421	-0,08975	0,215065	1,109234	-0,08977	4,380988	5,481248	2,579468
0,215062	1,108421	-0,08975	0,215065	1,109234	-0,08977	4,380995	5,485662	2,579138
0,215062	1,108421	-0,08975	0,215065	1,109234	-0,08977	4,380968	5,471331	2,580198
0,215062	1,108421	-0,08975	0,215065	1,109234	-0,08977	4,380995	5,485682	2,579137

Denklem 3'teki model parametreler kullanılarak İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri Denklem 1'e göre hesaplanarak Tablo 7'de verilmiştir. Gerçek verilerle optimizasyon sonuçlarına göre ısıtma süreleri çalışma saatleri arasındaki fark; şubat ayında ısıtma sistemi çalışma saati gerçek verilerle 706,182 çalışması gerekirken optimizasyon sonucunda 718,375 olmuştur.



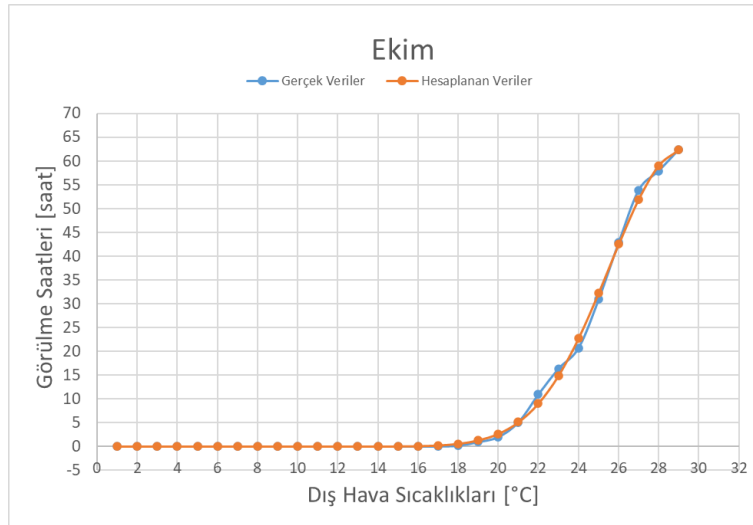
Karşılaştırma sonucuna göre optimizasyon sonucuna göre şubat ayında ısıtma sistemi 0,193 daha fazla süre çalışacaktır. Hata payının çok düşük olduğu şekil 3-9'da da görülmektedir.

Tablo 7. İzmir ili, 18 °C altındaki, 12 ay için ve yıllık ortalama görülme saatleri (Hesaplanan)

Dış Hava Sıcaklığı [°C]	Aylık Bazda Görülme Saatleri												Yıllık Ortalama Görülme Saatleri
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
-10,5	0,000361	6,66E-09	2,75E-10	1,04E-07	0,174304	0,175667	0,000406	0,00041	0,000438	0,000441	1,3E-05	4,89E-10	0,029336772
-9,5	0,001666	0,000663	0,000712	4,97E-07	0,166809	0,168312	0,000364	0,000368	0,000397	0,000398	5,95E-05	1,88E-06	0,028312537
-8,5	0,005409	0,002621	0,002658	2,23E-06	0,156566	0,158189	0,00032	0,000323	0,000353	0,00035	0,000203	1,49E-05	0,027250673
-7,5	0,015471	0,008028	0,007658	9,41E-06	0,143324	0,14503	0,000274	0,000276	0,000306	0,000295	0,00062	9,82E-05	0,02678243
-6,5	0,040867	0,022049	0,019809	3,73E-05	0,127056	0,128787	0,000227	0,000229	0,000258	0,000236	0,001752	0,000582	0,028490714
-5,5	0,101074	0,05683	0,047793	0,000138	0,108041	0,109723	0,00018	0,000182	0,000209	0,000173	0,004615	0,003074	0,036002767
-4,5	0,235111	0,15143	0,108906	0,000483	0,086921	0,088473	0,000136	0,000137	0,00016	0,00011	0,011499	0,014298	0,058138528
-3,5	0,515184	0,501995	0,23545	0,001584	0,064715	0,066063	9,38E-05	9,48E-05	0,000114	4,82E-05	0,027868	0,058108	0,12260983
-2,5	1,064063	1,699132	0,48381	0,004876	0,042786	0,043874	5,62E-05	5,69E-05	7,11E-05	8,77E-05	0,066622	0,205405	0,300896
-1,5	2,073875	3,833083	0,945555	0,014093	0,02283	0,023621	2,42E-05	2,45E-05	3,28E-05	3,88E-05	0,154303	0,630005	0,641453924
-0,5	4,275345	5,471069	1,758365	0,038406	0,007187	0,007645	3,33E-05	8,51E-05	1,53E-06	0,000172	0,337486	1,675458	1,130927911
0,5	9,883866	10,8866	3,038671	0,025235	5,42E-11	4,37E-11	7,41E-06	7,25E-06	1,64E-07	0,000931	0,691101	3,866479	2,366074601
1,5	16,81358	19,01222	5,149225	0,141976	0,039326	0,038828	0,000191	0,000191	0,000175	0,003648	1,331683	7,761835	4,191073421
2,5	25,4343	24,90536	8,392818	0,52459	0,037509	0,034904	0,000173	0,000173	0,000155	0,011797	2,429604	13,62027	6,282637957
3,5	33,96742	32,16429	12,79697	1,106383	0,082043	0,075284	5,65E-05	5,61E-05	3,81E-05	0,03538	4,211395	21,06968	8,792415501
4,5	41,55322	35,89345	18,5696	2,192446	0,123606	0,106368	1,39E-07	1,39E-07	4,12E-07	0,097804	6,941695	29,13491	11,21775868
5,5	50,48033	46,28189	25,64363	4,079756	0,155638	0,112257	1,52E-05	1,56E-05	0,000137	0,250515	10,88273	36,77765	14,55538012
6,5	57,46332	49,67804	33,7007	7,128878	0,206815	0,102202	4,58E-05	4,66E-05	0,0007	0,595533	16,22761	43,57008	17,38949794
7,5	59,2798	50,02132	42,14842	11,69742	0,337145	0,097105	8,3E-05	8,42E-05	0,002802	1,314352	23,01502	49,83852	19,81267263
8,5	65,68359	63,69582	50,16571	18,02355	0,63655	0,106275	0,000125	0,000127	0,010128	2,694193	31,04633	56,04467	24,00892239
9,5	65,46439	62,29735	56,82195	26,07789	1,271511	0,126326	0,000172	0,000174	0,033651	5,130279	39,8341	61,94689	26,58372317
10,5	62,9936	59,93131	61,25038	35,43123	2,585537	0,153354	0,000221	0,000225	0,102893	9,074588	48,61211	66,33402	28,87245516
11,5	57,1587	56,71459	62,83261	45,20451	5,208663	0,19099	0,000272	0,000289	0,289282	14,9101	56,42584	67,58566	30,54345826
12,5	48,90608	50,66081	61,34017	54,15754	10,03062	0,257824	0,000323	0,000427	0,747449	22,75635	62,29533	64,60189	31,31290219
13,5	39,45824	42,7155	56,98867	60,92813	17,8076	0,416164	0,000373	0,00103	1,774397	32,26219	65,41494	57,43512	31,26686251
14,5	30,01971	33,99653	50,38666	64,36629	28,39879	0,868547	0,000421	0,004131	3,869717	42,48681	65,33447	47,28524	30,5847764
15,5	21,53618	25,53988	42,39612	63,85292	40,23114	2,160447	0,000467	0,018861	7,75255	51,9737	62,06572	35,97572	29,45864153
16,5	14,56877	18,11079	33,94845	59,48188	50,8332	5,317165	0,000742	0,080366	14,26714	59,05851	56,07964	25,27349	28,08501195
17,5	9,29322	12,12239	25,87001	52,03197	58,3494	11,34397	0,575889	0,30398	24,11859	62,33767	48,19507	16,38912	26,74427394
Toplam	718,2867	706,375	655,0515	506,5122	217,4356	22,62339	0,58166	0,412286	52,97215	304,9966	601,6394	707,0983	374,4987404

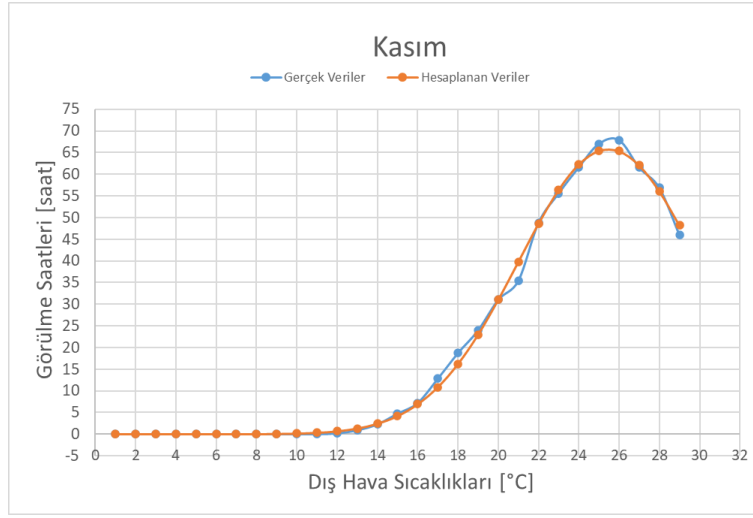
2.6.5.2. İzmir İli, 18 °C Altındaki, Isıtma Dönemi İçindeki Her Ay İçin Sezonluk Karşılaştırmalı Dağılım Grafikleri

İzmir için ısıtma dönemi ekim ayında başlayıp nisan ayında sona ermektedir. İzmir için bu çalışma dikkate alınarak bu ilin dış hava sıcaklığı 18 °C altındaki, ısıtma dönemi içindeki her ay için sezonluk karşılaştırmalı dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Dağılım grafikleri şekil 3-9'da verilmiştir.



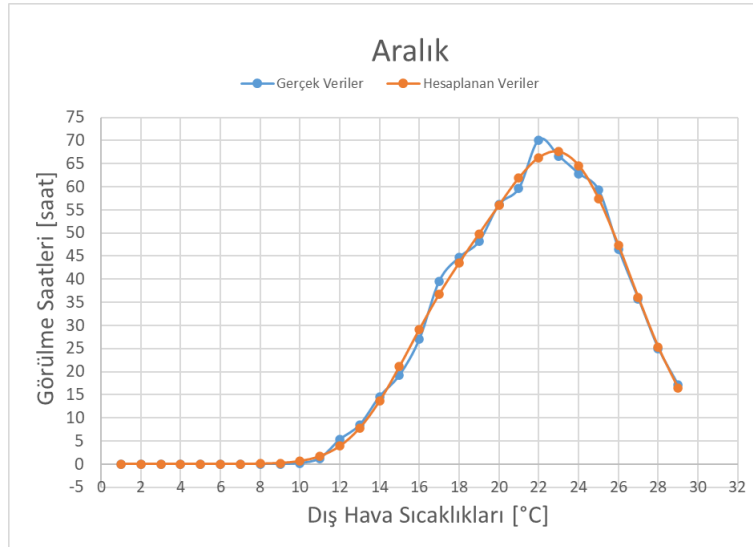
Şekil 3. Ekim ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Ekim ayında minimum görülme saati $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 62,3377 saat olarak tespit edilmiştir.



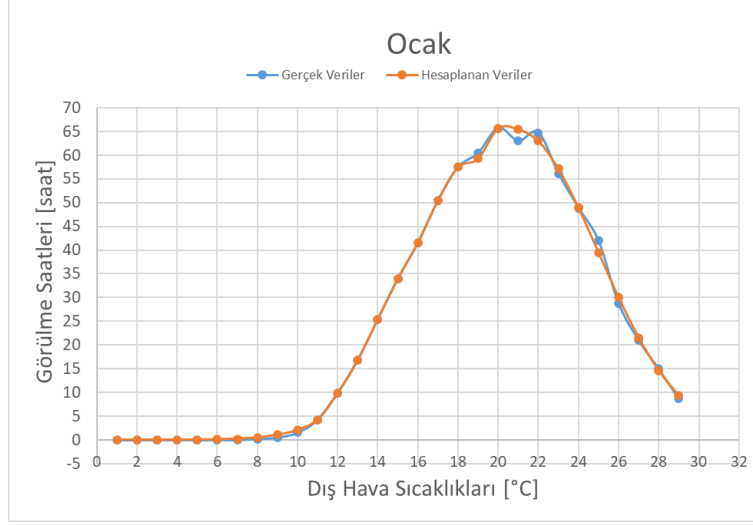
Şekil 4. Kasım ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Kasım ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 65,4149 saat olarak tespit edilmiştir.



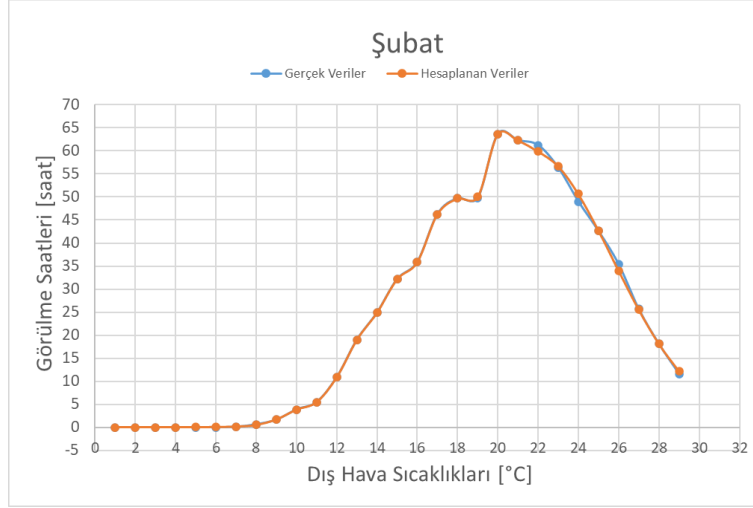
Şekil 5. Aralık ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Aralık ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ için 67,5857 saat olarak tespit edilmiştir.



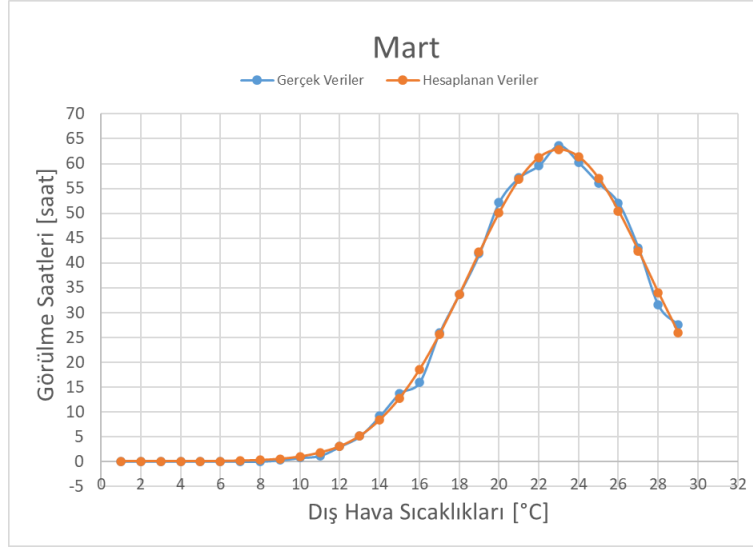
Şekil 6. Ocak ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Ocak ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ °C}$ için 0,0004 saat; maksimum görülme saati $8,5\text{ °C}$ için 65,6836 saat olarak tespit edilmiştir.



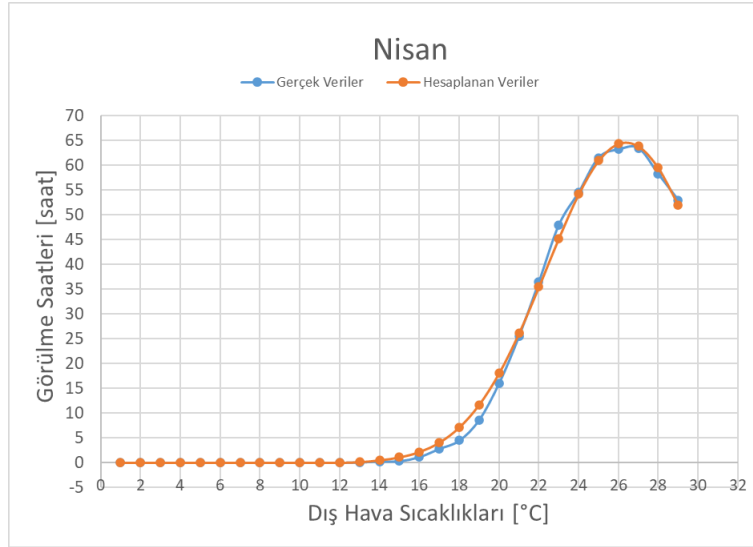
Şekil 7. Şubat ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Şubat ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ °C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $8,5\text{ °C}$ için 63,6958 saat olarak tespit edilmiştir.



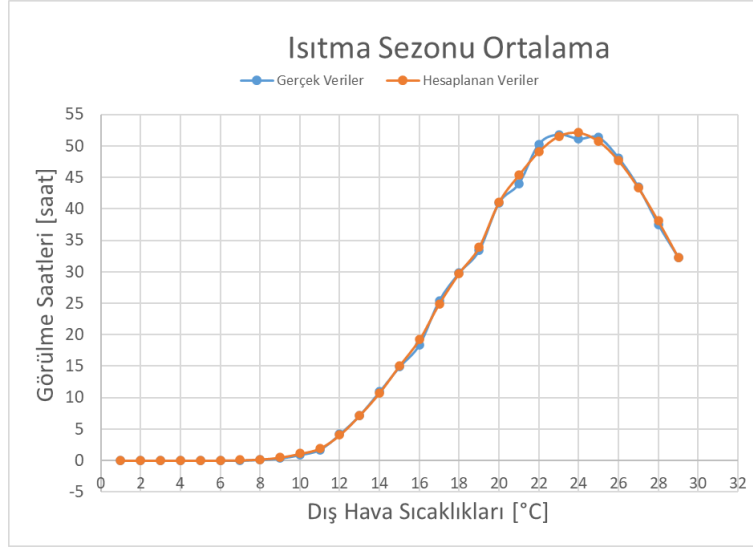
Şekil 8. Mart ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Mart ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ °C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $11,5\text{ °C}$ için 62,8326 saat olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9. Nisan ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Nisan ayında minimum görülme saati $-10,5\text{ °C}$ için 0 saat; maksimum görülme saati $14,5\text{ °C}$ için 64,3662 saat olarak tespit edilmiştir.



Şekil 9. Isıtma sezonu ortalama ayı karşılaştırmalı ısıtma sistemleri çalışma süreleri

Ortalama minimum görülme saati $-7,5$ °C için 0,0268 saat; Ortalama maksimum görülme saati $12,5$ °C için 31,3129 saat olarak tespit edilmiştir.

3. SONUÇ

İzmir ili için 12 aylık olmak üzere dış hava sıcaklıkları 18 °C'den başlamak üzere $-4,5$ °C'ye kadar görülme saatleri ortaya konulmuştur. Her ne kadar ısıtma dönemi 7 ay olsa da ve 18 °C'den küçük dış hava sıcaklıklarının görülme saatleri ortaya konulmuştur. İzmir için dış hava sıcaklıkları haziran ayında 20,3125 saat, temmuz ayında 0,5751 saat, ağustos ayında 0,3931 saat eylül ayında 51,4835 saat olacağı tahmin edilmiştir. Bu aylarda görülme saatleri çok düşük olduğu için ısıtma dönemi olarak hesaplamalarda dikkate alınmamaktadır. $-4,5$ ve 18 °C arasındaki dış hava sıcaklığı saatlerinin görülme saatleri her 1 °C farkla ayrıntılı olarak hesaplanması ısıtma sistemlerinin çalışma saatleri her ay için ve sezonluk çalışma sürelerinin ayrıntılı olarak ortaya konulmasını sağlamıştır. Bu çalışma ısıtma sistemleri imalatçıların garanti sürelerinin belirlenmesinde önemli parametre olacağı düşünülmektedir. Her ilin ısıtma sistemleri çalışma saatleri ve dış hava sıcaklık dağılım yoğunluğu farklı olduğu için her il için optimum garanti sürelerinin hesaplanmasında da önemli parametre olacağı düşünülmektedir. Erzurum'daki kombinin çalışma süresi ve dış hava sıcaklığı dağılım yoğunluklarıyla İzmir ilindeki çalışma süresi ve dış hava sıcaklığı dağılım yoğunlukları aynı değildir. Dünyada ve Türkiye'de ısıtma sistemleri garanti süreleri konusunda il bazlı garanti süresi verilmemektedir. Bu çalışma her il için il bazlı garanti süreleri konusunda yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bu durumun imalatçılar tarafından bilinmesi özellikle yanma odası, ısı değiştirici, brülör ve pompa vb. imalatı malzeme seçimi için farklı bir yaklaşım oluşturacaktır. Isıtma sistemleri kullanıcıları içinde sistemlerinin çalışma sürelerinin bilinmesi ödeyeceği doğal gaz faturasının tahmin etmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca ısıtma sistemleri kullanıcıları için tatil planlamaları farkındalığı oluşturacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada İzmir ili için ısıtma sistemleri çalışma süreleri ısıtma dönemindeki her ay için ve sezonluk olarak çalışma süreleri ilk defa literatüre kazandırılmıştır.

REFERANSLAR

- [1] Arısoy A., TTMD Eskişehir çalışmayı, (Şubat 2009)
- [2] International Energy Agency. (2009). World Energy Outlook, Paris, France.

- [3] MMO oda raporu “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği” 2012 Nisan, Yayın No:589
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). Ülkemiz İçin Kurulu Güç Verileri, Ankara.
- [5] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2021). Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu
- [6] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve EİE web sayfaları (Mart- 2012)
- [7] www.tuik.gov.tr
- [8] Ogulatar.G., “Sectoral energy consumption in Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No 6, 471-480, 2002.
- [9] Kaygusuz K., Kaygusuz A., "Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use", Energy Sources, No 26, 1071-1082, 2004.
- [10] Erdabak, M., “Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksikliklerin Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, (2011).
- [11] Koçu, N. ve Dereli M., “Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı İle Enerji Tasarrufu Sağlanması Ve Detaylarda Karşılaşılan Sorunlar (Konya Kentinden Örnekler)”, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir, (2010).
- [12] Dombaycı, Ö.A., “Degree-days maps of Turkey for various base temperatures”, Energy, 34, 1807-1812,2009.
- [13] Bilal, F., “Enerji Verimliliği ve Yalıtım”, İzolasyon Dünyası Dergisi, 83: 54-57 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

M. Hüseyin İLGİN

2020 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünden lisans derecesini aldı. 2021 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2021 yılında Konya AYD Otomotiv Endüstri San. ve Tic. A.Ş.’de kalite kontrol mühendisi olarak çalışmaktadır.

Mustafa ERTÜRK

1965 yılı Afyonkarahisar’da dünyaya gelmiştir. İlk,orta, lise öğrenimlerini Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesinde tamamlamıştır. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Makine Eğitimi bölümünden lisans derecesini aldı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 2012 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünden doktora derecesini aldı. 2018 yılı 11 haziranda Üniversitelerarası kurulundan Makine Mühendisliği Termodinamik- Enerji alanında Doçentlik derecesini almıştır. 1998-2019 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO iklimlendirme ve soğutma programında öğretim görevlisi, Yrd Doç Dr ve Doç Dr olarak çalışmıştır. 2019 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Farklı enerji kaynaklı ısı pompaları, farklı faz akışkanlı ısı değiştiriciler, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, yalıtım ve güneş enerjisi konularında çalışmaları vardır.

NANOAKIŞKAN KULLANILAN GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Comparison of Nanofluidic Solar Collectors in Terms of Energy Efficiency

Fırat Kesen
Hüseyin Günerhan
Arif Hepbaşlı

ÖZET

Bu çalışmada, nanoakışkan kullanılan güneş kolektörlerinde, nanoakışkanların kolektörlerin enerji verimliliğine etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme farklı nanoakışkan türleri, boyutları, derişimleri ve sürfaktan kullanılması gibi etkenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Çalışma kapsamlı bir literatür çalışması içermektedir. Nanoakışkanların düzlemsel kolektör ve parabolik kolektörün verimliliğine etkileri tablolarda detaylı olarak sunulmuştur. Kolektörlerde kullanılan standart sıvılar yerine çok yüksek ısı iletkenlik sağlama kapasiteleri ve buna bağlı olarak verimi artırma yeteneği olan nanoakışkanların kullanılmasıyla enerji verimliliğinde önemli ölçüde iyileşme olabileceği görülmüştür. Bu çalışmada detaylı araştırma sonuçlarına bağlı olarak, uygun nanoakışkan kullanımı ile kolektör verimliliğinde %95'lere varan enerji verimliliği artışları sağlanmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kolektör, Nanoakışkan, Enerji verimliliği.

ABSTRACT

In this study, the effects of nanofluids on the energy efficiency of collectors in solar collectors using nanofluids were evaluated. The evaluation was made by considering factors such as different nanofluid types, sizes, concentrations and surfactant usage. The study includes a comprehensive literature study. The effects of nanofluids on the efficiency of the flat-plane collector and parabolic collector are presented in detail in the tables. It has been observed that a significant improvement in energy efficiency can be achieved by using nanofluids with very high thermal conductivity capacity and consequently the ability to increase efficiency instead of standard liquids used in collectors. In this study, it was emphasized that, depending on the detailed research results, it is possible to achieve energy efficiency increases of up to 95% in collector efficiency with the use of appropriate nanofluid.

Key Words: Collector, Nanofluid, Energy efficiency.

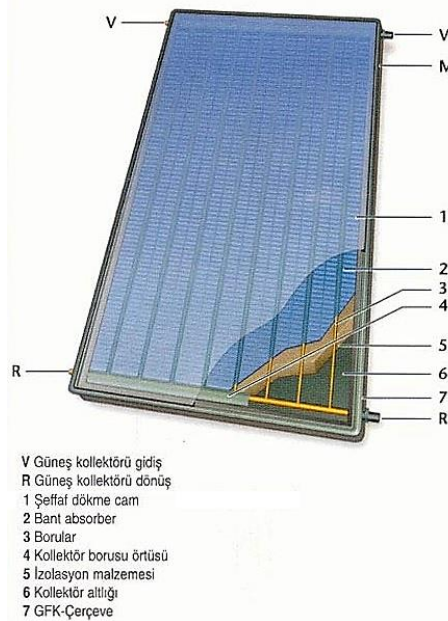
1. GİRİŞ

Fosil yakıtların kontrolsüz kullanımı nedeniyle çevre kirliliği kötüleştikçe, fosil yakıtların yenilenmesi için yenilenebilir enerjiye olan ilgi artmaktadır. Bir tanesi güneş enerjisi olan çok sayıda yenilenebilir enerji formu vardır. Güneş enerjisi, çevre dostu ve sonsuz olmanın avantajlarına sahiptir. Güneş enerjisini kullanmanın ana yöntemlerinden biri, bir güneş kolektörü kullanarak güneş radyasyonundan termal enerji elde etmektir. Güneş kolektörleri genellikle binalara ısıtma ve sıcak su sağlamak için

kullanıldığından, güneş kolektörleri kurarak binalarda fosil yakıtların enerji tüketimini azaltmak mümkündür [1].

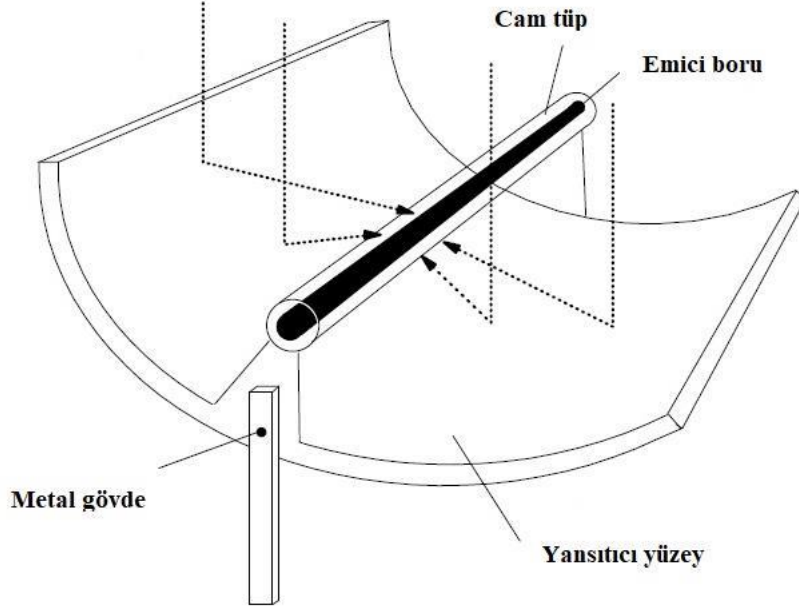
Güneş kolektörleri, harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmek için kullanılan çevre dostu cihazlardır. Termal kolektörler ağırlıklı olarak güneş enerjisinden elde edilen ısıyı çalışma akışkanına aktarmak için kullanılır. Böylelikle ısı transferi artırılırsa sistemin verimi de artacaktır [2].

Güneş termal kolektörleri, güneş radyasyonu enerjisini termal enerjiye dönüştüren özel bir ısı eşanjörü türüdür. Güneş enerjisini toplamak için çok sayıda güneş enerjisi toplayıcısı kullanılmıştır. Düz plakalı güneş kolektörleri (FPSC'ler) en yaygın türdür ve güneş enerjisini "soğurucu plaka" adı verilen katı bir yüzey kullanarak termal enerjiye dönüştürür. Soğurucu plakanın yüzeyi, düşük emisyonlu güneş spektrumunun yüksek emiciliğini elde etmek için genellikle siyah maddeyle boyanır veya spektral olarak seçilerek kaplanır. Alınan güneş radyasyonu, kolektörün soğurucu plakası tarafından ısı enerjisi olarak emilir ve kolektörün tüplerinden akan ısı transfer ortamına aktarılır. FPSC'lerin diğer güneş termal kolektörlerine kıyasla tercih edilmesinin nedenleri, nispeten düşük üretim maliyeti, hem ışın hem de difüze radyasyon toplama yeteneği ve herhangi bir güneş izleme sistemine ihtiyaç duyulmamasıdır. FPSC'nin şeffaf kapağından geçerek gelen güneş radyasyonunun büyük kısmı emici plaka tarafından emilir. Kolektörün soğurucu plakasının alt ve yanları, iletim ve doğal konveksiyon yoluyla ısı kayıplarını en aza indirmek için tamamen yalıtılmıştır. FPSC'lerin dezavantajı, sadece düşük ısı verimi değil, aynı zamanda emici ve dolaşım sıvısı arasındaki düşük konvektif ısı transfer katsayısıdır. Güneş ışınlarının emilimini artırmak için soğurucu malzemelerin optik özelliği iyileştirilmesi, ısı kaybını azaltmak için cam kapak sayısı artırılarak kolektör veriminin artırılmıştır. Sıvı akışı için polimer emici, mini ve mikro kanallar, ısı transfer akışkanları olarak çeşitli nanoakışkanların kullanılması, faz değiştiren malzemelerin kullanımı, farklı soğurucu plaka tasarımları, enerji depolamayı entegre ederek toplayıcının verimliliği artırılmıştır [3].



Şekil 1. Düzlemsel güneş kolektörünün yapısı [4]

Güneş kolektörleri arasında en yaygın kullanılan bir diğer kolektör tipi de parabolik oluklu kolektörlerdir (PTC).



Şekil 2. Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yapısı [5].

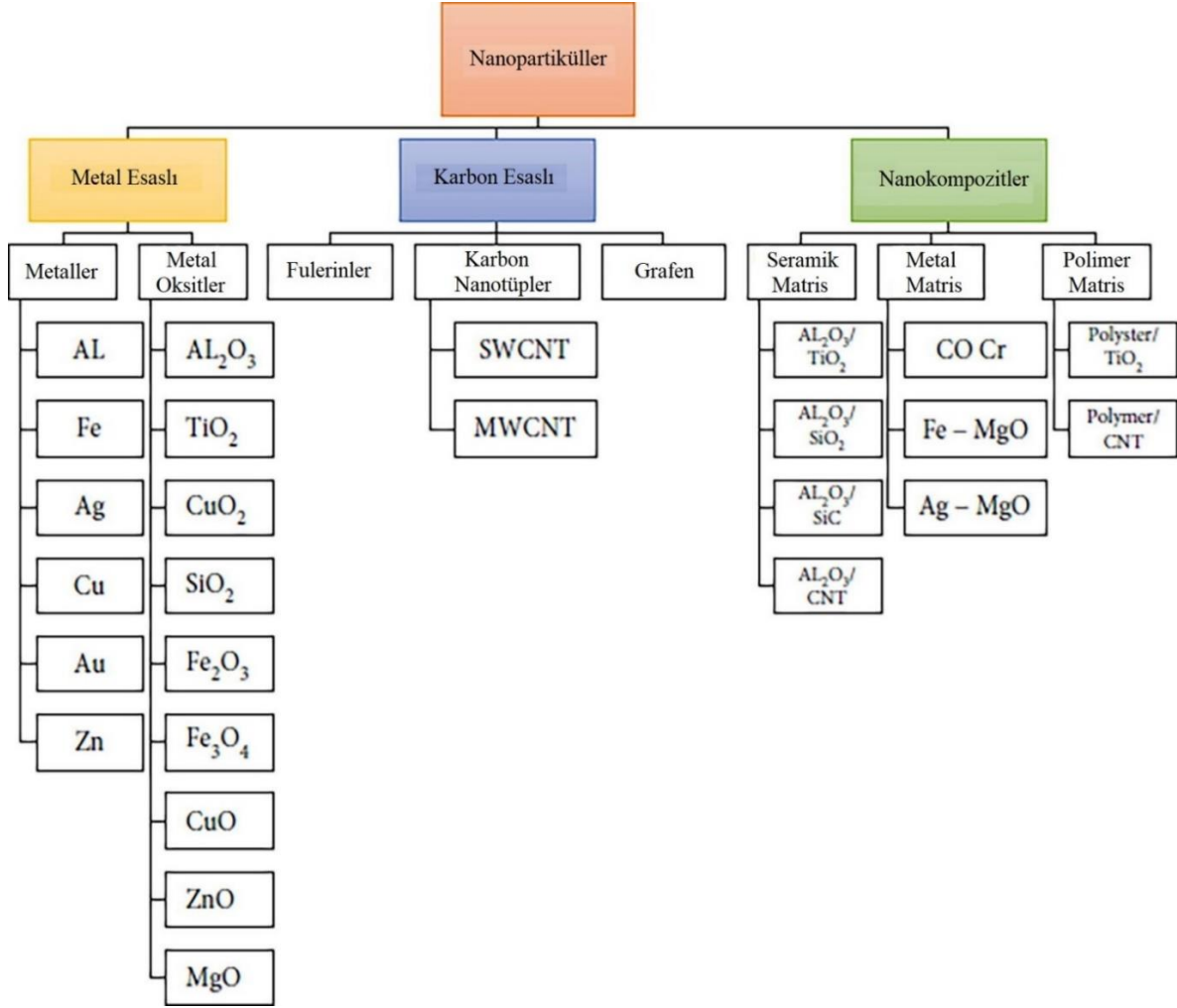
Parabolik kolektörler, daha iyi performansı ve karşılaştırmalı maliyet etkinliği nedeniyle güneş enerjisi uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Parabolik oluklu kolektör, esas olarak üç bileşenle donatılmıştır: odak noktasında bir soğurucu tüp, parabolik reflektör plakası ve soğurucu tüpün içindeki çalışma sıvısı. Parabolik kolektördeki, parabolik reflektör güneş ışığını reflektörün odak hattına yerleştirilen alıcı tüpe doğru yoğunlaştırır, buradan ısı şeklinde dönüştürülen enerji, çeşitli uygulamalar için bir çalışma sıvısı tarafından aktarılır ve su ısıtma, yerden ısıtma, hatta güç üretimi gibi uygulamalarda kullanılır [6].

Nanopartiküller, su ve yağlar gibi sıvıların termo fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılmıştır. Nanoakışkanlar, nano boyutlu partiküllerin (1-100 nm) geleneksel baz sıvısındaki süspansiyonudur. Baz sıvı içinde dağılmış daha yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartiküller, sıvıların etkili termal iletkenliğini artırabilir ve ısı transfer kabiliyetini artırabilir [7].

Nanoakışkanlar'ın güneş enerjisi sisteminde kullanılmasının birçok avantajı vardır; bunlar aşağıda verilmiştir [8]:

1. Nanopartiküllerin boyutları çok küçüktür ve yüzey alanı çok geniştir, bu nedenle nanoakışkanlar yüksek bir ısı kapasitesine ve güneş enerjisi absorptivitesine sahiptir,
2. Nanosıvılar, su ve yağ gibi baz sıvılara kıyasla daha iyi optik özelliklere sahiptir,
3. Nanoakışkanlar, baz sıvı ile karşılaştırıldığında yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve bu nedenle ısı transfer oranı çok yüksektir,
4. Nanoakışkanın kararlılık özelliği geniş bir sıcaklık aralığında çok iyidir,
5. Nanopartiküllerin çok küçük boyutlarından dolayı nanoakışkanlar söz konusu olduğunda tortulaşma, tıkanma ve kirlenme sorunu yoktur,
6. Güneş sisteminin maliyetini düşüren nanoakışkanların kullanılması nedeniyle güneş sisteminin ısı transfer alanı azaltılır,

Nanoakışkanların kullanılması nedeniyle güneş sisteminin verimliliği artar. Bunun tek nedeni, konvektif ısı transfer katsayısı ve nanoakışkanın kütle yoğunluğunun çok yüksek olmasıdır.



Şekil 3. Nanopartiküllerin sınıflandırılması [8].

2. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

A_c kolektör alanı, F_R ısı giderme faktörü, I_T toplam güneş radyasyonu, τ cam geçirgenliği, α kolektör emiciliği, T_{amb} ortam sıcaklığı, T_{in} çalışma sıvısı giriş sıcaklığı, T_{out} çalışma sıvısı çıkış sıcaklığı, \dot{m} kütle akış hızı, c_p çalışma sıvısının özgül ısısı olmak üzere bir güneş kolektöründen elde edilen faydalı ısı kazancı (\dot{Q}_u) Denklem (1) yardımıyla hesaplanır [9];

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_{in} - T_{amb})] \quad (1)$$

F_R ısı giderme faktörü Denklem (2) yardımıyla hesaplanır;

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})}{A_c [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_{in} - T_{amb})]} \quad (2)$$

Kolektörün ısı verimi şu şekilde hesaplanır:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_U}{A_c I_T} = F_R \left[(\tau \alpha) - U_L \frac{(T_{in} - T_{amb})}{I_T} \right] \quad (3)$$

3. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIM UYGULAMALARI

3.1. Düz Plakalı Güneş Kolektörleri (FPSC) İçin Uygulamalar

3.1.1. Metal oksit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

Tablo 1. FPSC'ler için metal oksit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Sümfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdeleri(%)			
[10] H ₂ O	CuO	/	0.05	SDBS and Triton X-100	/	Enerji verimliliğinde %6,3 artış
[11] H ₂ O	Al ₂ O ₃	15	0.4462, 0.7383, 0.9267	SDBS	1.51 m ²	Optimum enerji verimliliği, artan T _{amb} /G _T değerleri ile katlanarak azalmış
[12] H ₂ O	Al ₂ O ₃	13, 20	0–0.1	/	1.84 m ²	13 nm nanopartikül kullanılarak enerji verimliliğinde %73,7 artış
[13] H ₂ O	Al ₂ O ₃	13	0.1–0.3	/	1.84 m ²	Hacimce %0,3 ve 1,5L/dk'da enerji verimliliğinde yaklaşık % 83,5 artış
[14] H ₂ O	MgO	40	0.25–1.25	/	0.375 m ²	Hacimce %0,75 için enerji verimliliğinde %9,34 artış
[15] DW	CuO	25	0.1–2	/	2 m ²	Hacimce %2 için enerji verimliliğinde %5 artış
[16] H ₂ O	Al ₂ O ₃	20	0.1	/	1.51 m ²	Enerji verimliliğinde yaklaşık %23,6 artış
[17] H ₂ O/EG	Al ₂ O ₃ , ZnO	68.12 µm, 0.196 µm	0.25	/	170 (L) × 90 (W) × 0.5 (T)	Enerji verimliliğinde maksimum %15,13 artış
[18] H ₂ O	Al ₂ O ₃ , CuO, TiO ₂	<50, <50, <25	0.2, 0.4, 0.8	/	/	Enerji verimliliklerinde sırasıyla %71, %87,8 ve %52,2 artış
[19] H ₂ O	Al ₂ O ₃	<20	0.1–3	Triton X-100	2.1 m ²	Enerji verimliliğinde %3-18 artış
[20] H ₂ O	Al ₂ O ₃	11	0.25–5	/	2.01 m ²	Enerji verimliliğinde % 5,5 azalma
[21] H ₂ O	Al ₂ O ₃ , CuO	20, 40	0.5–1	/	1.877 m ²	Enerji verimliliğinde %21 ve %16 artış
[22] EG/H ₂ O	MgO	40	0.08–0.4	CTAB	1.895 × 0.945 m ²	Enerji verimliliğinde %16,36 artış
[23] H ₂ O	CuO	40	0.1	PEG	1.4 m ²	Enerji verimliliğinde 1, 2 ve 4 L / dk akış hızları için sırasıyla %15,2,%17,1 ve %55,1 artış
[24] H ₂ O	MgO	74.5	0.014–0.032	PEG-40	4 m ²	14 L/dk'da %0,014 ve %0,032 hacimde % 69 ve %77 maksimum enerji verimliliği
[25] H ₂ O	Al ₂ O ₃ , CuO	20–50	0.2–0.4	/	0.5 m ²	Enerji verimliliğinde %2,1-6,54 artış
[26] H ₂ O	Al ₂ O ₃	/	0.1, 0.2, 0.3	SDBS	3 m ²	Kütlece %0,3 için enerji verimliliğinde %37,7 artış
[27] H ₂ O:EG	ZnO	35	0.2–1	CTAB, SDBS, SLS	2.1 m ²	Hacimce %1 için maksimum enerji verimliliği %69,24
[28] H ₂ O:EG	Fe ₃ O ₄	30	0.2–1	SDBS	2.05 × 1.05 m ²	Enerji verimliliğinde %15,27 artış
[29] H ₂ O	ZnO	23	0.05–0.1	/	/	Nanopartikül içermeyenlere göre enerji verimliliğinde %4,81 ve % 6,57 artış

Düz plakalı güneş kolektörlerinde kullanılan metal oksit nanoakışkanlarının kolektörün verimine etkileri Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir. Buna göre kolektörün verimini etkileyen parametrelerin değişken olması, baz sıvısının değişmesi, kullanılan nanoakışkan türünün farklı olması, nanoakışkan boyutu ve farklı hacim oranları değişmesine bağlı olarak enerji verimliliği de artış veya azalış göstermektedir.

Düz plakalı güneş kolektörlerinin nanoakışkan kullanılmadığı durumlarda enerji verimliliklerinin düşük olması sebebiyle kolektörün metal oksit nanoakışkanlar kullanıldığında enerji verimliliği artışları açıkça göstermektedir ki doğru özelliklerdeki metal oksit nanoakışkan seçimiyle **%87,8** verim artışı sağlayabilmek mümkündür.

3.1.2. Metal olmayan oksit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 2. FPSC'ler için metal olmayan oksit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[30] EG-H ₂ O	SiO ₂	40	0.5, 0.75, 1	/	1.59 m ²	Enerji verimliliğinde %4-8 artış
[31] H ₂ O	SiO ₂	/	0.2, 0.4, 1	/	1.84 m ²	Enerji verimliliğinde %23,5 artış
[32] H ₂ O	SiO ₂	20-30	0.2, 0.4, 0.6	/	90 × 20 × 7 × 10 ⁻⁶ m ³	Enerji verimliliğinde %8,1 artış

Metal oksit nanoakışkanların, metal olmayan oksit nanoakışkanlara göre enerji verimliliğini artırma konusunda bir üstünlüğü söz konusudur.

3.1.3 Katı metal nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 3. FPSC'ler için katı metal nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[33] EG	Cu	10	0.2, 0.3	/	0.67 m ²	1,5L/dak ve hacimce %0,3 te maksimum enerji verimliliği
[34] H ₂ O	Cu	25, 50	0.2, 0.3	SDBS	2 m ²	Enerji verimliliğinde %23,83 artış
[35] H ₂ O	Cu	100	2	/	/	Enerji verimliliğinde yaklaşık %2,5 artış
[36] H ₂ O	Cu	/	0-4	/	2.5 × 1.2 × 0,086(m)	Hacimce %4 için enerji verimliliğinde %1,8 artış

Katı metal nanoakışkanların kolektör verimini süfaktan kullanmadan artırma yeteneği zayıf olduğu ancak süfaktan kullanımı ile bir miktar daha arttırılabildiği görülmüştür.

3.1.4. Yarıiletken nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 4. FPSC'ler için yarıiletken nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[37] H ₂ O	TiO ₂	20	0-0.3	/	0.5 × 0.2 × 0.001 [m]	MLP-ANN, FPSC için gerçek ölçülen enerji verimlilik değerine dayanan en iyi tahmin modeli
[38] PEG-H ₂ O	TiO ₂	21	0.1-0.3	/	1.84 m ²	%0,1 hacim oranı ve 1,5 kg/dak için enerji verimliliğinde %76,6 artış
[39] H ₂ O	WO ₃	90	0.0167, 0.0333, 0.0666	/	1.78 m ²	Maksimum enerji verimliliğinde %13,48 artış
[40] H ₂ O	CeO ₂	25	0.01	/	2 m ²	Maksimum enerji verimliliği %78,2
[41] H ₂ O	TiO ₂	44	0.2	Triton X-100	1.82 m ²	Maksimum enerji verimliliği %48,67
[42] H ₂ O	CeO ₂	25	0.0167, 0.033, 0.066	/	2.03 m ²	Enerji verimliliğinde %10,74 artış
[43] H ₂ O	TiO ₂	20	0.1-5	SDS	D ₀ = 1.5 cm, D _i = 1.3 cm	%5 ve %2,5 hacimde enerji verimliliğinde %45 ve %17 artış
[44] H ₂ O	TiO ₂	/	1, 3.5	/	1 m ²	Maksimum enerji verimliliği %78

Yarıiletken nanoakışkanlar düz plakalı güneş kolektörlerinde enerji verimliliğini önemli ölçüde arttıran nanoakışkan türlerinden biridir. Yüksek verim artırma kapasiteleri ile metal oksit nanoakışkanlara yakın verim artırma kabiliyetleri Tablo 4'te görülmektedir.

3.1.5. Karbon nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

Tablo 5. FPSC'ler için karbon nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Tür	Nanopartiküller		Süpfaktan	Emici	Sonuçlar
		Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[45] H ₂ O	MWCNTs	10–12	0.15–1	/	L = 0.51 m, t = 0.001 m	Hacimce %0,6 için enerji verimliliği yaklaşık %73
[46] H ₂ O	SWCNTs	1–2	0.1–0.3	SDS	1.84m ²	Hacimce %0,3 ve 0,5 kg/dak için enerji verimliliğinde % 95,12 artış
[47] H ₂ O	GNPs	/	0.01–0.2	/	0.47 m × 0.27m × 0.001 m	%18,87 maksimum enerji verimliliği
[48] H ₂ O	Gr, MWCNTs, CuO, Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , SiO ₂	20, 7, 42, 45, 44, 10	0.25–2	Triton 100-X	0.375m ²	Maksimum enerji verimliliği %23,47
[49] H ₂ O	CGNPs	2	0.025,0.075,0.1	/	0.4645 m ²	Enerji verimliliğinde %18,2 artış
[50] H ₂ O	PEG-GNPs	/	0.025, 0.05, 0.075, 0.1	/	0.464 m ²	Değişen kütle akış hızlarında, enerji verimliliklerinde %10,7, %11,1 ve %13,3 artış
[51] H ₂ O	MWCNTs	10–40	0.01, 0.05, 0.1	/	2m ²	Enerji verimliliğinde %16-34.13 artış
[52] H ₂ O	TEA-GNPs	/	0.025–0.1	/	914.4 × 508.0 mm	%10,53 maksimum enerji verimliliği
[53] H ₂ O	GNPs, Gr, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	/	0.25-1	/	3m ²	En yüksek enerji verimlilikleri sırasıyla %76,56, %72,45, %67,03 ve %64,45
[54] H ₂ O	MWCNTs	/	0.1	/	2m ²	Enerji verimliliğinde yaklaşık %34 artış
[55] H ₂ O	MWCNTs, Al ₂ O ₃ , CuO, Fe ₃ O ₄ , WO ₃ , CeO ₂	20, 20, 40, 30, 90, 25	0.005 ,1 0.5 , 0.015 0.0666 ,0.066	/	1.877m ²	Maksimum enerji verimliliği %87

Karbon nanoakışkanlarının kullanımı da oldukça yaygındır. Kolektörün enerji verimliliğini artırma yönünden bakıldığında oldukça yüksek verim artırma kapasiteleri olduğu gözlemlenmiştir. Karbon nanoakışkanlarının kolektör verime etkileri Tablo 5'te sunulmuş olup incelendiği zaman kolektörün enerji verimliliğinde **%92,12**'ye varan bir verim artışı olduğu görülmektedir.

3.1.6. Hibrit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

Tablo 6. FPSC'ler için hibrit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Tür	Nanopartiküller		Süpfaktan	Emici	Sonuçlar
		Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[56] H ₂ O	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	20/15	0.1–0.2	CTAB	2 m × 0.925 m	Maksimum %26 enerji verimliliği
[57] H ₂ O	Cu/CuO, Cu, CuO	/	1-5	/	/	Enerji verimliliklerinde sırasıyla %2,175 % 0,93 ve %1,05 artış
[58] H ₂ O	MWCNTs/MgO, MWCNTs/CuO	/	0.25–2	Triton 100-X	0.375m ²	%18,05 ve %20,52 maksimum enerji verimliliği
[59] H ₂ O	MWCNTs/GNPs/h-BN	(D = 15 nm, L = 5 µm)/ D = 2 µm)	0.05–0.1	Tween-80	1.92m ²	Enerji verimliliğinde %85 artış

Düz plakalı güneş kolektörlerinde hibrit nanoakışkanların kullanılmış olduğu bazı çalışmalar Tablo 6'da sunulmuştur. Hibrit nanoakışkanlar kullanılarak kolektör verimlerindeki artışların çok düşükte olabileceği aynı zamanda çok yüksek değerlerde de artış sağlayabildiği görülmektedir. Hibrit nanoakışkanlar çok farklı sayıda çoğaltılabileceği düşünüldüğünde kolektör verimini arttırmada tercih edilebilir bir nanoakışkan olduğunu söylemek mümkündür.

3.2. Parabolik Güneş Kolektörleri(PTC) İçin Uygulamalar

Tablo 7. Farklı türdeki nanoakışkanların parabolik güneş kolektörünün enerji verimliliğine etkileri

	Nanoakışkanlar/ Nanopartikül	Nanopartikül boyutu (nm)	Hacim konsantrasyonu (%)	Sonuçlar
[60]	Kızgın yağ ve Al ₂ O ₃ /H ₂ O	20	1-2	Enerji verimliliğinde %4,25 artış
[61]	Al ₂ O ₃ /syltherm 800	10-20	0-4	Hacimce %4 için enerji verimliliğinde %10 artış
[62]	CuO-gaz fazı	7.4	0.05	Enerji verimliliğinde %65 artış
[63]	Al ₂ O ₃ /H ₂ O	40	0.1	Enerji verimliliğinde %7 artış
[64]	MWCNTs/yağ	10	0.2-0.3	Yağa kıyasla MWCNTs kullanarak enerji verimliliğinde %7 artış
[65]	Cu, Ag Al ₂ O ₃ /therminol VP-1	<100	0-6	Ag-Therminol VP-1 kullanarak enerji verimliliğinde %13 artış
[66]	Al/therminol VP-1	5	0.05	Enerji verimliliğinde %5-10 artış
[67]	Al ₂ O ₃ /syltherm 800	28	0-8	Enerji verimliliğinde %7,6 artış
[68]	CuO ve Al ₂ O ₃ /H ₂ O	30	0.5, 1.5 ve 0.3	CuO bazlı nanoakışkan, Al ₂ O ₃ bazlı nanoakışkana göre % 35 daha yüksek enerji verimliliği
[69]	Al ₂ O ₃ ve Fe ₂ O ₃ /H ₂ O	20, 20-40	0.2, 0.25 ve 0.3	Sırasıyla Al ₂ O ₃ ve Fe ₂ O ₃ kullanılarak enerji verimliliğinde % 17 ve % 13 artış
[70]	Al ₂ O ₃ /H ₂ O	40-50	0.05-0.5	Hacimce %0.2 için enerji verimliliğinde %3.5-8.5 artış
[71]	TiO ₂ /H ₂ O	20	0.05-0.5	Hacimce %0.2 için enerji verimliliğinde %8.66 artış
[72]	TiO ₂ , CuO ve Al ₂ O ₃ /H ₂ O	<100	1, 3 ve 5	Sırasıyla TiO ₂ , CuO ve Al ₂ O ₃ kullanılarak enerji verimliliğinde %1.14, %1.06 ve %1.17 artış
[73]	Al ₂ O ₃ ve TiO ₂ /syltherm 800	/	1.5 ve 3	Enerji verimliliğinde %1.8 artış
[74]	Al ₂ O ₃ /sentetik yağ	10-20	0-5	Enerji verimliliğinde %12.3 artış
[75]	Cu/therminol VP-1	100	0-6	Enerji verimliliğinde %12.5 artış
[76]	Al ₂ O ₃ /H ₂ O	<100	1-3	Enerji verimliliğinde %10-15 artış
[77]	CuO/syltherm 800 ve CuO/MS	<100	6	Sırasıyla enerji verimliliğinde %0.76 ve %0.26 artış

Parabolik kolektörler genellikle, güneş ışınlarının belli bir bölgeye odaklanması ve bu bölgede bulunan bir akışkana ısının aktarılması prensibi ile çalışırlar. Bu sistemlerde ısı transfer yüzey alanı ve akışkanın termofiziksel özellikleri, ısı transfer performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Genellikle parabolik kolektörlerde, akışkan olarak yağ kullanılmaktadır. Fakat yağın genel termofiziksel özelliklerinin zayıf olması, gerçekleşen ısı transferini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Son dönemlerde yapılan bazı çalışmalarda, kolektörde kullanılan mevcut akışkan içerisine, ısı iletim katsayısı yüksek olan nanopartikül ilavesi ile oluşturulan yeni tip akışkan kullanımının gerçekleşen ısı transferi üzerinde oldukça olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Oluşturulan yeni nanoakışkanın termal-ısı sistemlerde ısı transfer performansını, baz akışkan kullanımına göre anlamlı bir şekilde arttırdığını görmüşlerdir [78].

Parabolik güneş kolektörlerinin verimlerinin düzlemsel güneş kolektörlerine göre daha yüksek olması nedeniyle enerji verimliliklerindeki artışlar düzlemsel güneş kolektörlerinin enerji verimliliklerine kıyasla daha düşük olup, parabolik güneş kolektörlerinin enerji verimliliklerinde de kullanılan standart sıvılar yerine nanoakışkanların kullanılmasıyla önemli miktarlarda artışlar görülmüştür.

Tablo 7'de farklı nanoakışkanların parabolik kolektörün enerji verimliliğine etkisi incelenmiş olup kolektör veriminde %65'e varan artışlar sağlanması sebebiyle nanoakışkanların parabolik kolektörlerde de standart sıvılar yerine tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Güneş enerjisinin sonsuz olmasının verdiği avantaj sayesinde bu enerjiyi faydalı termal enerjiye dönüştürmek için güneş kolektörleri kullanılır.

Düzlemsel güneş kolektörleri ve parabolik güneş kolektörleri en yaygın kullanılan güneş kolektörü türlerindedir. Güneş kolektörleri temelde güneş enerjisini termal enerji olarak bir sıvı ile aktarmaya ve bunu ısıtma, sıcak su üretimi ve enerji üretimi gibi alanlarda kullanmaya olanak sağlamaktadır. Güneş enerjisinden kolektör kullanılarak maksimum şekilde faydalanabilmek için kolektör verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Kolektör veriminin artırmanın çok iyi bir yöntemi kolektörde nanoakışkan kullanımıdır.

Bu çalışmada, nanoakışkan kullanılan güneş kolektörlerinde, nanoakışkanların kolektörlerin enerji verimliliğine etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme farklı nanoakışkan türleri, boyutları, derişimleri ve sürfaktan kullanılması gibi etkenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Çalışmada kapsamlı bir literatür araştırması yapılmış ve nanoakışkanların düzlemsel kolektör ve parabolik kolektörün verimliliğine etkileri tablolarda detaylı olarak sunulmuştur. Kolektörlerde kullanılan standart sıvılar yerine çok yüksek ısı iletkenlik sağlama kapasiteleri ve buna bağlı olarak verimi artırma yeteneği olan nanoakışkanların kullanılmasıyla enerji verimliliğinde önemli ölçüde iyileşme olabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada detaylı araştırma sonularına bağlı olarak, uygun nanoakışkan kullanımı ile kolektör verimliliğinde %95'lere varan enerji verimliliği artışları sağlanmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TONGA, Y., Woobin, H. L., Cho, K. H., "Energy and exergy comparison of a flat-plate solar collector using water, Al₂O₃ nanofluid, and CuO nanofluid", Applied Thermal Engineering, Volume 159, 2019.
- [2] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., Attia, A.A. A., "A comparison between flat-plate and evacuated tube solar collectors in terms of energy and exergy analysis by using nanofluid", Applied Thermal Engineering, Volume 186, 2021.
- [3] ALAWIA, O. A., Kamara, H. M., Mallah, A. R., Mohammed, H. A., Kazi, S. N., Sidik, N.A. C., Najafi, G., "Nanofluids for flat plate solar collectors: Fundamentals and applications", Journal of Cleaner Production, Volume 291, 2021.
- [4] KÜÇÜKÇALI, R., "Isıtma Sektöründe Yeni Teknolojiler ve Gelecek", VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi
- [5] ÇAĞLAR, A., TALAY, İ. B., "Tasarım Parametrelerinin Parabolik Oluk Tipi Bir Güneş Kolektörünün Performansına Etkisi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 2019.
- [6] JOSEPH, A., Sreekumar, S., Thomas, S., "Energy and exergy analysis of SiO₂/Ag-CuO plasmonic nanofluid on direct absorption parabolic solar collector", Renewable Energy, Volume 162, 2020.
- [7] HUSSEIN, A. K., Dong, L., Kol, L., Kat, S., Sahoo, B., "A review of nano fluid role to improve the performance of the heat pipe solar collectors", Energy Procedia, Volume 109, 2017.
- [8] GUPTA, S. K., Dixit, S., "Progress and application of nanofluids in solar collectors: An overview of recent advances", Materials Today: Proceedings, 2021.
- [9] KALOGIROU, S. A., "Solar Energy Engineering Processes and Systems", 2009.
- [10] MICHAEL, J. J., Iniyar, S., "Performance of copper oxide/water nanofluid in a flat plate solar water heater under natural and forced circulations", Energy Convers. Manag., Volume 95, 2015.
- [11] SHOJAEIZADEH, E., Veysi, F., "Development of a correlation for parameter controlling using exergy efficiency optimization of an Al₂O₃/water nanofluid based flat-plate solar collector", Appl. Therm. Eng., 2016.

- [12] SAID, Z., Saidur, R., Rahim, N. A., “Energy and exergy analysis of a flat plate solar collector using different sizes of aluminium oxide based nanofluid”, *J. Clean. Prod.*, Volume 133, 2016.
- [13] SAID, Z., Saidur, R., Sabiha, M. A., Hepbasli, A., Rahim, N.A., “Energy and exergy efficiency of a flat plate solar collector using pH treated Al_2O_3 nanofluid”, *J. Clean. Prod.*, 2016.
- [14] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Chauhan, D. S., “Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 124, 2016.
- [15] SINT, N.K. C., Choudhury, I. A., Masjuki, H. H., Aoyama, H., “Theoretical analysis to determine the efficiency of a CuO-water nanofluid based-flat plate solar collector for domestic solar water heating system in Myanmar”, *Sol. Energy*, Volume 155, 2017.
- [16] MIRZAEI, M., Hosseini, S.M. S., Kashkooli, A.M. M., “Assessment of Al_2O_3 nanoparticles for the optimal operation of the flat plate solar collector”, *Appl. Therm. Eng.*, 2018.
- [17] ARIKAN, E., Abbasoğlu, S., Gazi, M., “Experimental performance analysis of flat plate solar collectors using different nanofluids”, *Sustainability*, Volume 10, 2018.
- [18] ZİYADANOGULLARI, N. B., Yucel, H. L., Yildiz, C., “Thermal performance enhancement of flat-plate solar collectors by means of three different nanofluids”, *Therm. Sci. Eng. Prog.*, Volume 8, 2018.
- [19] HAWWASH, A. A., Abdel Rahman, A. K., Nada, S. A., Ookawara, S., “Numerical investigation and experimental verification of performance enhancement of flat plate solar collector using nanofluids”, *Appl. Therm. Eng.*, 2018.
- [20] MONDRAGON, R., Sánchez, D., Cabello, R., Liopis, R., Juliá, J. E., “Flat plate solar collector performance using alumina nanofluids: experimental characterization and efficiency tests”, *PLoS One*, 2019.
- [21] TONG, Y., Lee, H., Kang, W., Cho, H., “Energy and exergy comparison of a flat plate solar collector using water, Al_2O_3 nanofluid, and CuO nanofluid”, *Appl. Therm. Eng.*, 2019.
- [22] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., “Investigation of the stability of MgO nanofluid and its effect on the thermal performance of flat plate solar collector”, *Renew. Energy*, Volume 147, 2020.
- [23] MIRZAEI, M., “Experimental investigation of CuO nanofluid in the thermal characteristics of a flat plate solar collector”, *Environ. Prog. Sustain. Energy.*, 2019.
- [24] DEHAJ, M. S., Mohiabadi, M. Z., “Experimental investigation of heat pipe solar collector using MgO nanofluids”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.*, 2019.
- [25] MUNUSWAMY, D. B., Devarajan, Y., Babu, M. N., Ramalingam, S., “Experimental investigation on lowering the environmental hazards and improving the performance patterns of solar flat plate collectors by employing the internal longitudinal fins and nano additives., *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2020.
- [26] SUNDAR, L. S., Sintie, Y. T., Said, Z., Singh, M. K., Punnaiah, V., Sousa, A.C. M., “Energy, efficiency, economic impact, and heat transfer aspects of solar flat plate collector with Al_2O_3 nanofluids and wire coil with core rod inserts”, *Sustain. Energy Technol. Assess.*, Volume 40, 2020.
- [27] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., “Influence of stable zinc oxide nanofluid on thermal characteristics of flat plate solar collector”, *Renew. Energy.*, 2020.
- [28] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., “Time-based analysis of stability and thermal efficiency of flat plate solar collector using iron oxide nanofluid”, *Appl. Therm. Eng.*, 2020.
- [29] MOHAMED, M. M., Mahmoud, N. H., Farahat, M. A., “Energy storage system with flat plate solar collector and water-ZnO nanofluid”, *Sol. Energy* Volume 202, 2020.
- [30] MEIBODI, S. S., Kianifar, A., Niazmand, H., Mahian, O., Wongwises, S., “Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO_2 /EG-water nanofluids”, *Int. Commun. Heat Mass Tran.*, 2015.
- [31] FAIZAL, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Hepbasli, A., Mahbubul, I. M., “Energy, economic, and environmental analysis of a flat-plate solar collector operated with SiO_2 nanofluid”, *Clean Technol. Environ. Policy.*, 2015.
- [32] JOUYBARI, H. J., Saedodin, S., Zamzamin, A., Nimvari, M. E., Wongwises, S., “Effects of porous material and nanoparticles on the thermal performance of a flat plate solar collector: an experimental study”, *Renew. Energy.*, 2017.
- [33] ZAMZAMIAN, A., KeyanpourRad, M., KianiNeyestani, M., Jamal-Abad, M. T., “An experimental study on the effect of Cu-synthesized/EG nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors”, *Renew. Energy*, Volume 71, 2014.
- [34] HE, Q., Zeng, S., Wang, S., “Experimental investigation on the efficiency of flat plate solar collectors with nanofluids”, *Appl. Therm. Eng.*, Volume 88, 2015.

- [35] BELLOS, E., Tzivanidis, C., "Performance analysis and optimization of an absorption chiller driven by nanofluid based solar flat plate collector", *J. Clean. Prod.*, 2018.
- [36] SHAMSHIRGARAN, S., Assadi, M. K., Al-Kayiem, H. H., Sharma, K. V., "Energetic and exergetic performance of a solar flat-plate collector working with cu nanofluid", *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME.*, 2018.
- [37] SADEGHZADEH, M., Ahmadi, M.H., Kahani, M., Sakhaeinia, H., Chaji, H., Chen, L., "Smart modeling by using artificial intelligent techniques on thermal performance of flat-plate solar collector using nanofluid", *Energy Sci. Eng.*, 2019.
- [38] SAID, Z., Sabiha, M. A., Saidur, R., Hepbasli, A., Rahim, N. A., Mekhilef, S., Ward, T. A., "Performance enhancement of a flat plate solar collector using titanium dioxide nanofluid and polyethylene glycol dispersant", *J. Clean. Prod.*, Volume 92, 2015.
- [39] SHARAFELDIN, M. A., Gróf, G., Mahian, O., "Experimental study on the performance of a flat-plate collector using WO_3 /Water nanofluids", *Energy*, Volume 141, 2017.
- [40] STALIN, P.M. J., Arjunan, T. V., Matheswaran, M. M., Sadanandam, N., "Experimental and theoretical investigation on the effects of lower concentration CeO_2 / water nanofluid in flat-plate solar collector", *J. Therm. Anal. Calorim.*, Volume 135, 2017.
- [41] KILIC, F., Menlik, T., Sözen, A., "Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector", *Sol. Energy*, 2018.
- [42] SHARAFELDIN, M. A., Gróf, G., "Experimental investigation of flat plate solar collector using CeO_2 -water nanofluid", *Energy Convers. Manag.*, Volume 155, 2018.
- [43] AHMADLOUYDARAB, M., Ebadolahzadeh, M., Ali, H. M., "Effects of utilizing nanofluid as working fluid in a lab-scale designed FPSC to improve thermal absorption and efficiency", *Phys. A Stat. Mech. Appl.*, Volume 540, 2019.
- [44] MORAVEJ, M., Bozorg, M. V., Guan, Y., Li, L.K. B., Doranehgard, M. H., Hong, K., Xiong, Q., "Enhancing the efficiency of a symmetric flat-plate solar collector via the use of rutile TiO_2 -water nanofluids", *Sustain. Energy Technol. Assess.*, Volume 40, 2020.
- [45] CHOUGULE, S. S., Sahu, S. K., Pise, A. T., "Thermal performance of two phase thermosiphon flat-plate solar collectors using nanofluid", *J. Sol. Energy Eng.*, Volume 136, 2014.
- [46] SAID, Z., Saidur, R., Sabiha, M. A., Rahim, N. A., Anisur, M. R., "Thermophysical properties of Single Wall Carbon Nanotubes and its effect on exergy efficiency of a flat plate solar collector", *Sol. Energy*, Volume 115, 2015.
- [47] AHMADI, A., Ganji, D. D., Jafarkazemi, F., "Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors", *Energy Convers. Manag.*, Volume 126, 2016.
- [48] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Chauhan, D. S., "Experimental evaluation of flat plate solar collector using nanofluids", *Energy Convers. Manag.*, Volume 134, 2017.
- [49] AKRAM, N., Sadri, R., Kazi, S. N., Ahmed, S. M., Zubir, M.N. M., Ridha, M., Soudagar, M., Ahmed, W., Arzpeyma, M., Tong, G. B., "An experimental investigation on the performance of a flat-plate solar collector using eco-friendly treated graphene nanoplatelets-water nanofluids", *J. Therm. Anal. Calorim.*, Volume 138, 2019.
- [50] ALAWI, O. A., Kamar, H. M., Mallah, A. R., Kazi, S. N., Sidik, N.A. C., "Thermal efficiency of a flat-plate solar collector filled with Pentaethylene Glycol-Treated Graphene Nanoplatelets: an experimental analysis", *Sol. Energy*, 2019.
- [51] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., "Energy and exergy analysis of a thermosiphon and forced-circulation flat-plate solar collector using MWCNT/Water nanofluid", *Case Stud. Therm. Eng.*, 2019.
- [52] SARSAM, W. S., Kazi, S. N., Badarudin, A., "Thermal performance of a flat-plate solar collector using aqueous colloidal dispersions of graphene nanoplatelets with different specific surface areas", *Appl. Therm. Eng.*, Volume 172, 2020.
- [53] LIU, S., Afan, H. A., Aldlemy, M. S., Al-Ansari, N., Yaseen, Z. M., "Energy analysis using carbon and metallic oxides-based nanomaterials inside a solar collector", *Energy Rep.*, Volume 6, 2020.
- [54] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., Hussien, H., "Indirect thermosiphon flat-plate solar collector performance based on twisted tube design heat exchanger filled with nanofluid", *Int. J. Energy Res.*, 2020.
- [55] TONG, Y., Chi, X., Kang, W., Cho, H., "Comparative investigation of efficiency sensitivity in a flat plate solar collector according to nanofluids". *Appl. Therm. Eng.*, 2020.

- [56] FARAJZADEH, E., Movahed, S., Hosseini, R., “Experimental and numerical investigations on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$ nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector”, *Renew. Energy*, Volume 118, 2018.
- [57] BABU, J.A. R., Kumar, K. K., “Thermodynamic analysis of hybrid nanofluid based solar flat plate collector”, *World J. Eng.*, Volume 15, 2018.
- [58] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Tiwari, S., Chauhan, D. S., “Performance analysis of hybrid nanofluids in flat plate solar collector as an advanced working fluid”, *Sol. Energy*, Volume 167, 2018.
- [59] HUSSEIN, O. A., Habib, K., Muhsan, A. S., Saidur, R., Alawi, O. A., Ibrahim, T. K., “Thermal performance enhancement of a flat plate solar collector using hybrid nanofluid”, *Sol. Energy*, Volume 204, 2020.
- [60] BELLOS, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K. A., Daniil, I., “The use of gas working fluids in parabolic trough collectors – An energetic and exergetic analysis”, *Appl. Therm. Eng.*, Volume 109, 2016.
- [61] KALOUDIS, E., Papanicolaou, E., Belessiotis, V., “Numerical simulations of a parabolic trough solar collector with nanofluid using a two-phase model”, *Renew. Energy*, Volume 97, 2016.
- [62] POTENZA, M., Milanese, M., Colangelo, G., Risi, A. De, “Experimental investigation of transparent parabolic trough collector based on gas-phase nanofluid”, *Appl. Energy*, Volume 203, 2017.
- [63] CHAUDHARI, K. S., Walke, P. V., Wankhede, U.S., Shelke, R.S., “An Experimental Investigation of a Nanofluid ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$) Based Parabolic Trough Solar Collectors”, *British Journal of Applied Science & Technology*, Volume 9, 2015.
- [64] KASAEIAN, A., Daviran, S., Danesh, R., Rashidi, A., “Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 89, 2015.
- [65] MWESIGYE, A., Meyer, J.P., “Optimal thermal and thermodynamic performance of a solar parabolic trough receiver with different nanofluids and at different concentration ratios”, *Appl. Energy*, Volume 193, 2017.
- [66] KHULLAR, V., Tyagi, H., Phelan, P. E., Otanicar, T. P., Singh, H., Taylor, R. A., “Solar Energy Harvesting Using Nanofluids-Based Concentrating Solar Collector”, *ASME 2012 Third Int. Conf. Micro/Nanoscale Heat Mass Transf.*, Volume 3, 2012.
- [67] MWESIGYE, A., Huan, Z., Meyer, J. P., “Thermodynamic optimisation of the performance of a parabolic trough receiver using synthetic oil – Al_2O_3 nanofluid”, *Appl. Energy*, Volume 156, 2015.
- [68] GHASEMI, S. E., Ranjbar, A. A., “Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: A CFD modelling study”, *J. Mol. Liq.*, Volume 222, 2016.
- [69] REHAN, M. A., Ali, M., Sheikh, N. A., Khalil, M. S., Chaudhary, G. Q., Rashid, T. U., Shehryar, M., “Experimental performance analysis of low concentration ratio solar parabolic trough collectors with nanofluids in winter conditions”, *Renew. Energy*, Volume 118, 2018.
- [70] SUBRAMANI, J., Nagarajan, P. K., Wongwises, S., El-Agouz, S. A., Sathyamurthy, R., “Experimental study on the thermal performance and heat transfer characteristics of solar parabolic trough collector using Al_2O_3 nanofluids”, *Environ. Prog. Sustain. Energy*, Volume 37, 2018.
- [71] SUBRAMANI, J., Nagarajan, P. K., Mahian, O., Sathyamurthy, R., “Efficiency and heat transfer improvements in a parabolic trough solar collector using TiO_2 nanofluids under turbulent flow regime”, *Renew. Energy*, Volume 119, 2018.
- [72] ALLOUHI, A., Amine, M. B., Saidur, R., Kousksou, T., Jamil, A., “Energy and exergy analyses of a parabolic trough collector operated with nano fluids for medium and high temperature applications”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 155, 2018.
- [73] BELLOS, E., Tzivanidis, C., “Thermal analysis of parabolic trough collector operating with mono and hybrid nanofluids”, *Sustain. Energy Technol. Assessments*, Volume 26, 2018.
- [74] KHAKRAH, H., Shamloo, A., Hannani, S. K., “Determination of Parabolic Trough Solar Collector Efficiency Using Nanofluid: A Comprehensive Numerical Study”. *J. Sol. Energy Eng.*, Volume 139, 2017.
- [75] MWESIGYE, A., Huan, Z., Meyer, J. P., “Thermal performance and entropy generation analysis of a high concentration ratio parabolic trough solar collector with Cu-Therminol/VP-1 nanofluid”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 120, 2016.
- [76] TAGLE-SALAZAR, P. D., Nigam, K.D. P., Rivera-solorio, C. I., “Heat transfer model for thermal performance analysis of parabolic trough solar collectors using nanofluids”, *Renew. Energy.*, 2018.



- [77]BELLOS, E., Tzivanidis, C., Tsimpoukis, D., “Thermal , hydraulic and exergetic evaluation of a parabolic trough collector operating with thermal oil and molten salt based nano fluids”, Energy Convers. Manag., Volume 156, 2018.
- [78]KAYA, M., Demircan, T., Gemicioğlu, B., “Parabolik Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansı Üzerine Olan Etkileri”, DEÜ FMD 23(67), 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Fırat KESEN

1995 yılı Antalya doğumludur. 2014 yılında Antalya Atatürk Anadolu Lisesini bitirdi. 2019 Haziran ayında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl Eylül ayında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Şu an yüksek lisansta tez aşamasındadır.

Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim dalında profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısıl enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumludur. 10 yılı değişik sanayi şirketlerinde ve geri kalanı 1996 yılından beri, farklı üniversitelerde Öğretim Üyesi olarak (sanayi öncesi yaklaşık 5 yılı Araş. Gör. olarak) çalışarak geçmekte olup, 38 yıldan beri enerjiyle ilgili konularda uğraşmaktadır. Sanayi (S), Profesyonel Kuruluşlar (P) ve Üniversite (Ü)'nin, yani SPÜ (bugünlerde Araştırma, İnovasyon ve Ticaretleştirme; RIC)'nin dengeli olarak birlikte sağlanmasını amaçlamaktadır. 660 adetten (300'den fazlası SCI kapsamında makale) fazla bilimsel yayının yazarı/ortak yazarıdır. 27 Kasım 2020 tarihi itibarıyla, Web of Science (WOS) kategorisinde akademik ayak izi (h-indeks) 57 ve atıf sayısı 10248 (kendi atıfsız) iken, Google Akademik kapsamında, h-indeks: 77 (18746 atıf) ve Scopus kapsamında ise, h-indeks: 61 (12816 atıf)'dir. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşı, prestijli 7 derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve 1 uluslararası derginin Yardımcı Editörü olup, enerjiyle ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Dr. Hepbaşı, 16 Şubat 2017 tarihinden beri Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Enerji Çalışma Grubu'nda yer alırken, 29 Haziran 2019 tarihli 55. genel kurul toplantısında TÜBA-Asli Üyesi olarak seçilmiştir. Sertifikalı Enerji Yöneticisi olan Dr. Hepbaşı; İngilizce, Almanca ve Basic II düzeyinde Japonca bilmektedir. Fevziye Hanım ile evli olup, Nesrin isminde bir kızı vardır.

ADANA İKLİMİ KOŞULLARINDA GÜNEŞ ENERJİSİYLE SERA ISITMA AMACIYLA VAKUM BORULU TOPLAÇ VE NANOAKIŞKAN KULLANILMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A Research on the Use of Vacuum Tubular Collector and Nanofluid for Greenhouse Heating with Solar Energy in Adana Climate Conditions

Bülent Ayhan
Hasan Hüseyin Öztürk

ÖZET

Bu araştırmada, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanı olan plastik seranın ısıtılmasında yararlanmak üzere, güneş enerjisinin, ısı depolama materyali olarak su kullanılarak, duyulur ısı depolama yöntemi ile kısa süreli (gündüzden-geceye) depolanması amaçlanmıştır. Sistem esas olarak, vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi, toplanılan ısının depolandığı ısı depolama ünitesi, depolanan ısıyla ısıtılan plastik sera, ısı toplama-depolama üniteleri ile sera arasında ısı taşıma ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Su ile ısıtma yapılan dönemde sera iç ortamı ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı ortalama 4,6°C, ısıtma akışkanının seraya giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ise ortalama 5,7 °C belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, sera ısı gereksiniminin karşılanma oranı ortalama %38,45, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %44,36 olarak belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, ısı güç/ekserji oranı ortalama %9,86 iken, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %10,69 olarak belirlenmiştir. Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, hıyar verimi ısıtılmayan seraya kıyasla, 393 kg (%34,2 oranında) daha yüksek olarak gerçekleşmiştir. Sera ısıtmak için günlük toplam enerji, yakıt ve emisyon tasarrufu; su ile ısıtma yapılan dönemde, %37,6 olarak belirlenirken, nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde % 42 olarak belirlenmiştir. Bu durum nanoakışkan ile ısı geri kazma etkinliğinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Su ile ısıtma durumunda, doğal gaz tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 5,84 yıl, kömür tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 4,47 yıl olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Sera ısıtma, Vakum borulu toplaç, Isı depolama, Nanoakışkan.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to store solar energy for a short time (day-to-night) by sensible heat storage method, using water (nanofluid) mixed with nanoparticles (Al₂O₃) as heat storage material to be used in heating the plastic greenhouse with a floor area of 140 m² under Adana climate conditions. The system mainly consists of a heat collection unit consisting of vacuum tube solar collectors, a heat storage unit where the collected heat is stored, a plastic greenhouse heated by the stored heat, heat transfer and control unit between the heat collection-storage units and the greenhouse. During the period of heating with water, the temperature difference between the indoor and outdoor environment of the greenhouse was determined to be 4.6°C on average, and the temperature difference between the heating fluid entering and leaving the greenhouse was 5.7°C. In the case of using hot water as the heating fluid, the rate of meeting the greenhouse heat requirement was determined to be 38.45% on average during the night periods of heating, and 44.36% during the period when hot nanofluid was used. In the case of using hot water as the heating fluid, the thermal power/exergy ratio was determined to be 9.86% on average during the night periods of heating, while it was determined to be 10.69% in the period when hot nanofluid was used. In the case of using hot water as the heating fluid,

the cucumber yield was 393 kg (34.2%) higher than the unheated greenhouse. While the total daily energy, fuel and emission savings for heating the greenhouse was determined as 37.6% during the period of water heating, it was determined as 42% during the period of heating with nanofluid. This is due to the higher efficiency of heat recovery with nanofluid. In the case of heating with water, the payback period for saving natural gas is 5.84 years, and the payback period for coal savings is 4.47 years.

Key Words: Solar energy, Greenhouse heating, Vacuum tube collector, Heat storage, Nanofluid.

1. GİRİŞ

Örtü altı yetiştiriciliğinde başlıca amaç, iç ortam sıcaklığını bitki büyüme gelişmesi için en uygun düzeyde sürdürmektir. Seralarda gerçekleştirilen bitkisel üretimden beklenen en yüksek verimin elde edilmesi için, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde seranın ısıtılması gerekir. Enerji fiyatlarının yüksek olduğu günümüzde, sera ısıtma giderleri yükselmekte ve yetiştirilen ürünlerin maliyeti artmaktadır. Esas olarak sezon dışı üretim amacıyla kullanılan seralarda yetiştirilen ürünlerin kalite, miktar ve gelişme süresi bakımından en uygun ortam koşullarının sağlanması için, kışın soğuk dönemlerde ısıtma gereklidir. Akdeniz ülkelerinin çoğunda ekolojik koşulların uygun olması nedeniyle, sadece soğuk kış gecelerinde gereksinim duyulan ısıtma uygulamaları yeterince yapılmamaktadır. Bu nedenle, seralarda yetiştirilen ürünlerin kalite, miktar ve hasat zamanı açısından bazı olumsuzluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle, seraların ısıtılmasında, kurulduğu yerde bulunan en ucuz enerji kaynakları kullanılmalıdır. Bulunulan yöre, yetiştirilen ürün çeşidi ve yapılan üretim şekline göre, klasik fosil yakıtlarla yapılan ısıtma uygulamalarında, ısıtma giderleri toplam üretim giderlerinin %60–70'ine ulaşmaktadır [1]. Güney Avrupa koşullarında sera ısıtma giderleri, toplam işletme giderlerinin %30'undan daha fazladır [2]. Alışılabilen enerji kaynaklarından elde edilen enerji bedellerinin yüksek olması nedeniyle, sera ısıtma amacıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak büyük önem kazanmıştır. Sera ısıtma uygulamalarında, günümüz enerji varlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek amacıyla fosil enerji kaynakları yerine, doğal enerji kaynaklarından yararlanılması öncelikli bir gereksinimdir.

Bu araştırmada, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanı olan plastik seranın ısıtılmasında yararlanmak üzere, güneş enerjisinin, ısı depolama materyali olarak nanopartikül (Al₂O₃) karıştırılmış su (nanoakışkan) kullanılarak, duyulur ısı depolama yöntemi ile kısa süreli (gündüzden-geceye) depolanması amaçlanmıştır. Serada güneş enerjisi depolama uygulaması ile seranın ısıtma enerjisi gereksiniminin azalması amaçlanmıştır. Sera ısıtma için kullanılması gereken enerji miktarının azalmasına bağlı olarak, ısıtma giderleri azalacak ve enerji tasarrufu sağlanacaktır. Enerji tasarrufu sağlanmasının önemli bir sonucu olarak, sera ısıtma uygulamaları için fosil yakıt tüketimi de azalacağından, atmosferde sera etkisi yaratan başlıca gazlardan birisi olan CO₂ gazı salımı da önemli oranda azalacaktır. Böylece; sera üreticisi, ülke ekonomisi, insan sağlığı ve çevre korunumu açısından önemli katkılar sağlanacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

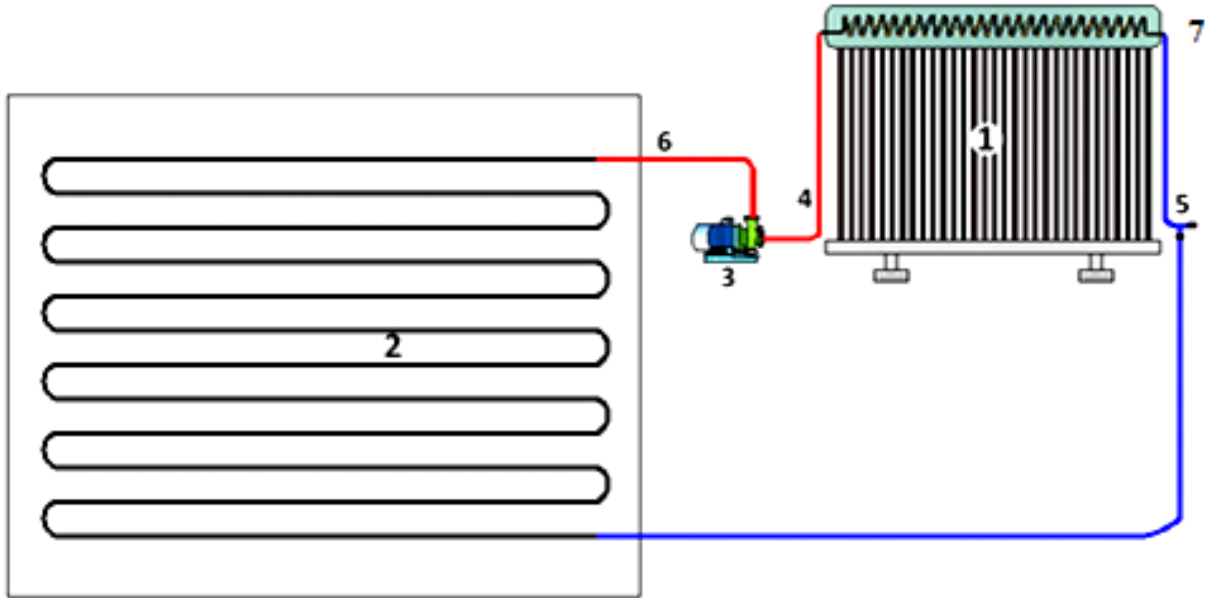
2.1. İklim Özellikleri

Adana ili, Akdeniz ikliminin özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Adana'da yılın 195,6 günü yaz günüdür. Bu günlerin 134,4'ü tropik gün olarak belirlenmiştir. Adana ilinde uzun yıllık ortalama sıcaklık ortalaması 19,1°C olup, ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri sırasıyla 25,3°C ve 13,8°C'dir. Ortalama en yüksek sıcaklıkların yaz mevsimindeki (Haziran–Ağustos) ortalaması 33,3°C'dir. Ortalama en düşük sıcaklıkların kış aylarındaki (Aralık–Şubat) ortalaması –6,6°C'dir [3].

Adana ilinde toplam güneş enerjisi; 1,99–6,60 kWh/m²gün aralığında değişmekte olup, yıllık ortalama 4,21 kWh/m²gün değerindedir. Toplam güneş enerjisi yaz mevsiminde (Haziran–Ağustos) ortalama 6,23 kWh/m²gün düzeyinde iken, kış mevsiminde (Aralık–Şubat) 2,02 kWh/m²gün düzeyine azalmaktadır. Güneşlenme süresi ise; 4,58–11,46 saat aralığında değişmekte olup, yıllık ortalama 8,21 saattir. Güneşlenme süresi yaz aylarında (Haziran–Ağustos) ortalama 11,22 saat değerinde iken, kış aylarında (Aralık–Şubat) 5,15 saat değerine azalmaktadır [3].

2.2. Güneş Enerjisiyle Sera Isıtma Sistemi

Sera ısıtma, güneş enerjisinin su kullanılarak duyulur ısı depolama yöntemi ile günlük olarak depolanması için tasarlanmış olan araştırma, TC Tarım ve Orman Bakanlığı Adana Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğü'nde yürütülmüştür. Tasarlanan sistemin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Sistem esas olarak Vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi, toplanan ısının depolandığı ısı depolama ünitesi, depolanan ısıyla ısıtılan plastik sera, ısı toplama-depolama üniteleri ile sera arasında ısı taşıma ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 1'de gösterilen güneş enerjili sera ısıtma sisteminde; gündüz sürelerinde, vakum borulu güneş toplaçları (1) tarafından toplanılan ısı enerjisi, sisteminin üst kısmında yer alan ısı depolama ünitesinde (7) depolanmıştır. Sera iç ortam sıcaklığına bağlı olarak, ısı depolama ünitesinden gece sürelerinde ısı geri kazanılması için, pompa ünitesi (3) çalıştırılmıştır.



Şekil 1. Güneş enerjisiyle sera ısıtma için tasarlanan sistemin şematik görünümü: (1) ısı vakum borulu güneş toplaçları (toplama ünitesi), (2) sera içi ısıtma boruları, (3) sirkülasyon pompası, (4-5-6) sıcak su dolaşım hattı ve (7) ısı depolama ünitesi.

Bu durumda, ısı depolama ünitesi (7) ile plastik sera içindeki ısıtma boruları (2) arasında akışkan dolaşımı sağlanmıştır. Isı geri kazanılan gece sürelerinde, plastik sera (2) ve ısı depolama (7) üniteleri arasında akışkan dolaşımı için kullanılan pompa ünitesine hareket veren elektrik motorunun çalışması termostat ile kontrol edilmiştir. Güneş enerjisiyle ısıtılan serada hava sıcaklığı 12 °C'ye azaldığında, sirkülasyon pompası çalışmaya başlamış ve ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında ısı transferi gerçekleşmiştir. Sistemin kurulma aşamasını gösteren görseller Şekil 2'de verilmiştir.

2.2.1. Isı Toplama Ünitesi: Vakum Borulu Güneş Toplaçları

Isı depolama ünitesinde ısı enerjisi olarak depolanacak olan güneş enerjisinin toplanması için, vakum borulu güneş toplaçlarından yararlanılmıştır (Şekil 2). Vakum borulu toplaçlar, yüksek sıcaklıklı ve güneşi izlemesi gerekmeyen güneş toplaçlarıdır. Kurulumu yapılan tasarım 6 üniteden oluşmaktadır. Her ünite 36 adet vakum boru bulunmaktadır.



Şekil 2. Vakum borulu toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesi

2.2.2. Isı Depolama Ünitesi

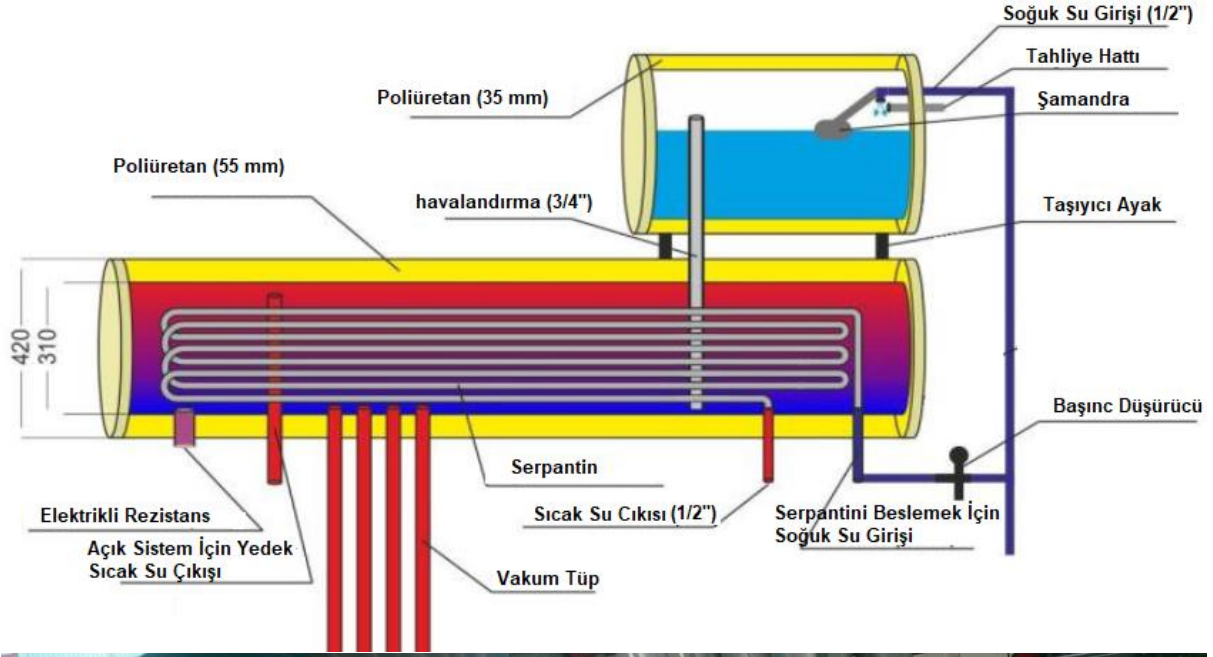
Isı depolama ünitesi olarak, korozyona dayanıklı galvanize çelik metal malzemeden tasarlanmış ve hacmi 240 L olan silindirik depolama tankı kullanılmıştır (Şekil 3). Isı depolama ünitesinin dış yüzeyleri, ısı kayıplarının önlenmesi için, etkin bir şekilde poliüretan ile ısı olarak yalıtılmıştır. Isı depolama ünitesinin alt kısmından itibaren 5 (alt), 15 (orta) ve 25 (üst) cm yüksekliklerde, ısı depolama akışkanının sıcaklıkları ölçülmüştür. Vakum borulu güneş toplaçlarından oluşan ısı toplama ünitesinden gelen sıcak su, tanktaki suyun ısınması sağlamıştır. Tank içerisinde bulunan bakır serpantin içerisinde dolaşan akışkan depolanan ısı enerjisini üzerine alarak dolaşım sonucunda plastik sera içerisine aktarmıştır. Isı toplama ünitesinin başlıca bileşenleri ve iç görünümü Şekil 3'de verilmiştir.

2.2.3. Plastik Seralar

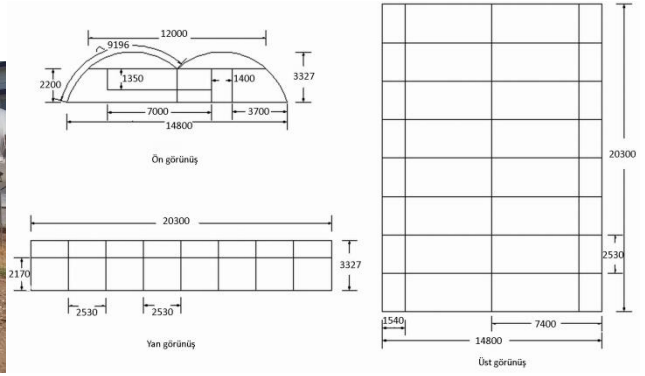
Araştırma kapsamında, Adana iklimi koşullarında 140 m² taban alanında polietilen (PE) plastik seralar için, güneş enerjisiyle sera ısıtma sisteminin tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Aynı tasarımda mevcut olan iki adet plastik seradan birisi kontrol amacıyla kullanılmıştır. Kurulan plastik seraların boyutları şu şekildedir: 10 m (uzunluk) × 14 m (genişlik) × 3 m'dir (yükseklik). Plastik seraların görünüşü ve teknik resim çizimleri Şekil 4'de, bazı özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

2.2.3.1. Plastik Borulu Isıtma Sistemi

Deneme serasının ısıtılması, tabanına yerleştirilmiş plastik spiral boru içerisinde sıcak su dolaşımı ile sağlanmıştır (Şekil 5). Bu amaçla, sera ısı gereksinimine bağlı olarak, 25 mm çapında toplam 180 m uzunluğunda oluklu spiral boru kullanılmıştır. Isıtma borularının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Isı depolama ünitesinin bileşenleri ve iç görünümü



Şekil 4. Denelerin yapıldığı plastik seranın görünümü ve boyutları


Tablo 1. Plastik seranın özellikleri

Özellikler	Değerler
Örtü kalınlığı (mm)	0,35
Toplam uzunluk (m)	20
Bölme genişliği (m)	7
Toplam genişlik (m)	14
Toplam yükseklik (m)	3



Şekil 5. Plastik serada plastik borulu ısıtma sistemi

Tablo 2. Sera ısıtma borusunun teknik özellikleri

Dış çap	25 mm	 Isıtma borusu
Nominal çalışma basıncı (55 °C)	2,5 Atm	
Maksimum çalışma sıcaklığı	70°C	
Kalınlık	0,90 mm	
Kütle	116,0 g/m	
Paketleme	100 m	

Plastik seradaki ısıtma sistemi, seranın uzun kenarı boyunca sera tabanındaki toprak yüzeyine belirli aralıklar ile yerleştirilmiş ısıtma borularından oluşmaktadır. Sıcak su girişi ve ılık su dönüşü gerçekleşen spiral borular, sera genişliği boyunca yerleştirilmiş olan ana dağıtım ve dönüş hattına bağlıdır (Şekil 5).

Isı geri kazanma dönemlerinde, plastik sera ve ısı depolama ünitesi arasında akışkan dolaşımı için sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Sera iç hava sıcaklığına bağlı olarak, pompa çalışmış ve sera içerisindeki ısıtma borularından akışkan dolaşımı sağlanmıştır. Pompa 220-230V/50Hz çalışmaktadır. Limk WRS25/7-130 marka pompa, 80 W gücünde ve debisi 0,26 kg/s'dir.

2.2.3.2. Nanoakışkan

Nanoakışkanlar en genel tanımıyla; nanometrik boyuttaki (1–100 nm) katı partiküllerin bir temel akışkan içerisinde dağıtılması ile oluşturulan akışkanlardır. Böyle bir yapı oluşturmaktaki amaç, ısı iletkenliği, temel akışkanın ısı iletkenliğinden daha yüksek olan bir nano malzemeyi (metal, metal oksit veya yüksek yüzey alanlı karbonik yapılar) akışkan içerisine karıştırarak, akışkanın ısı iletkenliğini arttırmaktır. Araştırmada % 5 oranında Al_2O_3 ve % 95 oranında su karışımından oluşan nanoakışkan kullanılmıştır. Kullanılan nanoakışkanın özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Nanoakışkanın özellikleri

Alüminyum Oksit Alfa Dağılımı	Değer
Al_2O_3	%5 wt
Boyut	30-50 Nm
Safılık	%99.9
Kristal yapı ve tipi	Alfa
Görünümü	Beyaz sıvı
Spesifik yüzey alan	190 m ² /g
pH	6-8
Yoğunluk	(20 °C) 3,9 g/cm ³
Erime noktası	2040 °C
Molekül ağırlığı	101,96
Termal iletkenlik	30 W/m K
Özgül ısı	451-955 J/kgK

2.3. Ölçme Sistemi Ve Kayıt Sistemi

Araştırmada sistemin farklı birer bileşenini oluşturan; plastik sera ortamları ve ısı depolama ünitesinde farklı fiziksel büyüklükler ölçülmüştür. Sera iç ortamları ve dış ortamda sıcaklık ölçümü, sıcaklık arttıkça direnci azalan negatif ısı katsayılı (NTC) termistör ile yapılmıştır. Bağıl nem ölçümü ise, kapasitif özellikteki nem algılayıcı ile yapılmıştır.

Sera içi ortamları ve dış ortamdaki toprak sıcaklıkları, ısı depolama ünitesi içerisindeki su sıcaklığı ile sera giriş-çıkış hattında akışkan sıcaklıkları, direnç tipi termometreler ile ölçülmüştür. Isı depolama ünitesinin üst, orta ve alt kısımları olmak üzere üç noktadan, direnç tipi termometreler ile depo içerisindeki su sıcaklıkları ölçülmüştür. Direnç tipi termometreler -200°C'den +850°C'ye kadar değişen aralıkta çok çeşitli işlemlerde yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle düşük sıcaklıklarda ısı çiftlere kıyasla çok daha doğru değerler verdikleri için tercih edilirler. Direnç termometre elemanı Pt-100 ve Ni-100, DIN standardı 43760'a uygun direnç değerleri vermektedir. Pt-100 ve Ni-100 elemanları 0°C'de 100 ohm direnç değerine sahiptirler.

Kayıt cihazı, Elimko marka E-PR-110 serisi mikrokontrolör kullanılarak tasarlanmış kağıtsız kayıt ve kontrol cihazıdır. Ünsersal giriş ve çıkışların kullanıcı tarafından programlanabildiği 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ve 24 kanal girişi, 12 röle çıkışı ve 64 sayısal giriş/çıkışa sahip, programlama gerektirmeyen, kolay takılıp çıkartılabilen I/O kartlarıyla endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Sıcaklık, basınç, seviye, debi, akım, gerilim gibi fiziksel birimlerin sayısal ortamda kayıt edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. RS-485 ve ethernet bağlantısı, USB port imkanı ve yüksek kapasitede dahili veri depolama özelliği ile çok fonksiyonlu bir kayıt ve kontrol cihazıdır. Ölçümler 5'er dakika aralıklar ile ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

2.4. Serada Hıyar Üretimi

Araştırma seralarında Malazgirt F1 hıyar çeşidi üretilmiştir (Şekil 6). İlbahar ve sonbahar dikimlerine çok uygun partenokarpik bir çeşittir. Çok erkenci olup, kuvvetli bitki yapısına sahiptir. Meyve rengi parlak koyu yeşil, oluklu 17-18 cm uzunluğundadır. Meyveler hafif boyunlu olup, meyve sapı ve çiçek sapı uzundur. Küllemeye, (mildiyö) yüksek toleranslıdır. Dikim 100 x 50 x 50 cm (300 bitki/140 m²) aralığında gerçekleşmiş ve ilk sulama işlemi aynı gün yapılmıştır. Fideler dikildikten sonra ilk verilen can suyundan ilk meyveler görülünceye kadar ki dönemde çok olmamak koşuluyla 3-4 günde sulama yapılmıştır. 15-15-15 gübresinden 15 kg fide dikiminden 10-15 gün önce toprağın yüzüne serilerek en az 15-20 cm derinliğinde toprak işlenmiştir.



Şekil 6. Deneme serasında hıyar üretimi

2.5. Hesaplama Yöntemi

2.5.1. Sera Isı Gereksiniminin Belirlenmesi

Plastik seranın ısıtılması için, taban alanı başına gereksinim duyulan ısıl güç miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir [4].

$$q_s = \frac{A_{\text{ö}}}{A_t} \times u \times (T_i - T_d) - l \times \tau \times \gamma \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

- q_s = Taban alanı başına ısı güç gereksinimi (W/m^2),
- A_o = Sera örtüsü yüzey alanı (m^2),
- A_t = Sera taban alanı (m^2),
- u = Toplam ısı kaybı katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$),
- T_i = Sera iç ortam havasının sıcaklığı ($^\circ C$),
- T_d = Dış ortam havasının sıcaklığı ($^\circ C$),
- I = Toplam güneş ışınımı (W/m^2)
- τ = Seranın toplam ışınım geçirgenliği ve
- γ = Toplam ışınımın sera iç ortam sıcaklığının artmasında etkili olan ısı ışınımına dönüşme oranıdır.

Sera toplam ısı güç gereksinimi, birim taban alanı için gerekli ısı güç miktarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q_s = q_s \times A_s \quad (W) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

- Q_s = Seranın toplam ısı güç gereksinimi (W),
- q_s = Taban alanı başına ısı güç gereksinimi (W/m^2) ve
- A_s = Sera taban alanıdır (m^2).

Plastik seranın ısı güç gereksinimi, güneşten ısı kazancının olmadığı gece koşulları için hesaplanmıştır. Seralarda güneş enerjili aktif ısıtma sistemleri, yıllık ısı gereksiniminin belirli bir oranını karşılamak için tasarlanırlar. Sera iç ortamında istenilen sıcaklığa bağlı olarak oluşan ısı kayıpları dikkate alınır ve seranın yıllık ısı gereksinimi hesaplanır.

2.5.1.1. Toplam Isı Kaybı Katsayısı

Toplam ısı kaybı katsayısı genellikle rüzgar hızı ile ilişkili olarak incelenir. Akdeniz Bölgesi iklimi koşullarında; UV+IR katkılı PE ile örtülü plastik seralar için toplam ısı kayıp katsayısı, rüzgar hızına (v_r , m/s) bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir [5].

$$u = 2,83 + 0,10 v_r \quad (W/m^2 \text{ } ^\circ C)(3)$$

2.5.1.2. Sera İç Ortam Hava Sıcaklığı

Seralarda değişik tür bitkilerin yetiştirilebilmesi için, iç ortam hava sıcaklığı 10–28 $^\circ C$ aralığında ayarlanabilmelidir. Plastik serada hıyar üretimi için gerekli olan ısı gereksinimi, 17 $^\circ C$ iç ortam sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmıştır.

2.5.1.3. Dış Ortam İklim Koşulları

Dış ortam sıcaklığının belirlenmesinde, seranın bulunduğu bölgenin iklim koşullarına bağlı olarak yılın en soğuk zamanında oluşan en düşük sıcaklıkların ortalaması dikkate alınır. Isıtma sistemi tasarımında, Adana yöresine ilişkin uzun yıllık sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır.

2.5.2. Sera Ortamına Verilen Isıl Güç Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi ile sera arasında akışkan dolaşımı ile sera ortamına aktarılan ısı güç miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$Q_t = m \times c_p (T_g - T_\varphi) \quad (W) \quad (4)$$

Burada:

- Q_t = Sera ortamına taşınan ısı güç miktarı (W),
- m = Akışkanın kütleli debisi (kg/s),
- c_p = Akışkanın özgül ısısı (J/kg $^\circ C$),
- T_φ = Akışkanın seradan çıkış sıcaklığı ($^\circ C$) ve
- T_g = Akışkanın seraya giriş sıcaklığıdır ($^\circ C$).

2.5.3. Sera Ortam Havasına Verilen Isıl Ekserji Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi ile sera arasında akışkan dolaşımı ile sera ortamına aktarılan ısı ekserji miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\Xi_t = m \times c_p (T_g - T_\varphi) - T_r \times m \times c_p (\ln T_g / T_\varphi) \quad (W) \quad (5)$$

Burada:

- Ξ_t = Sera ortamına taşınan ısı ekserji miktarı (W),
- m = Akışkanın kütleli debisi (kg/s),
- c_p = Akışkanın özgül ısısı (J/kg K),
- T_φ = Seradan çıkan akışkanın mutlak sıcaklığı (K),
- T_g = Seraya giren akışkanın mutlak sıcaklığı (K) ve
- T_r = Referans sıcaklıktır (10 K).

2.5.4. Sera Isıtma Sisteminin Boyutlandırılması

2.5.4.1. Isıtma Borusu Uzunluğunun Belirlenmesi

Seralardaki sıcak sulu ısıtma sistemlerinde kullanılması gereken toplam ısıtma borusu uzunluğu, seranın toplam ısı gereksinimi ve kullanılması tasarımılanan ısıtma borusunun birim uzunluğundan kazanılan ısı miktarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır [6].

$$L_b = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (m) \quad (6)$$

Bu eşitlikte;

- L_b = Isıtma borusunun uzunluğu (m)
- Q_s = Seranın toplam ısı güç gereksinimi (W) ve
- Q_b = Borudan kazanılan ısı güç miktarıdır (W/m).

2.5.4.2. Isıtma Borusundan Isı Transferinin Belirlenmesi

Isıtma borusundan sera ortamına geçen toplam ısı güç miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$Q_b = \frac{4\pi L_b \Delta T_b}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{\ln(d_d / d_i)}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha_d d_d}} + Q_r \quad (m) \quad (7)$$

Bu eşitlikte;

- L_b = Isıtma borusu uzunluğu (m),
- ΔT_b = Sıcaklık farkı (°C),
- α_i = İç yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K),
- α_d = Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K),
- d_d = Boru dış çapı (m),
- d_i = Boru iç çapı (m),
- λ_b = Isı iletim katsayısı (W/m K) ve
- Q_r = Işınım ile geçen ısı güç miktarıdır (W).

2.5.4.3. Isıtma Borusundan Sera Ortamına Işınım ile Geçen Isıl Güç

Plastik seradaki ısıtma borularından sera ortamına ışınlama ile geçen ısı güç miktarı (Q_r , W) aşağıdaki gibi hesaplanır [6].

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_b (T_b^4 - T_s^4) \quad (W) \quad (8)$$

Bu eşitlikte;

- ε = Işınım yayma değeri,
- σ = Stefan-Boltzmann sabiti (5.6697x10⁻⁸ W/m²K⁴),
- A_b = Boru yüzey alanı (m²),
- T_b = Isıtma borusunun mutlak sıcaklığı (K) ve
- T_s = Sera ortam havasının mutlak sıcaklığıdır (K).

2.5.4.4. Sıcaklık Farkı

Sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ile ısıtma borusu içerisindeki su sıcaklığı arasındaki fark (ΔT_b), logaritmik ortalama sıcaklık farkı olarak hesaplanır [6].

$$\Delta T_b = \frac{T_g - T_\phi}{\ln \frac{(T_g - T_s)}{(T_\phi - T_s)}} \quad (^\circ\text{C}) \quad (9)$$

Burada;

- T_g = Suyun ısıtma borusuna giriş sıcaklığı ($^\circ\text{C}$),
- T_ϕ = Isıtma borusundan su çıkış sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) ve
- T_s = Sera içerisindeki hava sıcaklığıdır ($^\circ\text{C}$).

2.5.4.5. Isıtma Borusu Yüzey Alanı

Isıtma borusundan ısı geçişi gerçekleşen yüzey alanının belirlenmesinde, borunun logaritmik ortalama yüzey alanı dikkate alınır [6].

$$A_b = \frac{2\pi \times L_b \times (r_d - r_i)}{\ln \frac{r_d}{r_i}} \quad (\text{m}^2) \quad (10)$$

Burada;

- A_b = Isıtma borusu yüzey alanı (m^2),
- L_b = Isıtma borusunun uzunluğu (m)
- r_i = Isıtma borusunun iç yarıçapı (m) ve
- r_d = Isıtma borusunun dış yarıçapıdır (m).

2.5.5. Isı Depolama Materyali Miktarının Belirlenmesi

Isı depolama ünitesinde duyulur ısı depolama materyali olarak kullanılması gereken su miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$\dot{m} = \frac{Q_s}{c_p \times \Delta T} \quad (\text{kg}) \quad (11)$$

Burada;

- m = Kullanılması gereken su kütlesi (kg),
- Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),
- c_p = Suyun özgül ısıdır (kJ/kg $^\circ\text{C}$) ve
- ΔT = Sudaki sıcaklık artışıdır ($^\circ\text{C}$).

2.5.6. Isı Toplama Ünitesi Yüzey Alanının Belirlenmesi

Sera ısıtma amacıyla yıllık ısı gereksiniminin belirli bir oranını karşılamak için gerekli ısı enerji miktarı belirlendikten sonra, bu enerjinin toplanması için gerekli toplaç alanı hesaplanır. Toplaçların güneş enerjisi toplama verimi; toplaç üzerine gelen güneş ışınımına, toplaç örtü malzemesi ve soğurucu yüzeyin optik özelliklerine bağlıdır. Isı toplama ünitesinde kullanılması gereken toplaç alanı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır [6].

$$A_t = \frac{Q_s}{I \times \eta_t} \quad (\text{m}^2) \quad (12)$$

Burada;

- A_t = Toplaç yüzey alanı (m^2),
- Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),
- I = Toplaç yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarı (kJ/ m^2 gün) ve
- η_t = Toplaç verimidir (%).

2.5.7. Isı Depolama Ünitesi Hacminin Belirlenmesi

Isı depolama ünitesi (ısı deposu) hacminin belirlenmesinde, günlük olarak gerekli olan depolanabilecek en fazla ısı miktarı dikkate alınır. Isı depolama ünitesinin hacmi aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir.

$$V = \frac{Q_s}{\rho_s \times c_{ps} \times \Delta T} \quad (\text{m}^3) \quad (13)$$

Burada;

V = Isı depolama ünitesi hacmi (m^3),

Q_s = Güneş enerjisi ile karşılanması öngörülen sera ısı gereksinimi (kJ/gün),

ρ_s = Suyun yoğunluğu (kg/m^3),

c_{ps} = Suyun özgül ısısı (kJ/kg K) ve

ΔT = Isı depolama için ısı depolama materyalinin ortalama sıcaklık artışıdır ($^{\circ}\text{C}$).

2.5.8. Dolaşım Pompası Debisinin Belirlenmesi

Isıtma sisteminde kullanılacak olan dolaşım pompası, sitemde meydana gelen sürtünme kayıplarını karşılayabilecek büyüklükte seçilmelidir. Dolaşım pompasının debisi, gerekli ısı enerjisi miktarı ve akışkanın giriş-çıkış sıcaklık farkına bağlı olarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir [6].

$$V_p = \frac{Q_s}{c_p \times \rho \times (T_g - T_{\varphi})} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (14)$$

Burada;

V_p = Dolaşım pompasının debisi (m^3/s),

Q_k = Gerekli ısı miktarı (kW),

ρ = Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3),

c_p = Akışkanın özgül ısısı ($\text{kJ/kg } ^{\circ}\text{C}$),

T_g = Akışkan giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ve

T_{φ} = Akışkan çıkış sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$).

2.5.9. Tasarruf Edilecek Yakıt Miktarı ve Yakıt Giderinin Belirlenmesi

Plastik seranın güneş enerjisiyle ısıtılması durumunda, tasarruf edilecek yakıt miktarı değerlerinin belirlenmesi için, Tablo 4'de verilen yakıtlara ilişkin ısı değerleri ve çevrim verimleri ile Adana (Merkez) ili Eylül 2020 tarihindeki yakıt birim fiyatları dikkate alınmıştır.

Tablo 4. Yakıt ve emisyon tasarrufunun belirlenmesinde kullanılan değerler [7]

Yakıt Çeşidi	Isıl Değeri (kWh/kg)	Çevrim Verimi (%)	LCA Emisyon Faktörü (gCO _{2-eş} /kWh)
Doğal gaz	10,6	90	237
Kömür	7,16	60	385

2.5.10. Tasarruf Edilecek Eşdeğer Karbondioksit Emisyonu Miktarının Belirlenmesi

Plastik seranın güneş enerjisiyle ısıtılması durumunda, tasarruf edilecek eşdeğer karbondioksit emisyonunun (CO_{2-eş}) belirlenmesi için, Tablo 4'de verilen yakıtlara ilişkin ısı değerleri ve çevrim verimleri ile yaşam döngüsü analizlerinde dikkate alınan CO_{2-eş} salım faktörleri kullanılmıştır.

$$\text{CO}_{2\text{-eş}} = m_y \times \text{LHV}_y \times \text{EF}_y \quad (\text{kgCO}_{2\text{-eş}}) \quad (15)$$

Burada;

$\text{CO}_{2\text{-eş}}$ = CO_{2-eş} emisyonu ($\text{kgCO}_{2\text{-eş}}$)

m_y = Yakıt miktarı (kg),

LHV_y = Yakıtın alt ısı değeri (kWh/kg) ve

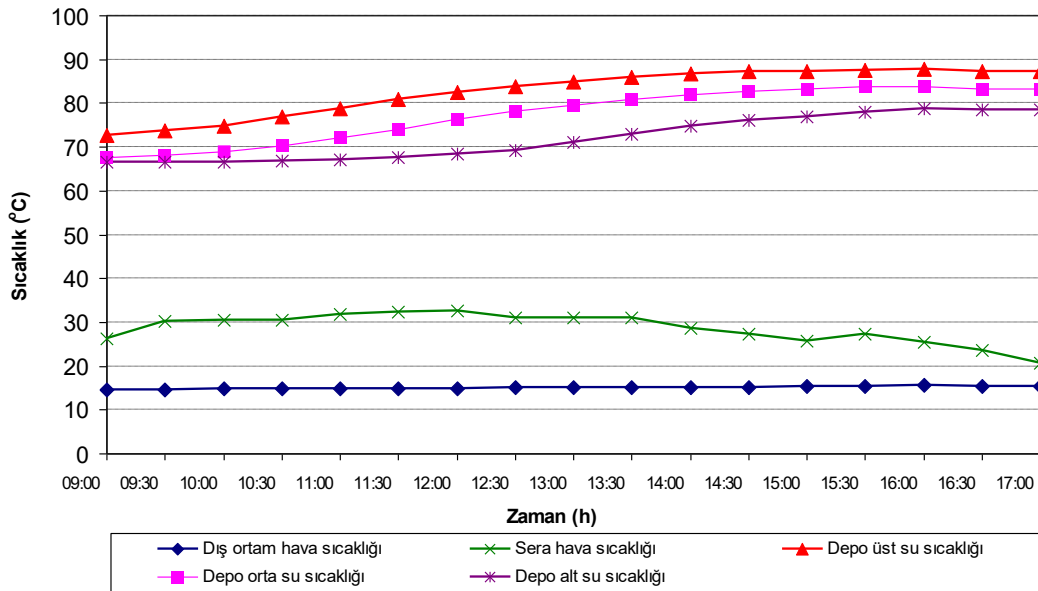
EF_y = Yakıtın emisyon faktörüdür ($\text{kgCO}_{2\text{-eş}}/\text{kWh}$).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Su İle Isıtma Yapılan Dönem

3.1.1. Gündüz Dönemi Sıcaklık Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), güneş enerjisinden vakum borulu toplaçlar aracılığı ile ısı enerjisi kazanılarak, ısı depolama ünitesinde ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde (09:00–17:00) hava ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 7’de verilmiştir. Belirtilen dönemde, gündüz sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 14,48–15,58°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 23,51–32,59 °C aralığında değişmiştir. Gündüz sürelerinde, belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 15,08°C, sera iç ortamında ise 28,61°C olarak belirlenmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 72,57–87,79°C, 67,56–83,86°C ve 66,57–78,70°C aralıklarında değişmiştir. Gündüz sürelerinde belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 82,68°C, 77,55°C ve 72,07°C olarak belirlenmiştir.



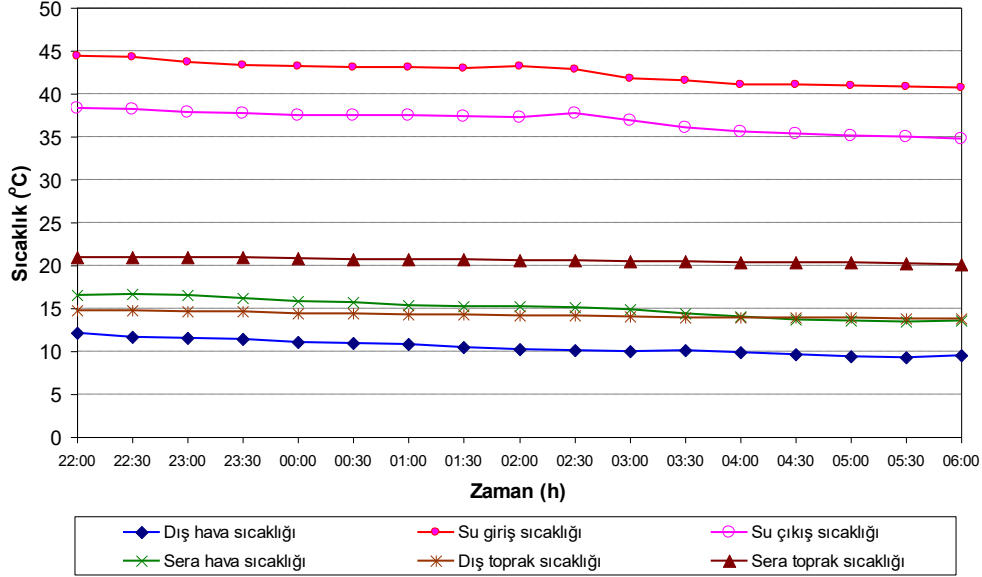
Şekil 7. Su ile ısı depolama yapılan dönemde gündüz sürelerinde sıcaklık değişimi

3.1.2. Gece Dönemi Sıcaklık Değişimi

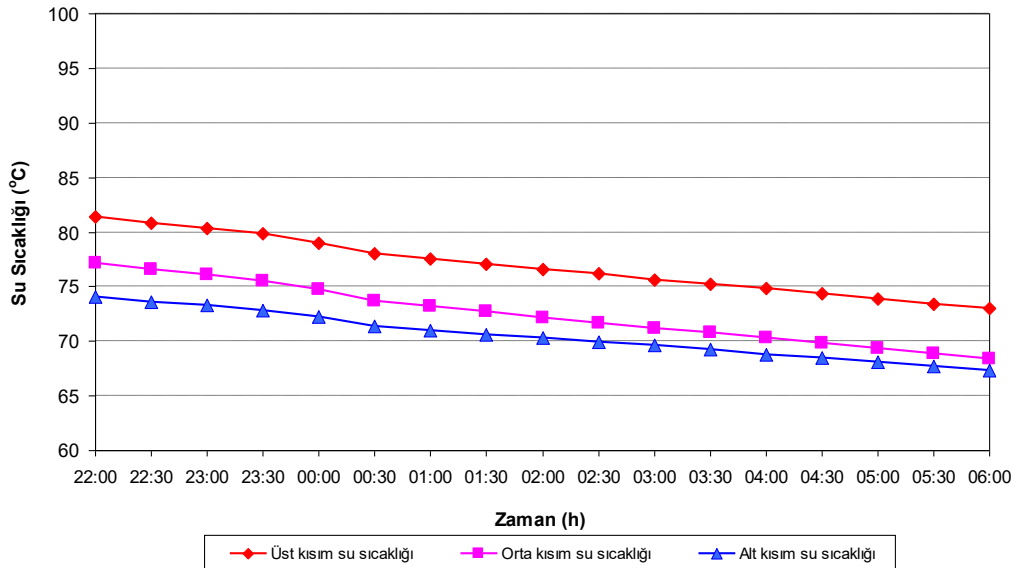
Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) hava, toprak ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Isı depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi ile ısınarak seraya giren suyun sıcaklığı 40,77–44,45°C aralığında değişmiştir. Sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaşarak taşıdığı ısı enerjisini sera ortamındaki havaya aktararak, serada çıkan suyun sıcaklığı 34,79–38,25°C aralığında değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), seraya giren ve seradan çıkan ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 42,49°C ve 36,82°C olarak belirlenmiştir. Seraya giren ve seradan çıkan su sıcaklıkları farkı, 6,1–4,89°C aralığında değişmiş ve ortalama 5,66°C olarak hesaplanmıştır.

Belirtilen dönemde, gece sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 9,28–12,13°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 13,40–16,69°C aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 10,50°C, sera iç ortamında ise 15,06°C olarak belirlenmiştir. Su ile ısıtma yapılan sera ortamı ile dış ortam arasındaki hava sıcaklığı farkı 4,07–4,97°C aralığında değişmiş ve ortalama 4,56°C olarak hesaplanmıştır. Su ile

Isıtma yapılan gece sürelerinde toprak sıcaklığı, dış ortamda 13,75–14,81°C aralığında, sera iç ortamındaki ise 20,15–21,00°C aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte toprak sıcaklığı ortalaması dış ortamda 14,22°C, sera iç ortamında ise 20,60°C olarak belirlenmiştir. Sera ısıtma yapılan gece sürelerinde belirtilen saatler (22:00–06:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 72,99–81,35°C, 68,37–77,12°C ve 67,37–74,03°C aralıklarında değişmiştir (Şekil 8). Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 76,89°C, 72,48°C ve 70,50°C olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Su ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde sıcaklık değişimi

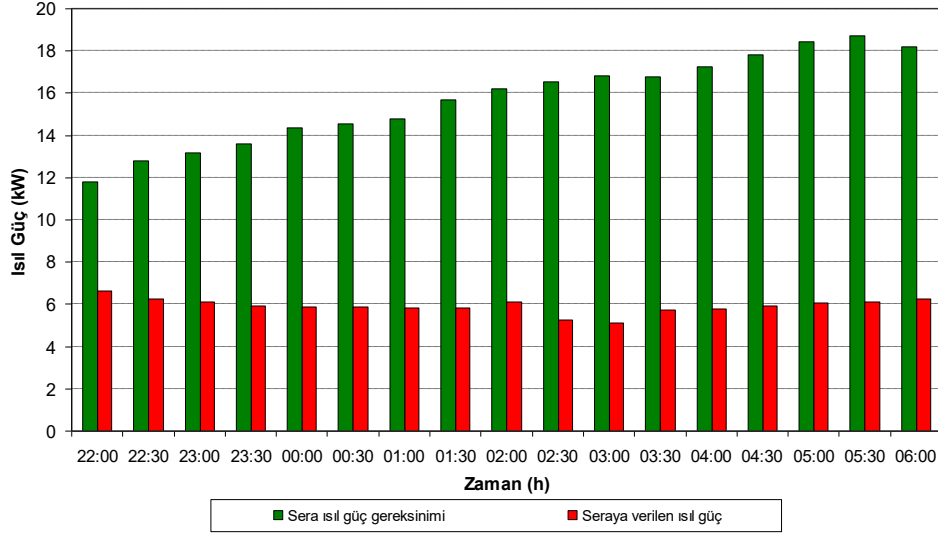


Şekil 8. Isı depolama ünitesinde gece sürelerinde su sıcaklıklarının değişimi

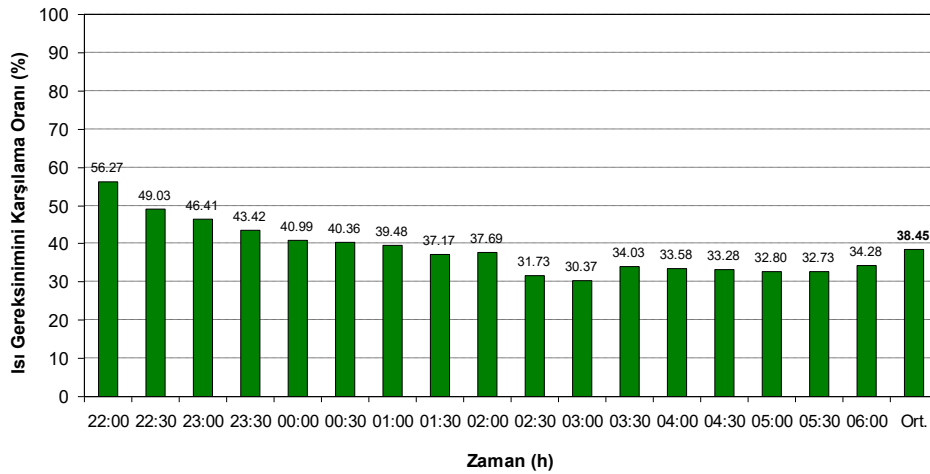
3.1.3. Gece Dönemi Isıl Güç ve Ekserji Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç değerlerinin değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Su ile ısıtma yapılan gece dönemlerinde sera ısı güç gereksinimi 11,79–18,70 kW aralığında değişmiştir. Isı depolama ünitesinden gelen sıcak suyun, sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaştırılarak seraya verilen ısı güç 5,71–6,63 kW aralığında

değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç ortalaması sırasıyla, 15,74 kW ve 5,92 kW olarak belirlenmiştir. Sıcak su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı %30,37–56,27 aralığında değişmiş ve ortalama %38,4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 10). Bu dönemde, gündüz sürelerinde güneş ışınım enerjisini vakum borulu topaclar ile ısı enerjisine dönüştürüp, ısı depolama ünitesindeki suya aktararak ısı depolama ve güne sürelerinde ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında sıcak su dolaşımı ile sera ortam havasına ısı güç aktarılması sonucunda, ısı gereksiniminin ortalama %38,4'ü karşılanabilmiştir.

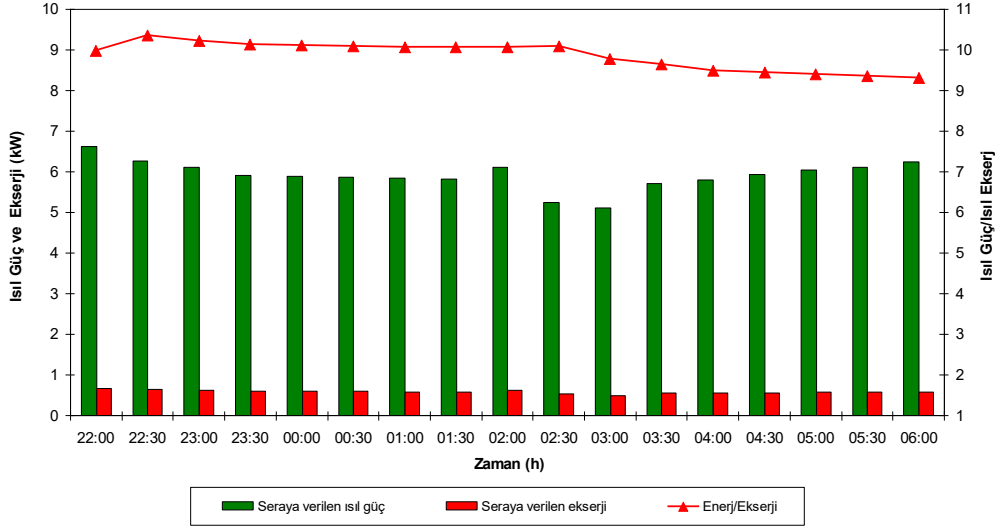


Şekil 9. Su ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde ısı güç değişimi



Şekil 10. Sıcak su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı

Isı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji değerlerinin değişimi Şekil 11’de verilmiştir. Sera ortamında sıcak su dolaşımı sonucunda, sera ortam havasına aktarılan ısı güç 5,71–6,63 kW aralığında değişmesine karşın, sera ortam havasına aktarılan ısı ekserji miktarı 0,55–0,66 kW aralığında değişmiştir. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji ortalaması sırasıyla, 5,92 kW ve 0,58 kW olarak hesaplanmıştır. Seraya verilen ısı güç/ekserji oranı 9,31–10,36 aralığında değişmiş ve ortalama 9,86 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, su ile ısıtılan dönemde gece sürelerinde, ısıtma akışkanı olarak kullanılan sıcak su ile sera ortam havasına aktarılan ısı gücün ortalama 9,86’da biri oranında daha az ısı ekserji aktarılabilmiştir.



Şekil 11. Serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde seraya verilen ısıl güç ve ekserji değerlerinin değişimi

3.1.4. Yakıt ve Enerji Tasarrufu

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam ısı enerjisi gereksinimi ve bu gereksinimi karşılamak için kullanılması gereken doğal gaz ve kömür miktarları Tablo 5’de verilmiştir. Su ile ısıtma yapılan dönemde, günlük toplam 8 saatlik süre için toplam ısı enerjisi gereksinimi 125 kWh olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ısı enerjisi gereksiniminin doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması için sırasıyla, 13,19 kg doğal gaz veya 29,30 kg kömür gerektiği hesaplanmıştır.

Tablo 5. Su ile ısıtma yapılan dönemde sera için ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Gereksinimi (kg)	Günlük Toplam Kömür Gereksinimi (kg)
A) Isıtmasız	$15,738 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 125,90 \text{ kWh}$	$(125,90 \text{ kWh} / 0,9 = 139,88 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) = 13,19 \text{ kg}$	$125,90 \text{ kWh} / 0,6 = 209,83 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} = 29,30 \text{ kg}$

Su ile ısıtma yapılan dönemde, doğal gaz veya kömür kullanımından yapılacak olan günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Bu dönemde, toplam 8 saatlik ısıtma süresinde 47,37 kWh ısı enerjisi, gündüz döneminde vakum borulu topaclar aracılığı ile güneş enerjisinden ısı kazanılarak ısı depolanan ısı depolama ünitesinden su dolaşımı ile ısı geri kazanılarak sera ortam havasına aktarılmıştır. Günlük toplam 8 saatlik ısı geri kazanma süresinde, ısı depolama ünitesinden sera ortam havasına aktarılan ısı enerjisinin (47,37 kWh), yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumundaki karşılıkları, sırasıyla 4,9 kg doğal gaz veya 11,02 kg kömür olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, serada sıcak su ile ısıtma yapılmıyorsa idi, 4,9 kg daha fazla doğal gaz veya 11,02 kg daha fazla kömür kullanılması gerekecekti. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması durumundaki Tablo 5’de verilen toplam ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi değerleri dikkate alınarak, tasarruf oranları; su kullanılarak ısı depolama uygulanıp ısı geri kazanması, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumunda % 37,6 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Su ile ısıtma yapılan dönemde günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Kazanımı (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Karşılığı (kg)	Günlük Toplam Kömür Karşılığı (kg)
B) Su ısıtmalı	$5,922 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 47,37 \text{ kWh}$	$(47,37 \text{ kWh} / 0,9 = 52,63 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) = 4,96 \text{ kg}$	$47,37 \text{ kWh} / 0,6 = 78,95 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} = 11,02 \text{ kg}$
C) Tasarruf oranı (%) (B × 100) / A	$(47,37 \text{ kWh} \times 100) / 125,90 \text{ kWh} = \%37,6$	$(4,96 \text{ kg} \times 100) / 13,19 \text{ kg} = \%37,6$	$(11,02 \text{ kg} \times 100) / 29,30 \text{ kg} = \%37,6$

3.1.5. Karbondioksit Emisyonu Tasarrufu

Su ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak su ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam CO_{2-eş} emisyonu ve emisyon tasarrufu oranları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Su ile ısıtma yapılan dönemde günlük toplam emisyon tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Doğal Gaz Kullanımında Günlük Toplam CO _{2-eş} Emisyonu (kg CO _{2-eş} /gün)	Kömür Kullanımında Günlük Toplam CO _{2-eş} Emisyonu (kg CO _{2-eş} /gün)
D) Isıtmasız	125,90 kWh / 0,9 = 139, 88 kWh × 0,237 kgCO _{2-eş} /kWh = 33,15 kgCO_{2-eş}/gün	125,90 kWh / 0,6 = 209,83 kWh × 0,385 kgCO _{2-eş} /kWh = 80,79 kgCO_{2-eş}/gün
E) Su ısıtmalı	47,37 kWh / 0,9 = 52,63 kWh × 0,237 kgCO _{2-eş} /kWh = 12,47 kgCO_{2-eş}/gün	47,37 kWh / 0,6 = 78,95 × 0,385 kgCO _{2-eş} /kWh = 30,39 kgCO_{2-eş}/gün
F) Emisyon tasarrufu (D–E)	33,15 kgCO _{2-eş} /gün – 12,47 kgCO _{2-eş} /gün = 20,68 kgCO_{2-eş}/gün	80,79 kgCO _{2-eş} /gün – 30,39 kgCO _{2-eş} /gün = 50,40 kgCO_{2-eş}/gün
G) Emisyon tasarruf oranı (%) (F×100) / D	(12,47 kgCO _{2-eş} /gün × 100) / 33,15 kgCO _{2-eş} /gün = %37,6	(30,39 kgCO _{2-eş} /gün × 100) / 80,79 kgCO _{2-eş} /gün = %37,6

Serada ısı enerjisi gereksiniminin tamamının doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması durumunda bir günlük ısıtma sunucunda, sırasıyla 33,15 kgCO_{2-eş} veya 80,79 kgCO_{2-eş} emisyonu gerçekleşecektir. Gündüzden-geceye güneş enerjisi depolayarak sıcak su ile sera ısıtma yapılması durumunda, doğal gaz veya kömür ile yapılan ısıtma ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 20,68 kgCO_{2-eş} veya 50,40 kgCO_{2-eş} emisyon tasarrufu sağlanacaktır. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması ve güneş enerjisi depolanarak su ile ısıtma durumundaki Tablo 7’de verilen emisyon değerleri dikkate alınarak, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumlarına kıyasla emisyon tasarruf oranları; % 37,6 olarak belirlenmiştir.

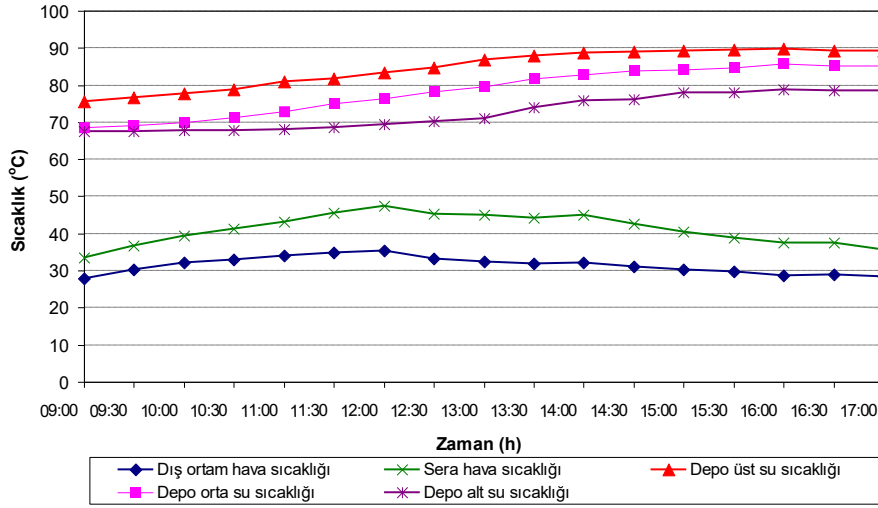
3.2. Nanoakışkan İle Isıtma Yapılan Dönem

3.2.1. Gündüz Dönemi Sıcaklık Değişimi

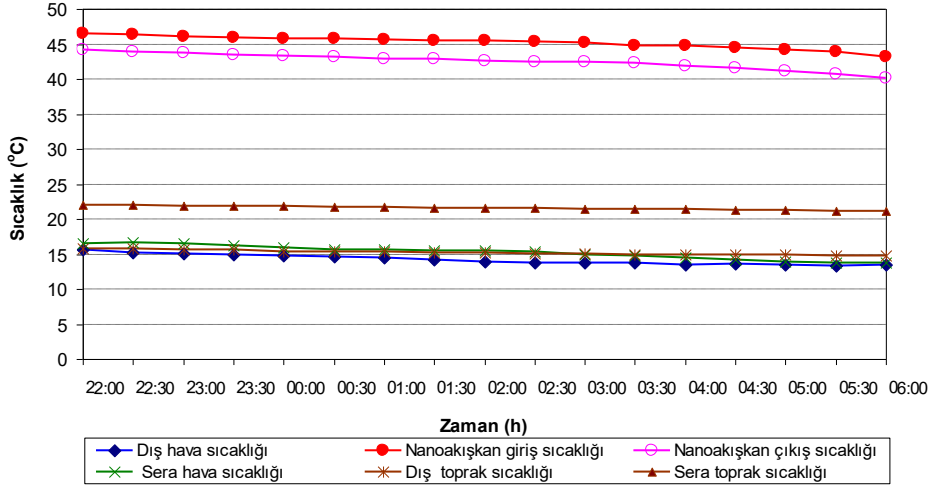
Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), güneş enerjisinden vakum borulu topaclar aracılığı ile ısı enerjisi kazanılarak, ısı depolama ünitesinde ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde (09:00–17:00) hava ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 12’de verilmiştir. Belirtilen dönemde, gündüz sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı 27,82–35,47°C aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise 33,39–47,56°C aralığında değişmiştir. Gündüz sürelerinde, belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda 31,44°C, iç ortamda ise 41,45°C olarak belirlenmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, 75,57–89,79°C, 68,56–85,86°C ve 67,57–78,70°C aralıklarında değişmiştir. Gündüz sürelerinde belirtilen saatler (09:00–17:00) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, 84,68°C, 78,55°C ve 72,71°C olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Gece Dönemi Sıcaklık Değişimi

Su ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) hava, toprak ve su sıcaklıklarının değişimi Şekil 13’de verilmiştir. Isı depolama ünitesinde depolanan ısı enerjisi ile ısınarak seraya giren nanoakışkan sıcaklığı 43,25–46,55°C aralığında değişmiştir (Tablo 16). Sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaşarak taşıdığı ısı enerjisini sera ortamındaki havaya aktararak, seradan çıkan nanoakışkanın sıcaklığı 40,19–44,15°C aralığında değişmiştir. Serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya giren ve seradan çıkan ortalama nanoakışkan sıcaklıkları sırasıyla, 45,25°C ve 42,52°C olarak belirlenmiştir. Seraya giren ve seradan çıkan nanoakışkan sıcaklıkları farkı, 2,40–3,10°C aralığında değişmiş ve ortalama 2,73°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. Nanoakışkan ile ısı depolama yapılan gündüz sürelerinde sıcaklık değişimi



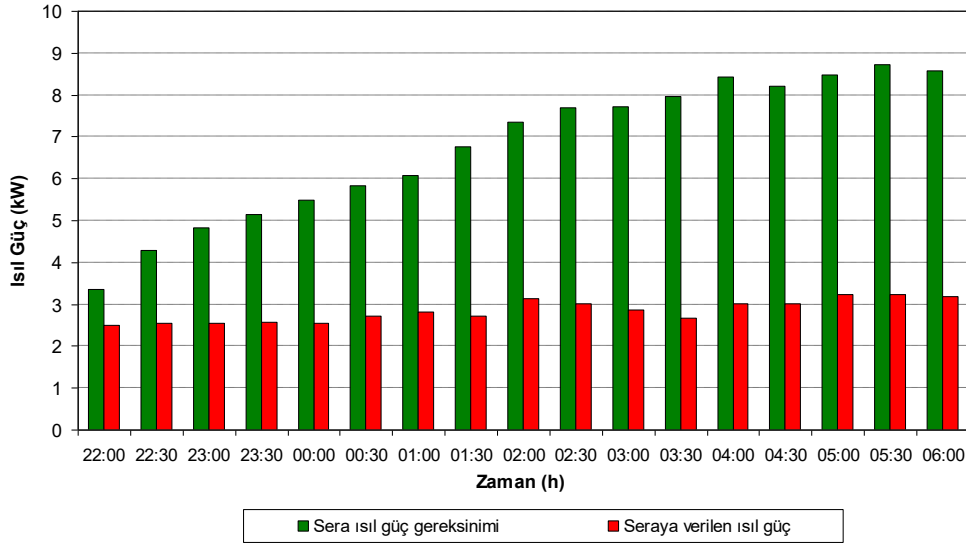
Şekil 13. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde sıcaklık değişimi

Belirtilen dönemde, gece sürelerinde dış ortam hava sıcaklığı $13,39\text{--}15,61^{\circ}\text{C}$ aralığında, sera iç ortamındaki hava sıcaklığı ise $13,75\text{--}16,69^{\circ}\text{C}$ aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte hava sıcaklığı ortalaması dış ortamda $14,21^{\circ}\text{C}$, sera iç ortamında ise $15,26^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan sera ortamı ile dış ortam arasındaki hava sıcaklığı farkı $0,30\text{--}1,56^{\circ}\text{C}$ aralığında değişmiş ve ortalama $1,06^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde toprak sıcaklığı dış ortamda $14,75\text{--}15,81^{\circ}\text{C}$ aralığında, sera iç ortamındaki ise $21,15\text{--}20,00^{\circ}\text{C}$ aralığında değişmiştir. Gece sürelerinde, belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte toprak sıcaklığı ortalaması dış ortamda $15,22^{\circ}\text{C}$, sera iç ortamında ise $21,60^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Sera ısıtma yapılan gece sürelerinde belirtilen saatler ($22:00\text{--}06:00$) arasındaki süreçte, ısı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki su sıcaklıkları sırasıyla, $73,99\text{--}82,35^{\circ}\text{C}$, $69,37\text{--}78,12^{\circ}\text{C}$ ve $68,37\text{--}75,03^{\circ}\text{C}$ aralıklarında değişmiştir. Isı depolama ünitesinin, üst, orta ve alt kısımlardaki ortalama su sıcaklıkları sırasıyla, $77,89^{\circ}\text{C}$, $73,48^{\circ}\text{C}$ ve $71,50^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir.

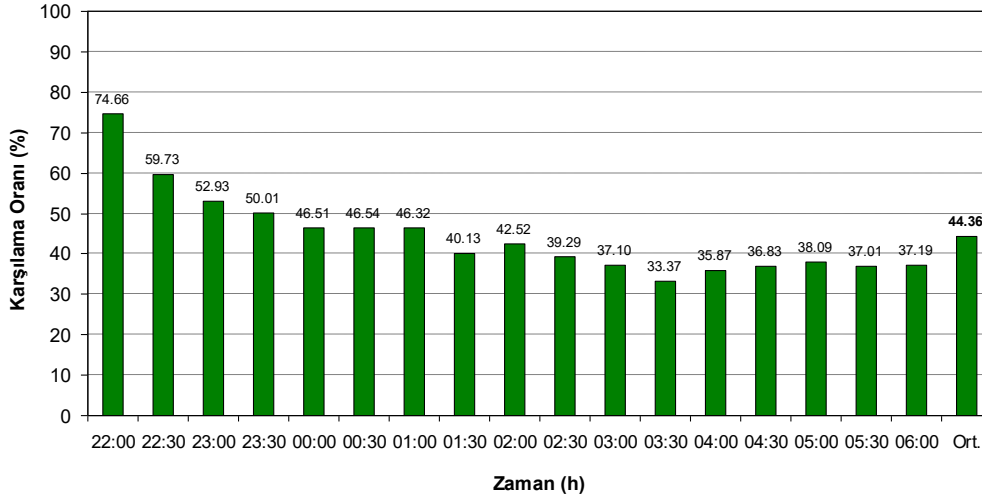
3.2.3. Gece Dönemi Isıl Güç ve Ekserji Değişimi

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde ($22:00\text{--}06:00$) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç değerlerinin değişimi Şekil 14’de verilmiştir. Nanoakışkan ile

Isıtma yapılan gece dönemlerinde sera ısı güç gereksinimi 3,35–8,74 kW aralığında değişmiştir. Isı depolama ünitesinden gelen sıcak nanoakışkanın, sera iç ortamındaki ısıtma borularında dolaştırılarak seraya verilen ısı güç 2,50–3,23 kW aralığında değişmiştir. Serada nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) sera ısı güç gereksinimi ve seraya verilen ısı güç ortalaması sırasıyla, 6,76 kW ve 2,85 kW olarak belirlenmiştir. Nanoakışkan su ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı %33,37–74,66 aralığında değişmiş ve ortalama %44,36 olarak hesaplanmıştır (Şekil 15). Bu dönemde, gündüz sürelerinde güneş ışınım enerjisini vakum borulu toplaçlar ile ısı enerjisine dönüştürüp, ısı depolama ünitesindeki suya aktararak ısı depolama ve gece sürelerinde ısı depolama ünitesi ile sera ortamı arasında sıcak su dolaşımı ile sera ortam havasına ısı güç aktarılması sonucunda, ısı gereksiniminin ortalama %44,36'sı karşılanabilmektedir.. Sera ortamında sıcak nanoakışkan dolaşımı sonucunda, sera ortam havasına aktarılan ısı güç 2,50–3,23kW aralığında değişmesine karşın, sera ortam havasına aktarılan ısı ekseri miktarı 0,28–0,33 kW aralığında değişmiştir.



Şekil 13. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde gece sürelerinde ısı güç değişimi



Şekil 14. Nanoakışkan ile ısıtma uygulamasının sera ısı güç gereksinimini karşılama oranı

Serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00) seraya verilen ısı güç ve ekserji ortalaması sırasıyla, 2,85 kW ve 0,30 kW olarak hesaplanmıştır. Seraya verilen ısı güç/ekserji oranı 10,08–11,10 aralığında değişmiş ve ortalama 10,69 olarak belirlenmiştir. Bu durumda, nanoakışkan ile ısıtılan dönemde gece sürelerinde, ısıtma akışkanı olarak kullanılan nanoakışkan ile sera ortam havasına aktarılan ısı gücün ortalama 10,69'da biri oranında daha az ısı ekserji aktarılabilmektedir.

3.2.4. Yakıt ve Enerji Tasarrufu

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (21 Nisan–9 Mayıs 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam ısı enerjisi gereksinimi ve bu gereksinimi karşılamak için kullanılması gereken doğal gaz ve kömür miktarları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Gereksinimi (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Gereksinimi (kg)	Günlük Toplam Kömür Gereksinimi (kg)
A) Isıtmasız	54,08 kWh	$(54,08 \text{ kWh} / 0,9 = 60,1 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg}) =$ 5,66 kg	$54,08 \text{ kWh} / 0,6 = 90,13 / 7,16 \text{ kWh/kg} =$ 12,58 kg

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde, günlük toplam 8 saatlik süre için toplam ısı enerjisi gereksinimi 54,08 kWh olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu ısı enerjisi gereksiniminin doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması için sırasıyla, 5,66 kg doğal gaz veya 12,58 kg kömür gerektiği hesaplanmıştır.

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde, doğal gaz veya kömür kullanımından yapılacak olan günlük toplam enerji ve yakıt tasarrufu değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Bu dönemde, toplam 8 saatlik ısıtma süresinde 22,8 kWh ısı enerjisi, gündüz döneminde vakum borulu topaclar aracılığı ile güneş enerjiden ısı kazanılarak ısı depolanan ısı depolama ünitesinden, nanoakışkan dolaşımı ile ısı geri kazanılarak sera ortam havasına aktarılmıştır. Günlük toplam 8 saatlik ısı geri kazanma süresinde, ısı depolama ünitesinden sera ortam havasına aktarılan ısı enerjisinin (22,8 kWh), yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumundaki karşılıkları, sırasıyla 4,9 kg doğal gaz veya 11,02 kg kömür olarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle, serada sıcak su ile ısıtma yapılmıyorsa idi, 2,38 kg daha fazla doğal gaz veya 5,30 kg daha fazla kömür kullanılması gerekecek idi. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması durumundaki Tablo 18’de verilen toplam ısı enerjisi ve yakıt gereksinimi değerleri dikkate alınarak, tasarruf oranları; su kullanılarak ısı depolama uygulanıp ısı geri kazanması, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumunda % 42 olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde enerji ve yakıt tasarrufu

Sera Isıtma Yöntemi	Günlük Toplam Isı Enerjisi Kazanımı (kWh)	Günlük Toplam Doğal Gaz Karşılığı (kg)	Günlük Toplam Kömür Karşılığı (kg)
B) Nano akışkan ısıtmalı	$2,85 \text{ kW} \times 8 \text{ h} =$ 22,8 kWh	$22,8 \text{ kWh} / 0,9 = 25,33 \text{ kWh} / 10,6 \text{ kWh/kg} =$ 2,38 kg	$22,8 \text{ kWh} / 0,6 = 38 \text{ kWh} / 7,16 \text{ kWh/kg} =$ 5,30 kg
C) Tasarruf oranı (%) (B×100)/A	$(22,8 \text{ kWh} \times 100) / 54,08 \text{ kWh} =$ %42	$(2,38 \text{ kg} \times 100) / 4,66 \text{ kg} =$ %42	$(5,3 \text{ kg} \times 100) / 12,58 \text{ kg} =$ %42

3.2.5. Karbondioksit Emisyonu Tasarrufu

Nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde (1-31 Mart 2020), ısı depolama ünitesinden ısı geri kazanılarak serada sıcak nanoakışkan ile ısıtma yapılan gece sürelerinde (22:00–06:00), ısıtma yapılan toplam 8 saatlik süre için, günlük toplam CO₂-eş emisyonu ve emisyon tasarrufu oranları Tablo 20’de verilmiştir hesaplanmıştır.

Serada ısı enerjisi gereksiniminin tamamının doğal gaz veya kömür kullanılarak karşılanması durumunda bir günlük ısıtma sunucunda, sırasıyla 14,24 kgCO₂-eş veya 34,68 kgCO₂-eş emisyonu gerçekleşecektir. Gündüzden-geceye güneş enerjisi depolayarak sıcak nanoakışkan ile sera ısıtma yapılması durumunda, doğal gaz veya kömür ile yapılan ısıtma ile karşılaştırıldığında, sırasıyla 8,25 kgCO₂-eş veya 20,05 kgCO₂-eş emisyon tasarrufu sağlanacaktır. Bu durumda, serada ısıtma yapılmaması ve güneş enerjisi depolanarak nanoakışkan ile ısıtma durumundaki Tablo 20’de verilen emisyon değerleri dikkate alınarak, yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılması durumlarına kıyasla emisyon tasarruf oranları; % 42 olarak belirlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Güneş ışınım enerjisini vakum borulu toplaçlar ile ısı enerjisine dönüştürerek, duyulur ısı depolama materyali olarak su kullanılan bir ısı depolama ünitesinde gündüzden-geceye kısa süreli ısı depolayarak, gece dönemlerinde su dolaşımı ile plastik ısıtma boruları aracılığı ile sera ortam havasına ısı geri kazanılan sistemden belirlenen başlıca sonuçlar şunlardır:

- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, sera ısı gereksiniminin karşılanma oranı ortalama %38,45, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %44,36 olarak belirlenmiştir.
- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, ısıtma yapılan gece dönemlerindeki belirtilen sürelerde, ısı güç/ekserji oranı ortalama %9,86 iken, sıcak nanokışkan kullanılan dönemde ortalama %10,69 olarak belirlenmiştir.
- Isıtma akışkanı olarak sıcak su kullanılması durumunda, hıyar verimi ısıtılmayan seraya kıyasla, 393 kg (%34,2 oranında) daha yüksek olarak gerçekleşmiştir.
- Sera ısıtmak için günlük toplam enerji, yakıt ve emisyon tasarrufu; su ile ısıtma yapılan dönemde, % 37,6 olarak belirlenirken, nanoakışkan ile ısıtma yapılan dönemde %42 olarak belirlenmiştir. Bu durum nanoakışkan ile ısı geri kazma etkinliğinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- Su ile ısıtma durumunda, doğal gaz tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 5,84 yıl, kömür tasarrufuna ilişkin geri ödeme süresi 4,47 yıl olarak hesaplanmıştır.

4.2. Öneriler

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerinde, seradan bağımsız durumda tasarılan ısı toplama ve depolama ünitelerinden yararlanılır. Sera örtüsüyle güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisiyle birlikte, aktif ısıtma sistemindeki ısı toplama ünitesiyle toplanılan ısı enerjisi uygun şekilde depolanarak, ısı gereksiniminin önemli bir bölümü karşılanabilir. Bununla birlikte, bu sistemlerdeki özellikle ısı toplama ünitelerinin fazla alan kaplaması, ilk yatırım ve daha sonraki işletme giderlerinin yüksek olması, bu sistemlerin ekonomik uygulanabilirliğini önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Son yıllarda, güneş enerjili aktif ısıtma sistemlerine ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmalarıyla, uygulamada karşılaşılan bu tür sorunların giderilmesine yönelik belirli teknik çözümler sağlanmıştır.

Isı toplama ünitesi olarak kullanılan güneş toplaçları, sera dışına yerleştirilebildiği gibi, sera çatısına da yerleştirilebilir. Toplaçların sera çatısına yerleştirilmesi durumunda sera içerisine ulaşan güneş ışınımı önemli oranda azalır. Bu tip sistemlerde de pasif ısıtma sistemlerindeki gibi; su, çakıl-kırma taş veya tuğla, toprak ve faz değiştiren materyaller (PCM) gibi ısı depolama materyallerinden biri veya bir kaç tanesi birlikte kullanılabilir. Isı depolama ünitesinin boyutları; sera alanı, işletme sıcaklığı, ısı değiştirici tipi ve kullanılan ısı toplama ünitesinin boyutlarına bağlıdır.

Güneş enerjili aktif ısıtma sisteminde ısınan suyun sıcaklığı, seraya gönderilmek için gerekli su sıcaklığından (dağıtım sıcaklığından) daha yüksek olduğunda, sistemde ısınan su serayı ısıtmak için doğrudan kullanılabilir. Sistemde ısınan suyun sıcaklığı dağıtım sıcaklığından daha düşük olduğunda, su dağıtım sıcaklığına ulaşmaya kadar yardımcı ısıtma sistemiyle ısıtılır. Serada dolaşım sonucunda soğuyan suyun sıcaklığı toplaç sıcaklığından daha düşük olduğunda, su toplaçlar içerisinden dolaştırılır. Yardımcı ısıtma sistemi kullanılmaması durumunda, güneş enerjisiyle ısıtılan su serayı ön ısıtma veya sadece düşük sıcaklıklardan koruma amacıyla kullanılabilir. Sistemin çalışma sıcaklığının düşük olduğu bu durumda, güneş toplaçlarından daha yüksek oranda yararlanılabilir. Bu nedenle, yapılan araştırmalarda uygulanan sistemlerin sera ısı gereksinimlerini karşılama oranlarının belirtilmesi yerine, güneş enerjili sistem bulunmayan (kontrol) seraya oranla sıcaklık farkının belirtilmesi daha uygundur.

Güneş enerjili aktif ısıtma sistemleriyle sera ısı gereksiniminin önemli bir bölümü karşılanmakla birlikte, uygulamada bu sistemlerin kullanımında bazı sorunlarla karşılaşılmaktadır. Seraların güneş enerjili aktif sistemler ile ısıtılması konusunda yapılacak olan araştırma ve geliştirme çalışmalarının aşağıda belirtilen konulara yönlendirilmesi, bu sorunların giderilmesine katkı sağlayacaktır:

- Isı toplama ünitesi olarak özellikle soğurucu yüzeyi cam malzeme ile örtülü toplaçların kullanılması durumunda, sistemin ilk yatırım maliyeti yüksektir. Maliyetin azaltılması için daha ucuz olan değişik



tip plastik toplaçlardan yararlanılmakla birlikte, plastik toplaçlar kolay bir şekilde yıprandığından bakım giderleri yükselmektedir.

- Güneş toplaçlar sera dışına yerleştirildiğinde fazla alan kapladığından, sera iç ortamına veya çatısına yerleştirilmektedir. Toplaçların sera çatısına yerleştirilmesi durumunda, sera içerisine ulaşan güneş ışınımı önemli oranda azalır. Bu nedenle, fotosentez için etkin ışınımı (PAR) sera ortamına geçiren toplaçlardan yararlanılmalıdır.
- Güneş enerjili ısıtma sisteminin yardımcı ısıtma sistemiyle birlikte kullanılması durumunda, bazı teknik sorunlarla karşılaşılabilir. Yardımcı ısıtma sisteminin uygun olmaması durumunda, güneş enerjili sistemin yararlanılabilirliği önemli oranda azalır. Bu sorunun giderilmesi için, sistemde bir ısı pompasından yararlanılabilir.
- Yardımcı ısıtma sistemiyle birlikte, güneş enerjili ısıtma sistemlerinin önemli birer alt ünitesi olan, ısı toplama ve depolama ünitesi kapasitelerinin belirlenmesine ve sistemin etkin olarak çalışma ve kontrolüne gerekli önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1]. POPOVSKİ, C., "Greenhouse Energetics. Compact Course on Greenhouse Energetics", Universities at: Adana and Antalya, 1988.
- [2] SANTAMOURİS, M.I. 1993. "Active Solar Agricultural Greenhouses: The State of Art", Solar Energy, 14, 19-32.
- [3] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2020, Ankara.
- [4] ÖZTÜRK, H.H., "Sera İklimlendirme Tekniği", Ankara: Hasad Yayıncılık, Ankara, 2008.
- [5] ÖZTÜRK, H.H., BAŞÇETİNÇELİK, A., "Effect of Thermal Screen on The Overall Heat Loss Coefficient in Plastic Tunnel Greenhouses", Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 27, 123-134, 2003.
- [6]. ÖZTÜRK, H.H.. "Antalya İklimi Koşullarında Sera Isıtma Amacıyla Güneş Enerjisinin Duyulur Isı Olarak Depolanması İçin Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi", Tesisat Mühendisliği, 129, 38-50, 2012.
- [7] IPCC., "Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

1966 yılı İzmir doğumludur. 1988 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1991 yılında Yüksek Mühendis ve 1998 yılında Doktor unvanını almıştır. 1989-1998 Yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji kullanımı, sera iklimlendirme tekniği, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji verimliliği ve ısı depolama tekniği konularında çalışmaktadır.

Bülent AYHAN

1976 yılı Malatya doğumludur. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünü bitirmiştir. Aydın Aydın Menderes Üniversiteden 2014 yılında Yüksek Mühendis, unvanını almıştır. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi'nde doktora eğitimine başlamıştır. 1995 Yılından itibaren Tarım ve Orman Bakanlığının çeşitli birimlerinde görev yapmıştır. Halen Adana Ziraat Üretim İşletmesi Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğünde Müdür Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.

TÜRKİYE'DE ORÇ DESTEKLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN ORGANİK AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Comparison of Thermodynamic Performance of Organic Fluids Used in ORC Supported Geothermal Power Plants in Turkey

Mehmet Aksoy
Sadık Ata
Ali Kahraman
Remzi Şahin

ÖZET

Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), düşük sıcaklık aralığında su yerine organik akışkanın kullanıldığı bir elektrik üretim sistemidir. ORÇ, elektrik üretmek için atık ısıyı değerlendirmek amacıyla santrallerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de Aydın ve Denizli illeri çevresinde bulunan santrallerde kullanılan akışkanların ORÇ modelinin termofiziksel ve termodinamik performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Jeotermal uygulamaları kapsamında ısı kaynağı sıcaklığı 110 °C olarak belirlenmiştir. Buharlaşma sıcaklığının 65-100 °C arasında değişmesinin sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Performans parametreleri olarak ısı verim, türbin işi, ekserji verimi, toplam tersinmezlik ve giren ısı ORÇ için tespit edilmiştir. Termodinamik analizi Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda ısı verim yönünden en yüksek %11,34 ve ekserji verimi %56,90 olarak kuru akışkanlardan n-pentane, toplam tersinmezlik miktarı en düşük 17,99 kJ/kg olarak R134a akışkanında olduğu görülmüştür. ORÇ'nin termodinamik analizinin EES yazılımıyla farklı akışkanlar kullanılarak oluşturulan modellerde başarıyla uygulanabileceğini ve akışkanların sistem parametreleri üzerindeki etkisini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), Jeotermal enerji santrali, Organik akışkan, Termodinamik performans.

ABSTRACT

Organic Rankine Cycle (ORC) is an electricity generation system where organic fluid is used instead of water in the low temperature range. ORC is used in power plants to utilize waste heat to generate electricity. In this study, thermophysical and thermodynamic performance comparisons of the fluid ORC model used in plants located around Aydın and Denizli in Turkey are made. Within the scope of geothermal applications, the heat source temperature has been determined as 110 °C. The effect of changing the evaporation temperature between 65-100 °C on system performance was determined. Thermal efficiency, turbine work, exergy efficiency, total irreversibility and heat input were determined for ORC as performance parameters. Thermodynamic analysis was performed using Engineering Equation Solver (EES). As a result of this study, it was observed that the highest thermal efficiency was 11,34% and exergy efficiency was 56,90% in dry fluids, n-pentane, and the lowest total irreversibility was 17,99 kJ/kg in R134a fluid. This study showed that the thermodynamic analysis of the ORC can be successfully applied in models created using different fluids with the EES software and the effect of fluids on system parameters.

Key Words: Organic Rankine Cycle (ORC), Geothermal power plant, Organic fluid, Thermodynamic performance.

1. GİRİŞ

Türkiye’de elektrik tüketimi son yıllarda sürekli artış göstermektedir, bu artış karşılanması gereken büyük bir enerji talebi oluşturmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve elektronik cihaz kullanımının artması güç tüketimini de artırmıştır. Elektrik üretiminin pek çok yolu vardır, son yıllarda ülkemizde yaygın olarak kullanılan jeotermal santraller, sıcak suyun enerjisinin yer altı kaynaklarından alıp akışkanlara aktarmakta, daha sonra buhar ve türbin kanatlarını döndürerek elektrik üretmektedir.

Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), bir ısı kaynağından alınan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Bu ısı kaynakları; güneş, jeotermal, biyokütle veya atık ısılardan oluşabilir. Özellikle biyokütle ve jeotermal alanında önemli büyüme fırsatlarına ve ısı geri kazanımı, atığın enerjiye dönüşümü ve güneş enerjisi uygulamalarındaki üstün işlevlerine sahiptir. Sistemi "organik" olarak adlandırmakla klasik Rankine çevriminden ayırmak arasındaki en büyük fark, çevrimde su buharı yerine organik akışkanın tercih edilmesidir. ORÇ için ideal akışkanlar genellikle sıfır veya pozitif eğimli "izantropik" veya "kuru akışkanlar" olup aşırı ısıtılmaları gerekmez. Klasik Rankine çevrimi aşırı ısınma gerektirir, bu nedenle türbin giriş sıcaklığı ORÇ sisteminden daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı, organik akışkanların kullanımı, türbin kanatlarının üretimi için sadece yüksek ısı direnci gereksinimlerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda maliyeti de daha düşük bir seviyeye çeker.

Literatüre incelendiğinde ORÇ analizi ve akışkan seçimi konusunda farklı çalışmalar olduğu görülmektedir. Roy [1], Farklı organik akışkanlarla tasarlanmış ORÇ sistemlerinde termodinamik analiz ve parametre optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonuçları, sabit 277 °C ısı kaynağı sıcaklığı için R123 sıvısının en yüksek verime ulaştığını ve aynı zamanda en az tersinmezliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Velez [2], Maksimum 150 °C sıcaklığa sahip su, belirli hidrokarbonlar ve soğutucular gibi farklı sıvılar üzerinde çalışmışlardır. Araştırmalarında, basınç oranı ve türbin giriş sıcaklığı arttıkça sistem verimliliğinin arttığına işaret etmişlerdir. Maksimum %9 verimliliğe ulaşmışlardır. Javanshir ve Sarunac [3], ORÇ sistemde kullanılan organik akışkanları karşılaştırılmıştır. Akışkan tipinin türbin giriş sıcaklığının ısı verimine etkisinin çok önemli olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, izantropik akışkanın etkinliğinin kuru akışkan ve ıslak akışkandan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Wang vd. [4], hidrofloroeterleri kullanarak tasarlanan ORÇ sisteminin termodinamik analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Analizde EES programını kullanmışlardır. HFE7000, HFE7100 ve HFE7500 organik akışkanları, türbin giriş sıcaklığının değişmesi ile birinci-ikinci yasa verimi, net güç ve türbin boyut faktörü bakımından karşılaştırılmıştır.

Uusitalo vd. [5], ORÇ sisteminin termodinamik performansının belirlenmesinde organik akışkan türünün ve akışkanın termodinamik özelliklerinin etkisini incelediler. Organik akışkanlar, hidrokarbonlar, florokarbonlar ve siloksanlar olarak gruplandırılmıştır. Akışkanların kritik sıcaklığı ve molar kütlelerinin sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Çalışma sonunda, buhar basıncının akışkanın kritik basıncından daha düşük olması durumunda, kritik sıcaklığı yüksek bir akışkan için de yüksek verim alınabileceği belirtilmiştir. Ancak yüksek kritik sıcaklıkların türbinlerde yüksek genişleme oranlarına neden olduğu gözlenmiştir.

Ergün [6], jeotermal kaynaklı bir ORÇ santralının termodinamik analizlerini yapmıştır. Yapılan termodinamik analizi sonucunda, sistemdeki en yüksek kayıp değeri 24410 kW ile kondenserde olduğu belirlenmiştir. Sistemin ekserji analizine göre ise en yüksek ekserji kaybı, 3930 kW ile evaporatörde tespit edilmiştir. Sistemin ısı ve ekserji verimi sırasıyla %12 ve %49 olarak hesaplanmıştır.

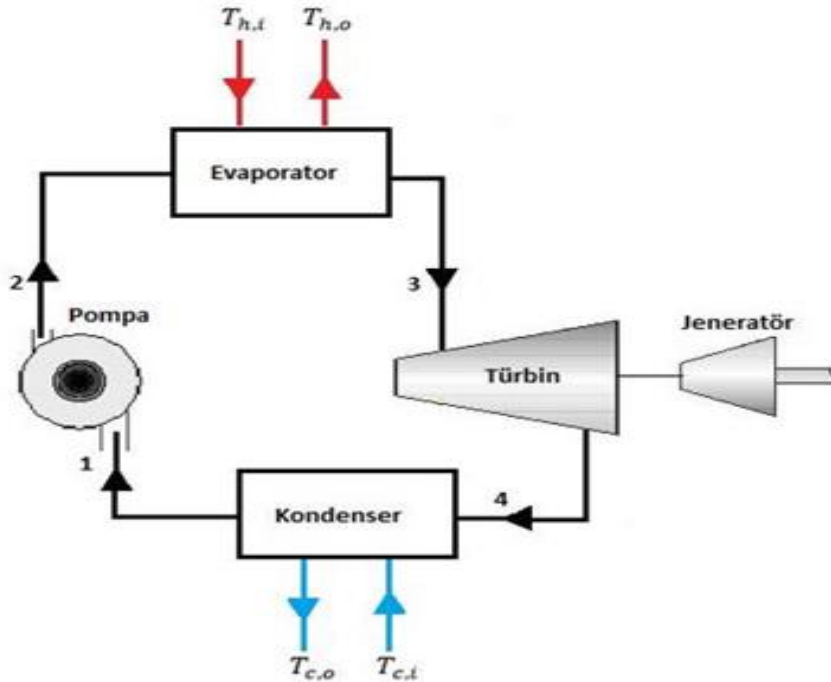
Eyidoğan [7], Elektrik ve ısı (sıcak su) üretmek için biyokütleden elde edilen termal yağın kullanıldığı ORÇ sisteminde enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. ORÇ sisteminin ekipmanlarından evaporatör, kondenser, türbin ve rejeneratörün enerji ve ekserji analizleri altı farklı çalışma koşulu için yapılmıştır. Araştırmada ayrıca evaporatör ve kondenser basıncının sistemin tam yük ve kısmi yük altında ısı verimi ve ekserji verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye’de Aydın ve Denizli’de bulunan ORÇ destekli jeotermal enerji santrallerinde çok fazla kullanılan organik akışkanların performansları karşılaştırılmıştır. ORÇ’nin termodinamik modellemesi ve analizi Engineering Equation Solver (EES) ile belirlenmiştir. EES yazılımının kullanılmasının sebebi, binlerce birleştirilmiş doğrusal olmayan cebirsel ve diferansiyel denklemi sayısal olarak çözebilen genel bir denklem çözme programıdır. Program ayrıca diferansiyel ve integral denklemleri çözmek, optimizasyon yapmak, belirsizlik analizleri sağlamak, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yapmak, birimleri dönüştürmek, birim tutarlılığını kontrol etmek ve yayın kalitesinde çizimler oluşturmak için kullanılabilir.

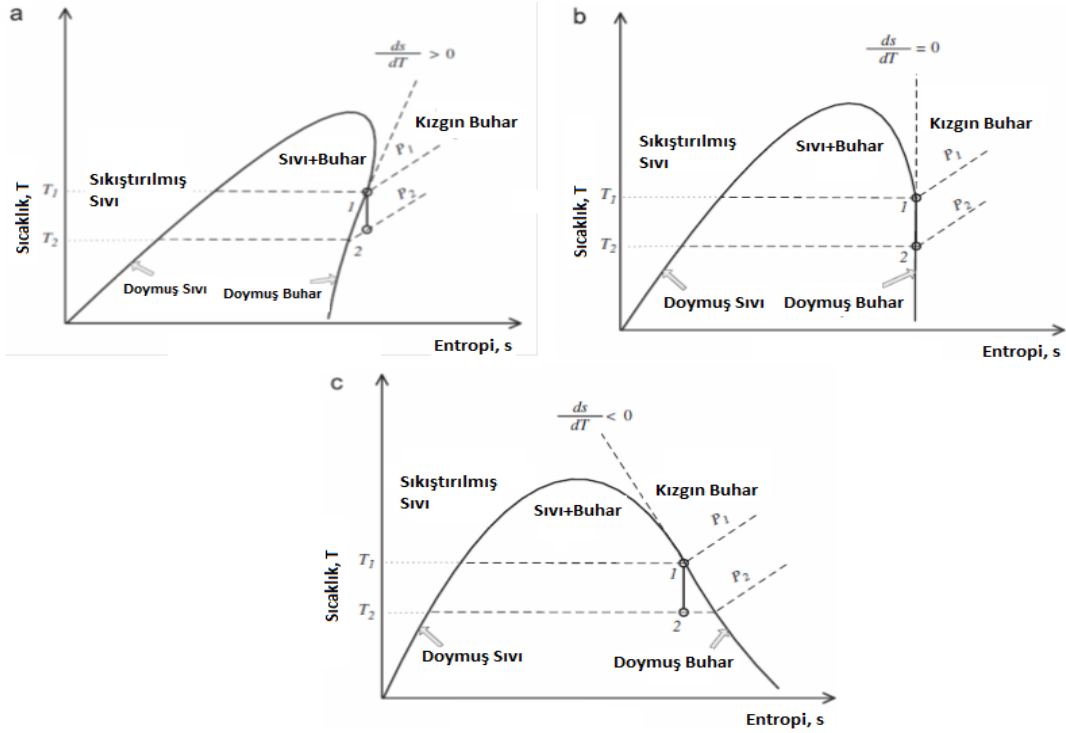
EES’nin önemli bir özelliği, denklem çözme yeteneği ile kullanılmasına izin verecek şekilde yüzlerce madde için sağlanan yüksek doğruluklu termodinamik ve taşınım özelliği veri tabanıdır. Kütüphanesinde yüzlerce farklı organik akışkanla birlikte kullanım kolaylığı ve basit arayüzü tercih sebebi olmuştur. Termodinamik analiz için gerekli denklemlerin sisteme girilmesiyle, aynı anda birçok parametreye meydana gelen değişikliklere yanıt olarak istenen sonuçlar elde edilebilir. EES sayesinde farklı akışkan kullanımının sistem performansına etkisini görmek kolaydır. EES yazılımının kütüphane ve denklem çözme işlevini kullanarak termodinamik modeller oluşturulabilir.

ORÇ’de n-bütan, n-pentane ve R134a akışkanların sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Şekil 1’de ORÇ çalışma prensibi gösterilmiştir. Organik akışkan ilk olarak pompada basınçlandırıldıktan sonra evaporatörden geçerken sıcak kaynak üzerinden ısı transferi gerçekleşip sıcaklığı arttırılmaktadır. Buharlaşan akışkan, yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta türbin kanatlarına çarparak kanatçıkları döndürür ve türbine bağlı bir jeneratör vasıtasıyla şafttan elektrik enerjisi üretir. Türbinden çıkan akışkan kondenserden geçerek yoğunlaştırılır ve çevrim tamamlanır.



Şekil 1. İdeal Rankine Çevrimi

Bu çalışmada ORÇ'de farklı akışkanların sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Akışkanlar doymuş buhar eğrisinin eğimine göre Şekil 2'de gösterildiği gibi kuru, izantropik ve ıslak olmak üzere üç grupta incelenir. Akışkan tipini önemli kılan en önemli etken türbinde akışkanın genişlemesinden sonra kuruluk oranının akışkanın tipine göre değişmesidir. Akışkanların T-s diyagramlarındaki doyma eğrilerinin eğimi pozitif olduğunda akışkan kuru, negatif olduğunda ıslak ve sonsuz olduğunda ise izantropik olarak isimlendirilir.



Şekil 2. Organik Akışkanların T-s Diyagramında Gösterimi a) Kuru, b) İzantropik, c) Islak [8].

Yapılan çalışmalar, kuru ve izantropik akışkanların ORÇ sistemleri için daha uygun olduğunu göstermiştir. Türbinde genişleme sonunda akışkanın ıslak buhar fazına geçmesi türbine zarar verir. Bu durumu engellemek amacıyla ıslak akışkanlar kullanılan sistemlerde aşırı kızdırma işlemi yapılmalıdır. Fakat kuru veya izantropik akışkanlarda türbinde genişleme esnasında ıslak buhar fazına geçme durumu oluşmamaktadır. Kuru akışkanlarda genişleme sonrasında akışkan fazının kızgın buhar olması, ıslak buhar içermemesi sistem bileşenlerinin en önemlilerinden biri olan ve su moleküllerinden dolayı hasar görebilen türbin kanatçıklarının aşınmasını önüne geçer [9].

Organik akışkanlar kuru, ıslak olmak üzere iki farklı kategori altında sınıflandırılarak performansı karşılaştırılmıştır. Üç farklı akışkanın performansı aynı tasarım parametreleri altında belirlenmiştir. Bu akışkanlar aşağıda belirtilmiştir.

- Kuru akışkanlar: n-bütan, n-pentane
- Islak akışkanlar: R134a

ORÇ'nin jeotermal ısı kaynaklı uygulamaları kapsamında ısı kaynağı sıcaklığı sabit 110 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma suyu sıcaklığı ise 25 °C, türbin ve pompa izantropik verimleri de %75 olarak ele alınmıştır. Ölü nokta basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 100 kPa ve 25 °C olarak kabul edilmiştir. Bu bölümde yapılan diğer kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- Bütün prosesler kararlı şartlardadır.
- Evaporatör ve kondenserdeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir. Boru hatlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Analizde kullanılan tüm bileşenler adyabatik olarak kabul edilmiş ve yüzey ile çevre arasında bir ısı transferinin olmadığı varsayılmıştır.

- Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

ORÇ'nin termodinamik analizinde kullanılan denklemler aşağıda belirtilmiştir.

Aşağıdaki çizelgede verilen denklemlerde; η_t ve η_p sırasıyla türbin ve pompanın izantropik verimleri, $T_{h,i}$ ve $T_{h,o}$ sırasıyla ısı kaynağı giriş-çıkış; $T_{c,i}$ ve $T_{c,o}$ ise sırasıyla soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıklarıdır. Tablo 1'de verilen T_h ve T_c ise denklem (1) ve (2)'de tanımlanmıştır.

$$T_h = (T_{h,i} - T_{h,o}) / \ln(T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$T_c = (T_{c,i} - T_{c,o}) / \ln(T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Tablo 1. ORÇ Termodinamik Analiz Bağintıları

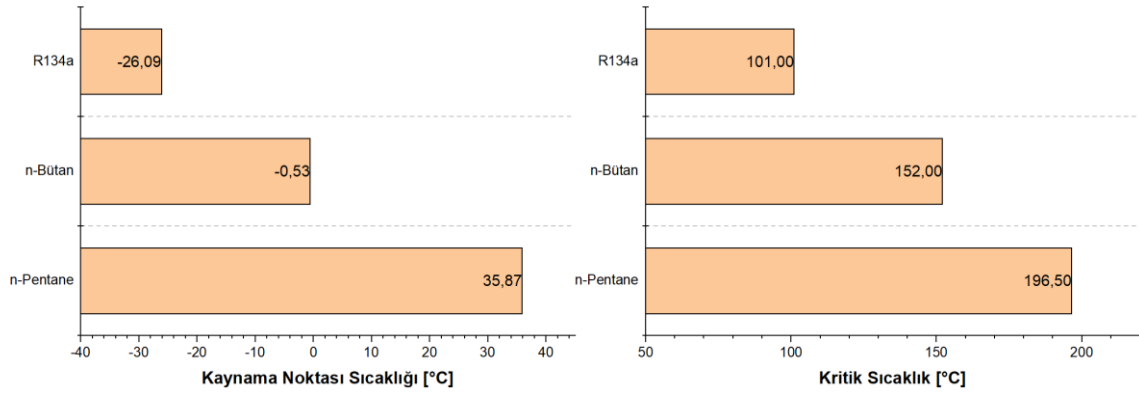
Bileşenler	Enerji Analizi	Ekserji Analizi
Pompa	Pompa İşi (kJ/kg) $w_p = (h_2 - h_1) = (h_{2s} - h_1) / \eta_p$	Pompa Tersinmezliği (kJ/kg) $i_p = T_0(s_2 - s_1)$
Evaporatör	Evaporatör ısı girdisi (kJ/kg) $q_e = (h_3 - h_2)$	Evaporatör Tersinmezliği (kJ/kg) $i_e = T_0[(s_3 - s_2) - (h_3 - h_2) / T_h]$
Türbin	Türbin İşi (kJ/kg) $w_t = (h_3 - h_4) = (h_3 - h_{4s}) \eta_t$	Türbin Tersinmezliği (kJ/kg) $i_t = T_0(s_4 - s_3)$
Kondenser	Kondenserde Atılan Isı Miktarı (kJ/kg) $q_c = (h_4 - h_1)$	Kondenser Tersinmezliği (kJ/kg) $i_k = T_0[(s_1 - s_4) + (h_4 - h_1) / T_c]$
Sistem	Net İş (kJ/kg) $w_{net} = q_e - q_c$	Toplam Tersinmezlik (kJ/kg) $i_{Toplam} = i_p + i_e + i_t + i_c$
	Isıl Verim $\eta_{Isul} = w_{net} / q_e$	Harcanan Ekserji (kJ/kg) $e_{harcanan} = [1 - T_0 / T_H] q_e + w_p$
		Ekserji Verimi $\eta_{II} = 1 - i_{Toplam} / e_{harcanan}$

Bu çalışmanın amacı ORÇ sisteminde kuru ve ıslak akışkanların sistem parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek, akışkanların sistem üzerindeki termodinamik etkilerini karşılaştırmaktır.

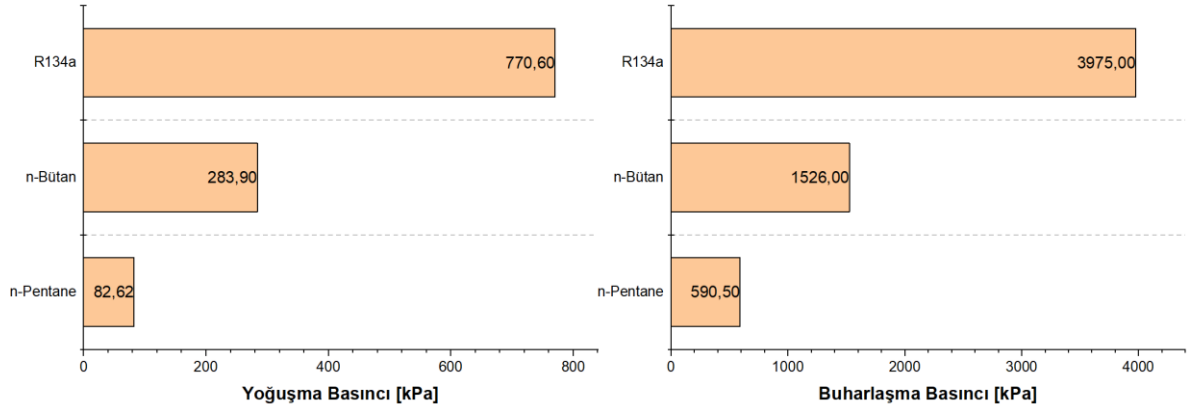
3. BULGULAR

3.1. Organik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 3 ve Şekil 4'de akışkanların termofiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Grafik incelendiğinde n-pentane diğer akışkanlara göre daha yüksek kaynama noktası ve kritik sıcaklığa sahip olduğu görülmektedir. En düşük kaynama noktası sıcaklığı ise R134a'da, en düşük kritik sıcaklık ise yine R134a'da görülmüştür. Tüm akışkanların 30 °C'ye karşılık gelen yoğunlaşma basınçları ile 100 °C'deki buharlaşma basınçları incelendiğinde n-pentane'in düşük basınç değerlerine sahip olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 3. Akışkanların kaynama noktası sıcaklığı ve kritik sıcaklık değerleri karşılaştırılması



Şekil 4. Akışkanların yoğuşma ve buharlaşma basıncı karşılaştırılması

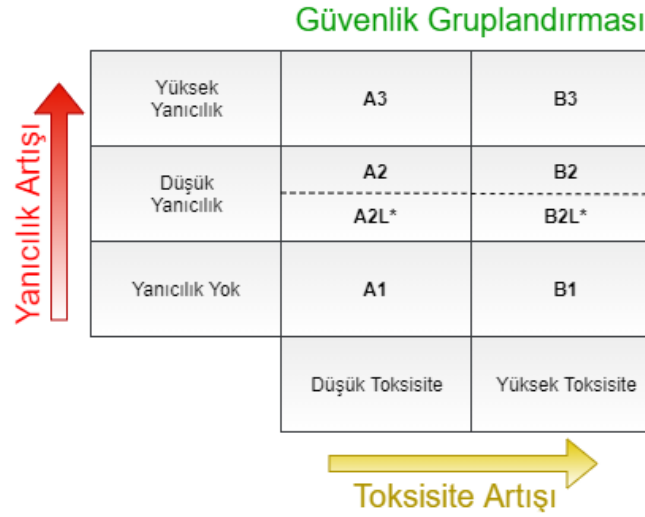
3.2. Organik Akışkanların Çevresel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tablo 2'de jeotermal santrallerde bulunan ORÇ sisteminde kullanılan organik akışkanların çevresel özellikleri karşılaştırılmıştır. ODP (Ozon Delme Potansiyeli) 3 akışkan için 0 olduğu ve GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) değerinin en yüksek R134a akışkanında olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Akışkanların Çevresel Özellikleri

Akışkanlar/ Özellikler	n-pentane	n-bütan	R134a
ASHRAE standartları güvenlik sınıfı	A3	A3	A1
ODP	0	0	0
GWP	20	20	1430

Bu bölümde ORÇ tasarımında kullanılan akışkanların çevresel özellikleri özellikleri kapsamında GWP ve ASHR güvenlik sınıfı belirtilmiştir. ASHR güvenlik sınıfına dair gruplandırma da Şekil 5'de verilmiştir.



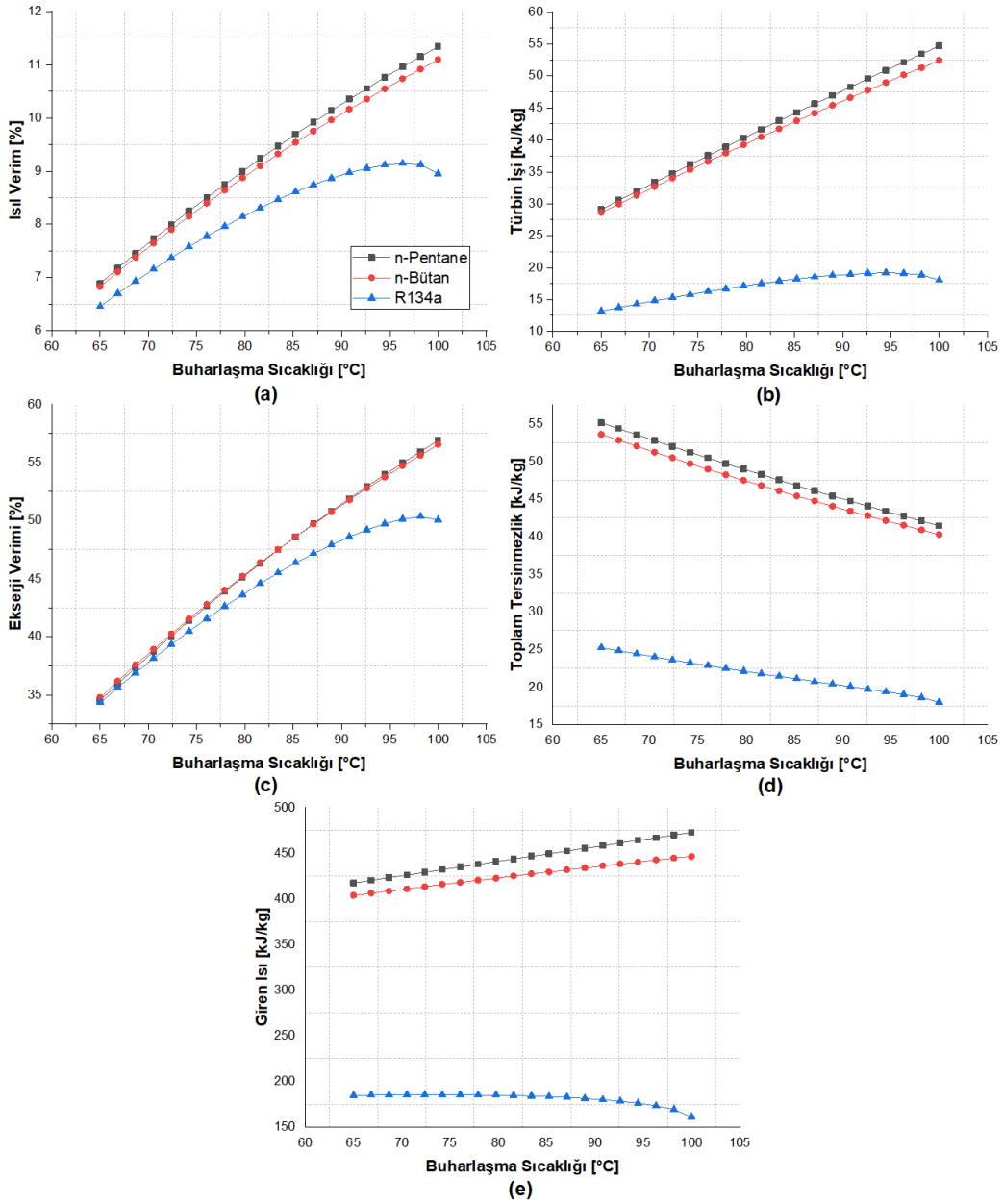
Şekil 5. Akışkanların çevresel özelliklerini belirleyen güvenlik gruplandırması

*A2L ve B2L düşük yanıcılık değeri olan ve maksimum yanma hızı 10 cm/s olan akışkanları ifade etmektedir.

3.3. Organik Akışkanların Termodinamik Performanslarının Belirlenmesi

Bu bölümde kuru ve ıslak akışkanların ORÇ performansına etkisi belirlenmiştir. Performans parametreleri ısı verim, türbin işi (kJ/kg), ekserji verimi ve toplam tersinmezlik (kJ/kg) olarak belirlenmiştir. Isı kaynağı sıcaklığı jeotermal uygulamaları kapsamında 110 °C olarak belirlenmiştir. Buharlaşma sıcaklığının 65-100 °C arasında değişmesinin sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Şekil 6'da kuru ve ıslak akışkanların termodinamik performansları karşılaştırılmıştır. Isıl verim ve ekserji verimi incelendiğinde en yüksek değerler n-pentane akışkanında elde edilmiştir. Türbin işi incelendiğinde n-pentane ve n-bütan yakın değerlere sahipken R134a'nın düşük değerlerde kaldığı belirlenmiştir. Toplam tersinmezlikler karşılaştırıldığında ise en düşük değer R134a'da olduğu görülmüştür. Giren ısı değerleri karşılaştırıldığında R134a akışkanının diğerlerine göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Akışkanların termodinamik performanslarının karşılaştırılması a) Isıl Verim, b) Türbin İşi, c) Ekserji Verimi, d) Toplam Tersinmezlik, e) Giren Isı

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye’de Aydın ve Denizli’de bulunan jeotermal enerji santrallerinde kullanılan organik akışkanlar termodinamik ve termodinamik performansları açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede kuru ve ıslak akışkanlar kullanılmıştır. Kuru akışkanlardan; n-bütan, n-pentane akışkanları, ıslak akışkanlardan ise; R134a akışkanı ısı verim, türbin işi, ekserji verimi ve toplam tersinmezliklerine göre karşılaştırılmıştır. Üç farklı akışkan için EES yazılımı üzerinden termodinamik model oluşturulmuş ve giriş parametreleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda en yüksek ısı verime (%11,34) n-pentane akışkanında ulaşıldığı görülmüştür. En yüksek türbin işi (54,72 kJ/kg) ve ekserji verimi (%56,90) ile yine n-pentane

akışkanında, en düşük toplam tersinmezlik miktarı (17,99 kJ/kg) ise R134a akışkanında olduğu görülmüştür. Giren ısı değeri (161,2 kJ/kg) olarak R134a akışkanında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3'de kuru ve ıslak akışkan gruplarının termodinamik performans karşılaştırmasında 100 °C buharlaşma sıcaklığı için öne çıkan akışkanın n-pentane olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 100 °C buharlaşma sıcaklığı için akışkanların termodinamik performans sonuçları

Performans Kriteri/Akışkan	Giren Isı (kJ/kg)	Türbin işi (kJ/kg)	Isıl verim (%)	Toplam tersinmezlik (kJ/kg)	Ekserji verimi (%)
n-pentane	472,70	54,72	11,34	41,44	56,9
n-bütan	446,50	52,42	11,09	40,29	56,54
R134a	161,20	18,03	8,95	17,99	50,05

Bu çalışmada jeotermal santrallerde kullanılan ORÇ'de akışkan seçiminin önemi belirtilmiş olup; farklı türden akışkanların birbiri ile termodinamik ve termodinamik bakımdan karşılaştırılmışlardır. Bu çalışmada, EES yazılımıyla tasarlanan termodinamik model ile, aynı giriş parametrelerinde farklı akışkan tiplerinin analizinin başarıyla yapılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] J.P. Roy, M.K. Mishra, A. Misra, Performance analysis of an Organic Rankine Cycle with superheating under different heat source temperature conditions, *Applied Energy*. 88 (2011) 2995–3004. doi:10.1016/j.apenergy.2011.02.042.
- [2] F. Vélez, J.J. Segovia, M.C. Martín, G. Antolín, F. Chejne, A. Quijano, Comparative study of working fluids for a Rankine cycle operating at low temperature, *Fuel Processing Technology*. 103 (2012) 71–77. doi:10.1016/j.fuproc.2011.09.017.
- [3] A. Javanshir, N. Sarunac, Thermodynamic analysis of a simple Organic Rankine Cycle, *Energy*. 118 (2017) 85–96. doi:10.1016/j.energy.2016.12.019.
- [4] H. Wang, H. Li, L. Wang, X. Bu, Thermodynamic Analysis of Organic Rankine Cycle with Hydrofluoroethers as Working Fluids, *Energy Procedia*. 105 (2017) 1889–1894. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.554.
- [5] A. Uusitalo, J. Honkatukia, T. Turunen-Saaresti, A. Grönman, Thermodynamic evaluation on the effect of working fluid type and fluids critical properties on design and performance of Organic Rankine Cycles, *Journal of Cleaner Production*. 188 (2018) 253–263. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.228.
- [6] A. Ergün, Organik Rankine Çevrimi Prensibine Göre Çalışan Bir Jeotermal Elektrik Santralinin Termoekonomik Analizi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
- [7] M. Eyidoğan, Organik Rankine Çevrimli Güç Üretim Sisteminin Enerji Ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
- [8] J. Bao, L. Zhao, A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 24 (2013) 325–342. doi:10.1016/j.rser.2013.03.040.
- [9] İ. Günaydın, 1,5 kW Gücünde Organik Rankine Çevriminin Parametrik Tasarımı Termodinamik Analizi Prototip İmalatı ve Testi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AKSOY

1997 yılı Konya doğumludur. 2020 yılında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yılda Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansına başlamıştır. Termodinamik tabanlı sistemlerde optimizasyon ve makine öğrenmesi konularında çalışmaktadır.

Sadık ATA

2013 yılında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını, 2020 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2013-2019 yılları arasında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi, 2019-2020 yılları arasında KTO Karatay Üniversitesi Ticaret ve Sanayi Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programında öğretim görevlisi, 2020 yılı Temmuz itibari ile KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Isıl sistemlerin tasarımı ve termodinamik optimizasyonu konularında çalışmaktadır.

Ali KAHRAMAN

1993 yılında Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisansını tamamlayarak Makine Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 1997 yılında Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi görevinden ayrılarak Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2001-2002 yılları arasında doktora tez çalışmasının deneysel bölümünü yapmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Lehigh Üniversitesi, Makine Mühendisliği ve Mekanik Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında çalıştı. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamladı. 2002-2012 yılları arasında Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yaptı. 2012-2014 yılları arasında Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak çalıştı. 2014 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesine geçerek, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde doçent olarak görev yaptı. 2017 yılında aynı bölüme Profesör olarak atandı. Akışkanlar Mekaniği ve Enerji Teknolojileri alanında ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmaları bulunmaktadır.

Remzi ŞAHİN

1987 yılında Birzeit Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Orta Doğu Teknik Üniversitesinden 1992 yılında yüksek mühendis, 2001 yılında doktor unvanını almıştır. 1990-1997 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 1997-2012 yılları arasında Türk Traktör ve Ziraat Makinaları Fabrikası A.Ş.'de AR-GE mühendisi olarak çalışmıştır. 2012 yılından itibaren KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji sistemleri ve içten yanmalı motorlar konularında çalışmaktadır.

JEOTERMAL ENERJİ DESTEKLİ KOMBİNE BİR ÇEVİRİM İLE GÜÇ, HİDROJEN VE SICAK SU ÜRETİMİNİN TASARLANMASI VE TERMODİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ

Design And Thermodynamic Performance Analysis Of A Geothermal Energy Based Combined Plant For Production Of Power, Hydrogen And Hot Water

Fatih Yılmaz

ÖZET

Son yıllara, küresel ısınma gibi çevresel sorunların ortaya çıkması ile yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji dönüşüm sistemlerinin önemi artmıştır. Tasarlanan bu çalışmada, teorik olarak jeotermal enerji destekli kombine bir çevrimin güç, hidrojen ve sıcak su üretimi için, tasarımı ele alınmış ve ayrıca termodinamiğinin birinci ve ikinci yasalarına göre kapsamlı bir parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yaklaşık 160-220 °C'de jeotermal çıkış sıcaklığında flaş-binary bir sistem transkritik CO₂ akışkanlı güç üretim çevrimi ile entegre edilerek termodinamik performansı incelenmiştir. Tüm sistem ve alt sistemlerin enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve ekserji yıkım oranları detaylı şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen elektriksel gücün bir kısmı ile PEM elektrolizde hidrojen üretimi de incelenmiştir. Kullanım sonrasında yüksek sıcaklıkta olan jeotermal akışkan, yer altına gönderilmeden önce ısıtma amacı için sıcak su üretiminde kullanılarak, tasarlan jeotermal enerji destekli kombine çevrimden daha yüksek oranda verimlilik amaçlanmıştır. Son olarak, tasarlanan bu kombine çevrim ile tekli üretim (sadece güç) çevriminin performans bakımından karşılaştırılması gerçekleştirilerek grafiksel olarak sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre tüm sistemin enerji ve ekserji verimi %29.20 ve %25.32 olarak belirlenmiştir. Toplam ekserji yıkımı 1116 kW olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, jeotermal, termoelektrik, multijenerasyon.

ABSTRACT

In recent years, the importance of renewable and sustainable energy conversion systems has increased with the emergence of environmental problems such as global warming. In this modeled study, the design of a theoretically geothermal energy supported combined cycle for power, hydrogen and hot water production is discussed and a comprehensive parametric analysis is carried out according to the first and second laws of thermodynamics. In this study, the thermodynamic performance of a flash-binary system at a geothermal outlet temperature of approximately 160-2200 °C is investigated by integrating it with a transcritical CO₂ fluid power generation cycle. The energy efficiency, exergy efficiency and exergy destruction rates of all systems and subsystems are investigated in detail. In addition, hydrogen production in PEM electrolysis with some of the obtained electrical power is also studied. By using the geothermal fluid, which is at high temperature after use, in the production of hot water for heating purposes before being sent underground, a higher efficiency than the designed geothermal energy supported combined cycle is aimed. Finally, this designed combined cycle and single generation (power only) cycle are compared in terms of performance and presented graphically. According to the analysis results, the energy and exergy efficiency of the whole system is determined as 29.20% and 25.32%. Total exergy destruction is calculated as 1116 kW

Keywords: Energy, exergy, geothermal, thermoelectric, multigeneration

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan insanlık nüfusu gibi parametrelere bağlı olarak, gün geçtikçe enerji ihtiyacı artmaktadır. Artan bu enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında, fosil kökenli yakıtlar geniş ölçekte tercih edilmekte ve bu yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan emisyonlar çevresel açıdan sorun oluşturmaktadır. Dünyada enerji talebi her geçen gün artmakta ve yenilenebilir enerji kaynakları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Şehirlerde ve toplumlarda sosyal, ekonomik ve kültürel sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, şehir tasarımlarında en önemli unsurlardan biri enerji ihtiyacının sürdürülebilir ve verimli bir şekilde karşılanması olacaktır [1]. Bu nedenle artan bu enerji talebinin karşılanması için araştırmacılar sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları, çevresel sorunlar ile mücadele etmede en önemli parametrelerden birisi olarak ifade edilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak başlıca güneş, rüzgâr, jeotermal, biyogaz, ve dalga enerjisi gelir.

Bu bağlamda, jeotermal enerji dünyanın iç kısmındaki (magma) termal enerji olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji elektrik üretiminden sıcak su üretimine veya birçok farkı amaçlar için kullanılabilir. Elektrik üretiminde genel olarak 150 °C üzerindeki yüksek sıcaklık uygulamaları tercih edilebilir. Orta sıcaklık uygulamaları (90-150 °C arası) ve düşük sıcaklık uygulamaları (90 °C altına) olan jeotermal kaynaklar, ev-bina ısıtılması, soğutma, balık çiftlikleri, termal sistemler vb. amaçlar için kullanılabilir [2]. Artan enerji talepleri ve küresel ısınma nedeniyle jeotermal enerji uygulamaları önem kazanmıştır. Ayrıca, jeotermal enerji uygulamalarına ek olarak, bu kaynakların farklı amaçlar üretimi için entegrasyonu da önemlidir. Bu noktada, çoklu-üretim sistemi olarak ifade edilen multijenerasyon çevrimler öne çıkmaktadır.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, jeotermal enerji destekli kombine sistemler için birçok çalışma mevcuttur. Yılmaz [3] yaptığı çalışmada jeotermal enerji destekli kombine bir sistemi termodinamik ve ekonomik açıdan değerlendirmiştir. Bu sistemde transkiritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi entegre edilmiştir. Analiz sonucuna göre, tüm sistemin enerji ve ekserji verimini %52.01 ve %29.45 olarak hesaplamıştır. Şen vd. [4] güneş ve jeotermal enerji destekli bir sistemin termodinamik analizini incelemişlerdir. Tasarladıkları sistemde yakıt pili ve elektroliz ünitesinin entegrasyonunu araştırmışlardır. Tüm sistemin enerji verimini %5.9 bulurken ekserji verimini ise %19 olarak hesaplamışlardır.

Koç vd. [5] jeotermal enerji destekli multijenerasyon çevrimin termodinamik ve eksergo-ekonomik analizini incelemişlerdir. Bu çalışma farklı alt sistemlerin entegre ederek, güç, ısıtma, soğutma, hidrojen vb. faydalı ürünlerin eldesini sunar. Tüm sistemin enerji verimi %32.28 olarak hesaplamışlardır. Yeni tasarım jeotermal enerji destekli multijenerasyon çevriminin analizini ve optimizasyon çalışması Liv vd. [6] tarafından gerçekleştirilmiştir. Al-Hamed ve Dincer [7] jeotermal ve katı oksit yakıt pili destekli kombine bir sistemin tasarımını ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu çalışma ayrıca karbon yakalama prosesini içermektedir. Bu sistem ayrıca güç, ısıtma, temiz su ve amonyum bikarbonat üretimini hedeflemektedir. Tüm sistemin ekserji yıkım maliyeti 0.79 \$/s olarak bulunmuştur. Mahmoudan vd. [8] jeotermal ve güneş enerjisi destekli kombine bir sistemin geliştirilmesini, -enerji, ekserji ve eksergoekonomik(3E)- ve optimizasyon çalışmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, elektrik, sıcak su, soğutma ve hidrojen üretimi amaçlanmıştır. Optimum koşullar altında, tasarlanan bu çalışma ile 1.9 kg/h hidrojen üretilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı jeotermal enerji destekli kombine bir sistem ile güç, ısıtma ve hidrojen üretiminin termodinamik analizini enerji ve ekserji verimlilikleri metodu ile incelenmesidir. Bu sistemde ayrıca termoelektrik eklenerek daha fazla güç üretimi amaçlanmıştır. Tasarlanan bu çalışmadaki elektriğin bir kısmı PEM elektrolize gönderilerek burada hidrojen üretimi amaçlanmıştır.

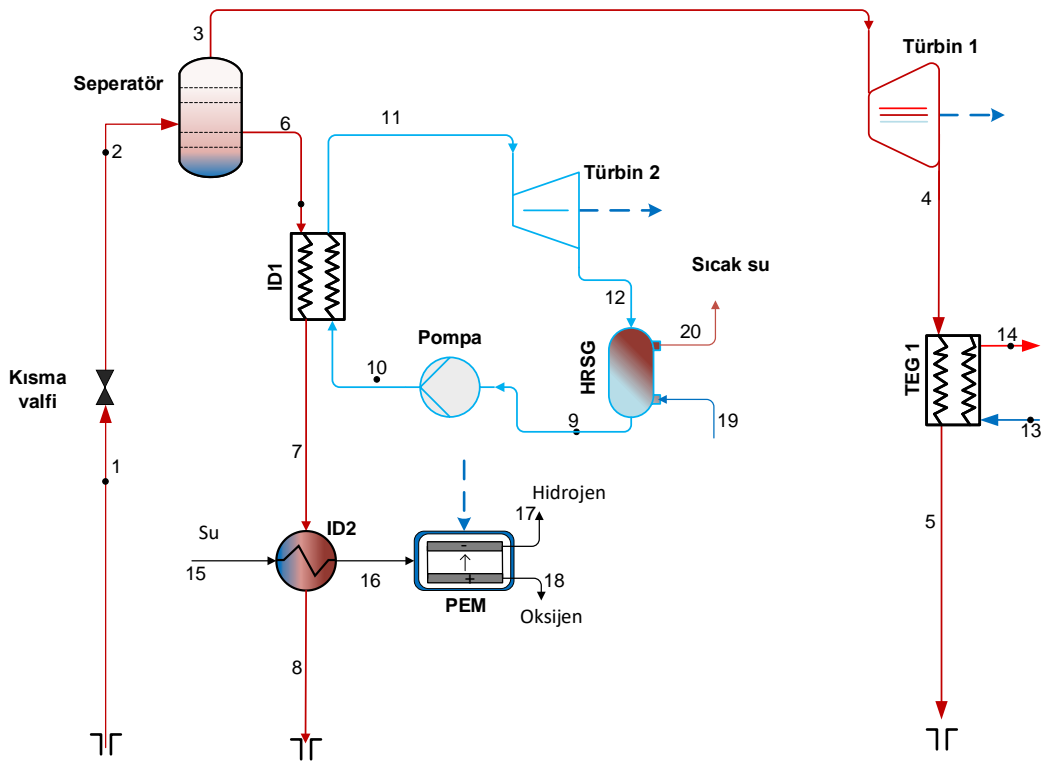
2. KOMBİNE GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ

İncelenen bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine bir çevrim önerilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 1'de resmedilen bu sistem genel olarak bir flaş-binary güç üretim sistemi, bir transkiritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi, bir PEM elektroliz ve bir TEG'den oluşmaktadır. Sistem güç, ısıtma ve hidrojen üretimi üzerine dizayn edilmiştir.

Jeotermal akışkan 200 °C 'de yer altından çıkar (1 noktasında) ve kısma valfine girer. Burada basınç ve sıcaklığı sabit entalpide düşen jeotermal akışkan 2 noktasında separatöre girer. Separatörde doymuş sıvı ve doymuş buhar fazlarında çıkan jeotermal akışkan, 3 noktasında doymuş buhar olarak Türbin 1' e girer ve burada genişleme sonucunda elektrik üretimi meydana gelir. Devamında TEG için gerekli termal enerjiyi sağlar ve sonrasında 5 noktasında yaklaşık 50 °C'de yer altına geri döner.

Geri kalan doymuş sıvı fazındaki jeotermal akışkan, 6 noktasında, ısı değiştirici 1' e girer ve burada transkritik Rankine çevrimi için gerekli olan termal enerjiyi sağlar. 9 ve 12 noktaları arasındaki transkritik Rankine çevriminin çalışma basınç aralığı 6500 kPa ve 9750 kPa'dır. 11 noktasında CO₂ akışkanı 9750 kPa basınçta süperkritik fazla Türbin 2 'ye gider ve genişleme sonucunda elektrik üretimi meydana gelir. Yüksek sıcaklıktaki CO₂ akışkanı soğutmak için su soğutmalı ısı değiştiricisi tercih edilmiştir.

7 noktasında yaklaşık 110 °C'deki jeotermal akışkan 15 noktasından gelen saf suyu ısıtır ve ardından 8 noktasında yer altına geri döner. 16 noktasında yaklaşık 85 °C'deki saf su PEM elektrolize gider ve burada meydana gelen elektrokimyasal reaksiyon sonucunda oksijen ve hidrojen gazlarına ayrışır. Tüm sistem bu şekilde eşzamanlı olarak çalışmasına devam eder.



Şekil 1. Jeotermal enerji destekli kombine çevrim

3. TERMODİNAMİK ANALİZ VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine çevrimin transkritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi ile entegrasyonun, hidrojen, güç ve sıcak su üretimi için termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Enerji verimi, ekserji verimi ve ekserji yıkım oranları kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu analizler Engineering Equation Solver (EES) [9] programı ile teorik olarak gerçekleştirilmiştir.

Bir termal sistemin termodinamik açıdan incelenmesinde, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları göz önüne alınarak genel kütle, enerji, entropi, ve ekserji bağıntıları aşağıdaki şekilde verilebilir [10-12];

$$\sum_g \dot{m}_g = \sum_c \dot{m}_c \quad (1)$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gZ \right) = \dot{Q}_c + \dot{W}_c + \sum_c \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gZ \right) \quad (2)$$

$$\sum_g \dot{m}_g s_g + \dot{S}_{\text{üretim}} + \sum_g \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) = \sum_c \dot{m}_c s_c + \sum_c \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) \quad (3)$$

$$\sum_g \dot{m}_g ex_g + \dot{E}_x^Q + \dot{E}_x^W = \sum_c \dot{m}_c ex_c + \dot{E}_x^Q + \dot{E}_x^W + \dot{E}_x^c \quad (4)$$

Burada, \dot{m} kütleli debiyi, \dot{Q} ısı transfer oranını ve \dot{W} ise iş oranı tanımlar. Denklem 4 ekserji denge denklemdir ve buradaki ısı ve iş in ekserji oranları aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$\dot{E}_x^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q} \quad (5)$$

$$\dot{E}_x^W = \dot{W} \quad (6)$$

Dahası, ex terimi aksı ekserjisidir ve potansiyel ve kinetik ekserjilerin ihmal edilmesi sonucunda aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + ex_{kim} \quad (7)$$

Yukarıda bahsedilen denge denklemleri her bir komponente ayrı ayrı uygulanır ve sonunda tüm sistemin enerji ve ekserji verimlilikleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta_{sistem} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{Q}_{ısıtma} + (\dot{m}_{H_2} * LHV_{H_2})}{\dot{m}_1 h_1 - (\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8)} \quad (8)$$

$$\psi_{sistem} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{E}_x^Q + \dot{Q}_{ısıtma} + (\dot{m}_{H_2} * ex_{H_2})}{\dot{m}_1 ex_1 - (\dot{m}_5 ex_5 + \dot{m}_8 ex_8)} \quad (9)$$

Sistem hesaplamaları için yapılan bazı kabuller Tablo 1 'de aşağıda verilmiştir. Ayrıca, bu kabullere ek olarak, termodinamik bir sistemin ideal bir sistem olarak analizlerinin yapılması için gerçekleştirilen kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tüm sistem kararlı ve düzgün-sürekli akışlıdır
- Sistem ve çevresi arasında ısı alışverişi ihmal edilmiştir
- Borular ve sistem bağlantıları arasında basınç değişimi yoktur.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri dikkate alınmamıştır.
- Jeotermal akışan saf su olarak modellenmiştir.
- Türbin girişleriyle akışkanlar doymuş buhar olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Sistem tasarım ve girdi parametreleri

Parametreler	Birim	Değerler
T_1	°C	200
P_1	kPa	1550
\dot{m}_{jeo}	kg/s	10
Türbin 1 izantropik verim	%	92
P_9	kPa	6500
P_{10}	kPa	9750
T_9	°C	25.44
Türbin 1 izantropik verim	%	92
PEM su giriş sıcaklığı	°C	80
PEM su giriş basıncı	kPa	101.325
PEM verimi	%	56
ZT_m	-	0.8
Çevre sıcaklığı	°C	25
Çevre basıncı	kPa	101.325

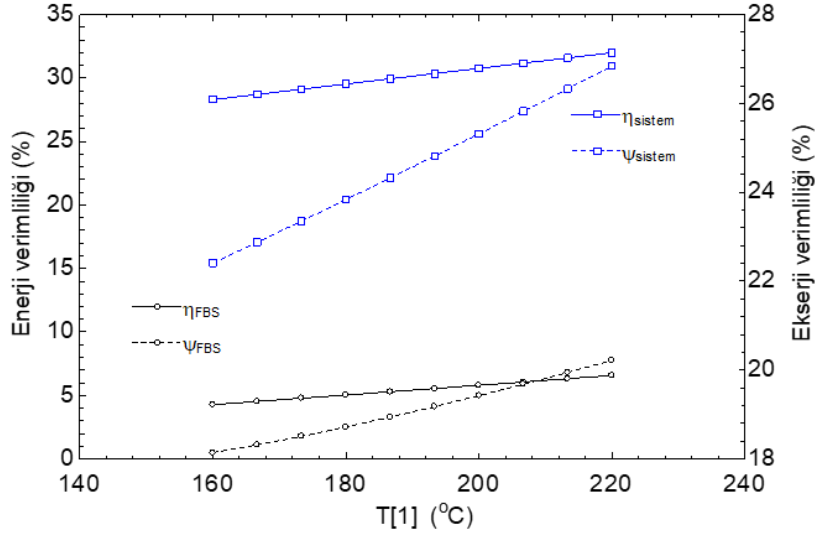
Yapılan kabuller eşliğinde, bu sistemin termodinamik analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 2'e gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, tüm sistemin net güç üretim kapasitesi 260.6 kW olarak hesaplanırken hidrojen üretim miktarı ise 0.0005985 kg/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu sistem ile ısı geri kazanımı yapılarak toplamda 1103 kW'lık bir ısıtma yükü elde edilebilir. Sistem flaş-binary olarak dizayn edilmesi sonucunda enerji ve

ekserji verimliliği 5.796% ve 19.42% olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan bu kombine çevrimin enerji verimi %29.2 ekserji verimi ise %25.32 olarak hesaplanmaktadır.

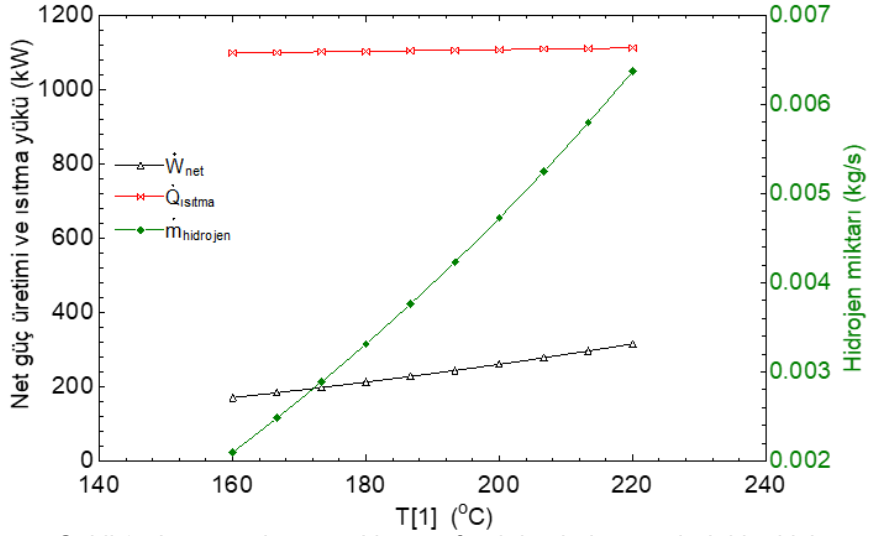
Tablo 2. Termodinamik analiz sonuçları

Parametreler	Değerler
Türbin 1 güç üretimi	282.8 kW
Türbin 2 güç üretimi	99.63 kW
TEG kapasitesi	42.35
Net güç üretimi	260.6 kW
Isıtma kapasitesi	1103 kW
Hidrojen üretim oranı	0.0005985 kg/s
Toplam ekserji yıkım oranı	1116 kW
η_{FBS}	5.796 %
ψ_{FBS}	19.42 %
η_{sistem}	29.2%
ψ_{sistem}	25.32%

Bu çalışmada ayrıca, sistem performansına etki eden bazı önemli parametrelerin değişimini incelemek için parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 ve 3'de jeotermal su sıcaklığının 160 °C ile 220 °C arasındaki artışına bağlı olarak sistem performansına ve sistemden elde edilen faydalı çıktılar üzerindeki etkisi incelenmiş ve sunulmuştur. Şekil 2 hem alt sistem olan flaş-ikili (FBS) sistemin hem de tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliğindeki değişimi gösterir. Jeotermal kaynak sıcaklığındaki artış her iki sistemin verimliliğini doğrusal şekilde arttırmıştır. Ayrıca, Şekil 3'de sistemden elde edilen ısıtma, hidrojen ve net güç üretimi gibi faydalı çıktılarda da artış gözlemlenmiştir. Bu durumun temel nedeni yüksek sıcaklıklarda sistem daha yüksek entalpilerde çalışması olarak yorumlanabilir.

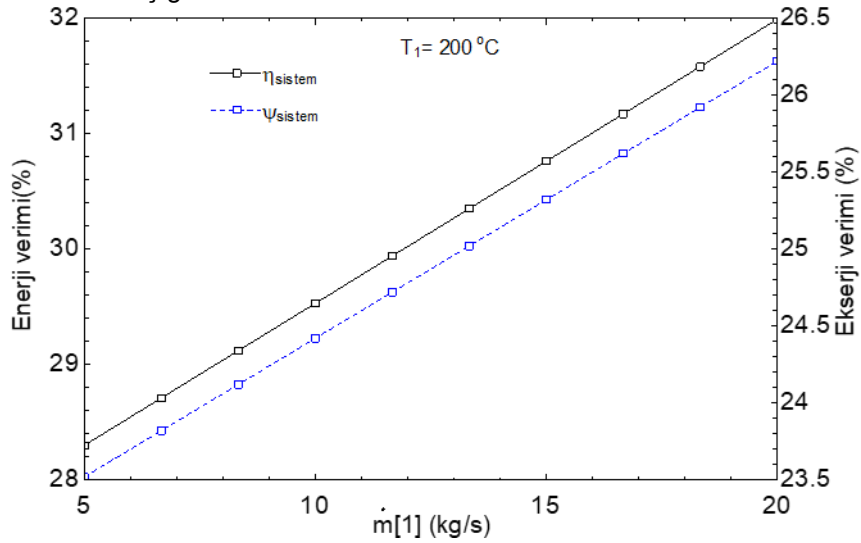


Şekil. 2. Jeotermal su sıcaklığının sistem performansına etkisi

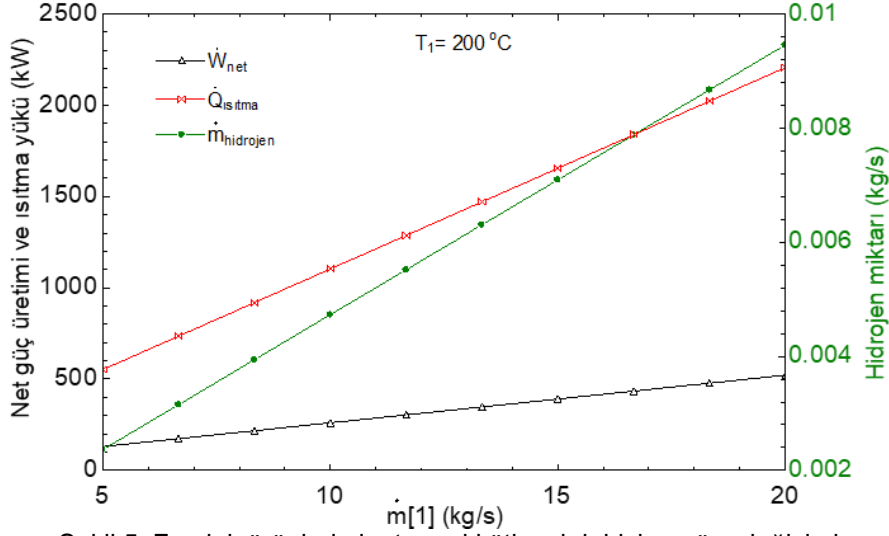


Şekil 3. Jeotermal su sıcaklığının faydalı çıktılar üzerindeki etkisi

Jeotermal su kütleli debisi bir diğer önemli parametreler arasındadır. Burada, jeotermal kütleli debisindeki artışın tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve Şekil 4'de sunulmuştur. Açıkça görüldüğü gibi, tüm sistemin enerji verimi yaklaşık %28'den %32'ye ekserji verimi ise %23.5'den yaklaşık %26'ya artmaktadır. Dahası, jeotermal akışkanın kütleli debisi ile sistemden elde edilen faydalı çıktılar arasındaki ilişki Şekil 5'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere, sistemin ürettiği faydalı çıktılar artış eğrisi göstermektedir. Kütle ile giren enerji miktarının artması neticesinde sistem performansında artış gözlemlenir.

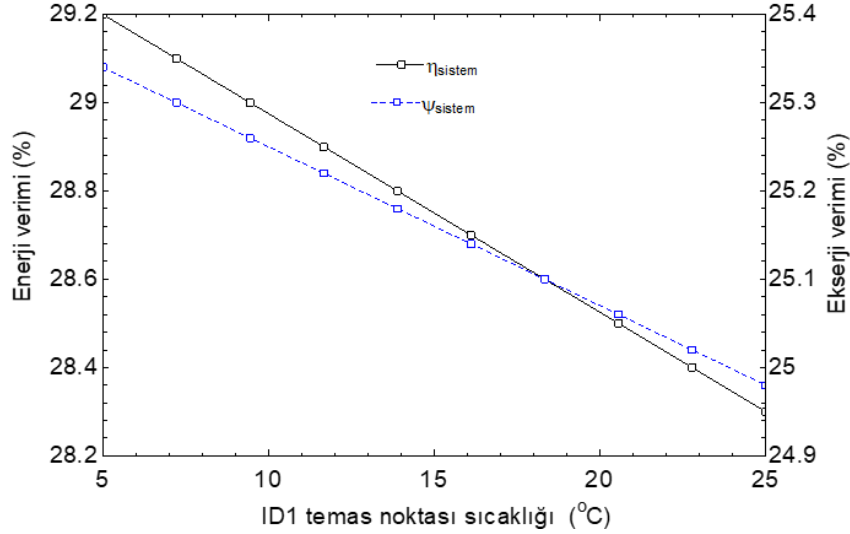


Şekil 4. Sistem performansının jeotermal kütleli debisine göre değişimi



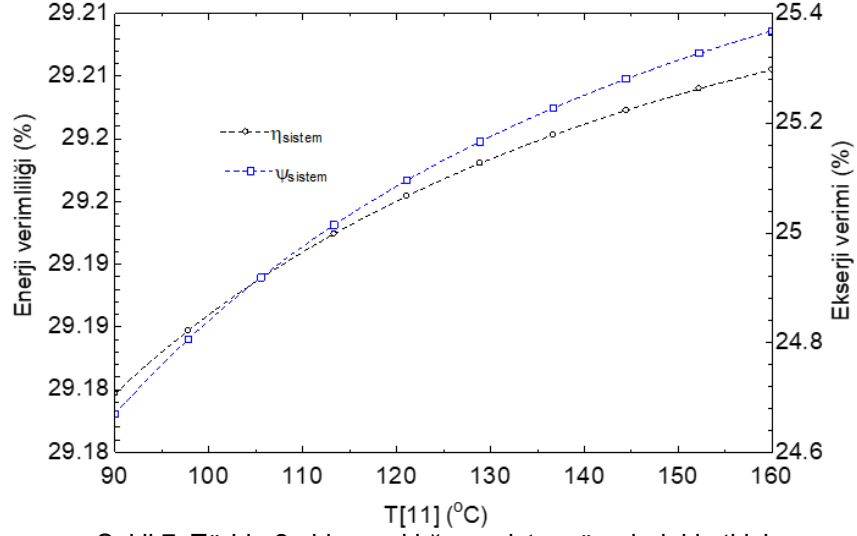
Şekil 5. Faydalı ürünlerin jeotermal kütleli debisine göre değişimi

Kombine sistemlerde ısı değiştiriciler (ID) iki sistem arasında termal şekilde ısı aktarımı yapan üniteler olması nedeni ile, sistem performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Şekil 6 ID '1 in temas noktasının 5 °C den 25 °C ye artırılması sonucunda hem enerji verimliliğinde bir düşüşü göstermektedir. Tüm sistem için ekserji verimliliği yaklaşık %25.4'den %24.9'a düşmektedir. ID1 temas noktası sıcaklığının artırılması sonucunda alt sistemlere giden termal enerji azalmakta ve bu yüzden sistem performansı da negatif yönde etkilenmektedir.

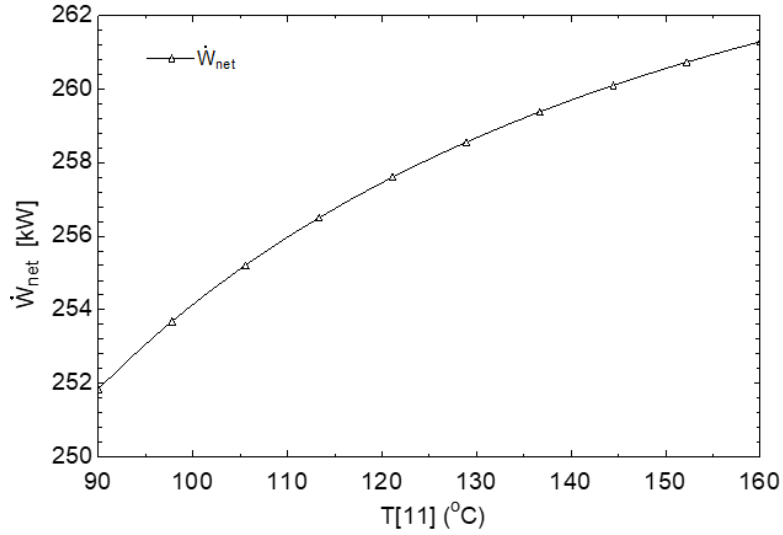


Şekil 6. ID1 temas noktası sıcaklığının sistem performansına etkisi

Şekil 7 transkritik RC çevriminin Türbinin giriş sıcaklığının artırılmasının sistem performansına etkisini inceler. Türbin 2 giriş sıcaklığının 90 C dan 160 C 'ye artırılması sonucunda tüm sistemin enerji verimi yaklaşık %29.18'den %29.21'e hafif bir artış göstermektedir. Ayrıca, bu artış aralığında tüm sistemin ekserji verimliliği artmaktadır. Bu durumun temel nedeni, Türbin 2 giriş sıcaklığının artması sonucunda elde edilen net iş, Şekil 8'deki gibi, artmaktadır. Şekil 8'de net iş üretimi yaklaşık 10 kW artmaktadır. Enerji ve ekserji verimliliğindeki hafif artışın sebebi, net güç üretimindeki artışın az olmasıdır.

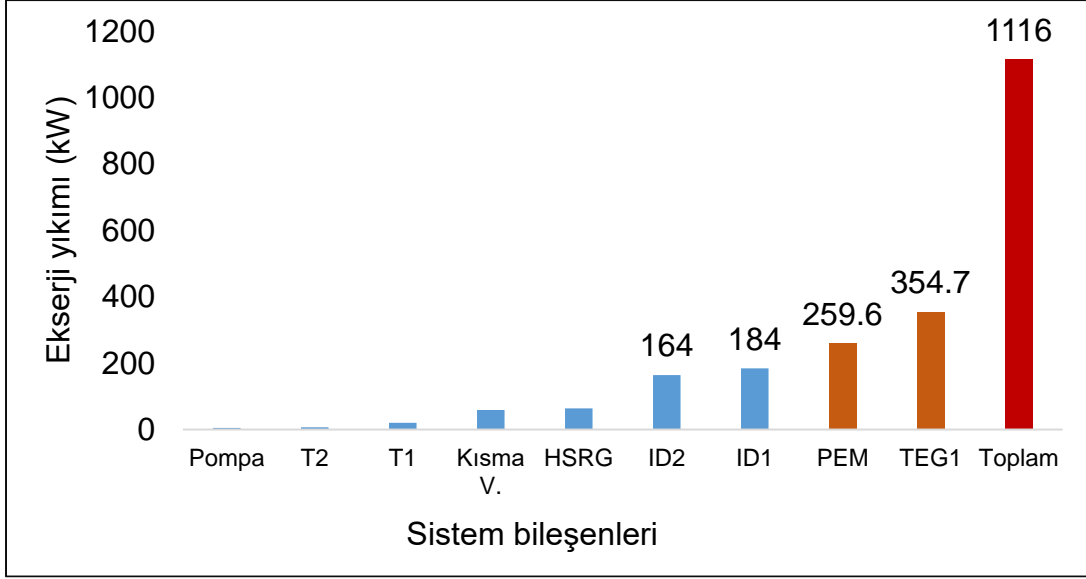


Şekil 7. Türbin 2 giriş sıcaklığının sistem üzerindeki etkisi



Şekil 8. Türbin 2 giriş sıcaklığının net güç üretimine etkisi

Tasarlanan bu çalışmada meydana gelen tersinmezlikleri belirlemek için, termodinamiğin ikinci yasasına göre ekserji yıkım oranları hesaplanmış ve aşağıda Şekil 9'da gösterilmektedir. Tüm sistemin toplam ekserji yıkımı 1116 kW olarak bulunmuştur. Sistem üniteleri içerisinde en düşük ekserji yıkımı 4.3 kW ile pompa 'da en yüksek ekserji yıkımı ise 354 kW ile TEG'de görülmüştür. Dahası, ID1 ve ID2'nin ekserji yıkım oranları 184 kW ve 164 kW olarak hesaplanmıştır. Burada elde edilen sonuçlara göre, ekserji yıkımı genel olarak sıcaklık değişiminin fazla olduğu ünitelerde daha fazladır.



Şekil 9. Sistem bileşenlerinin ekserji yıkım oranları

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tasarlanan bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine bir sistemin termodinamik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistemde temiz ve sürdürülebilir yöntemler ile güç, hidrojen ve ısıtma yükü üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, transkritik Rankine çevrimi ve TEG entegre edilerek güç üretimindeki artış incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Bu çalışmanın net güç üretim kapasitesi 260.6 kW'dır. Sistem hidrojen üretim kapasitesi ve ısıtma yükü 0.0005985 kg/s ve 1103 kW olarak belirlenmiştir.
2. Sistemin enerji ve ekserji verimliliği %29.2 ve %25.32 olarak hesaplanmıştır. Flash-ikili (FBS) sistem olması durumunda enerji ve ekserji verimlilikleri %5.796 ve %19.42 olarak hesaplanmıştır. FBS sisteminin tüm sisteme göre enerji ve ekserji verimliliği daha düşüktür.
3. Tüm sistemin tersinmezlik oranı 1116 kW olarak hesaplanmış ve alt üniteler içerisinde en yüksek ekserji yıkımı TEG ve ID'lerde görülmüştür.

Sonuç olarak, küresel ısınma ve çevresel sorunların artması nedeni ile araştırmacılar karbonsuz enerji arayışına yönelmektedir. Bu bağlamda öne çıkan en temel seçeneklerden birisi yenilenebilir enerji kaynakları iken diğeri yeşil hidrojen seçeneğidir. Bu çalışmada, jeotermal destekli yeşil hidrojen üretimi tasarlanması gelecekteki çalışmalar için bir yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bozgeyik, A., Altay, L., & Hepbasli, A. (2022). A sub-system design comparison of renewable energy based multi-generation systems: A key review along with illustrative energetic and exergetic analyses of a geothermal energy based system. *Sustainable Cities and Society*, 103893.
- [2] Kanoglu, M., Bolatturk, A., & Yilmaz, C. (2010). Thermodynamic analysis of models used in hydrogen production by geothermal energy. *International journal of hydrogen energy*, 35(16), 8783-8791.
- [3] Yilmaz, F. (2022). Development and modeling of the geothermal energy based multigeneration plant for beneficial outputs: Thermo-economic and environmental analysis approach. *Renewable Energy*, 189, 1074-1085.



- [4] Sen, O., Guler, O. F., Yilmaz, C., & Kanoglu, M. (2021). Thermodynamic modeling and analysis of a solar and geothermal assisted multi-generation energy system. *Energy Conversion and Management*, 239, 114186.
- [5] Koc, M., Yuksel, Y. E., & Ozturk, M. (2022). Thermodynamic and exergo-economic assessments of a new geothermally driven multigeneration plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(45), 19463-19480.
- [6] Li, K., Ding, Y. Z., Ai, C., Sun, H., Xu, Y. P., & Nedaei, N. (2022). Multi-objective optimization and multi-aspect analysis of an innovative geothermal-based multi-generation energy system for power, cooling, hydrogen, and freshwater production. *Energy*, 245, 123198.
- [7] Al-Hamed, K. H., & Dincer, I. (2022). Development and optimization of a multigeneration geothermal and solid-oxide fuel cell-based integrated system with carbon capturing. *Applied Thermal Engineering*, 205, 118037.
- [8] Mahmoudan, A., Esmaeilion, F., Hoseinzadeh, S., Soltani, M., Ahmadi, P., & Rosen, M. (2022). A geothermal and solar-based multigeneration system integrated with a TEG unit: Development, 3E analyses, and multi-objective optimization. *Applied Energy*, 308, 118399.
- [9] S. Klein Engineering Equation Solver (EES), AcademicCommercial, V11.199. 2021, F-chart software, Madison, USA (2021)
- [10] Y.A. Çengel, M.A. Boles Thermodynamics : an Engineering Approach Mc (eighth ed.), McGraw-Hil, New York (2015), 10.1017/%0ACBO9781107415324.004 Accessed 19th Feb 2019 2015
- [11] T.J. Kotas The Exergy Method of Thermal Plant Analysis (first ed.), Butterworth-Heinemann, London (1985)
- [12] I. Dincer Thermodynamics: A Smart Approach John Wiley & Sons Ltd, USA (2020)

ÖZGEÇMİŞ

Fatih YILMAZ

1987 yılı Alanya doğumludur. 2010 yılında SDÜ. Teknik Eğitim Fakültesini, tesisat öğretmenliği ve 2018 yılında Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2013 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri A.B.D'inde Yüksek mühendis, 2017 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D doktor unvanını almıştır. 2013-2018 yılları arasında, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da Öğretim görevlisi, 2018-2019 yılları arasında Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmıştır. 2019 yılı itibari ile Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesinde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma alanları, termodinamik, hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir entegre sistemlerdir.

SÜREKSİZ ÇALIŞAN ENDÜSTRİYEL FIRININ ISIL ANALİZİ

Transient Thermal Analysis of an Industrial Furnace

**Barbaros Batur
M. Cem Çelik
Muammer Akgün**

ÖZET

Endüstriyel tesislerde, oransal kontrollü brülör kullanan sıcak su ve buhar kazanları, endüstriyel fırınlar gibi birçok süreksiz çalışan sistem yaygın olarak kullanılmaktadır. Süreksiz çalışan sistemlerde sistem veriminin bulunması için gereken enerji dengesi, sürekli çalışan sistemlere göre daha karışıktır. Enerji analizi çalışmalarında; ölçüm metodolojisi, cihazları ve ölçüm noktaları büyük önem taşımaktadır. Süreksiz sistemler ve sürekli sistemlere ait çalışmalarda en önemli farklardan biri de veri toplarken ölçüm yapma sıklığıdır. Süreksiz sistemlerde ölçüm zamanı ve sıklığı sistemin ısı hesaplarını doğru yapmak için kritik konulardan biridir.

Bu çalışmada, bir endüstriyel fırının süreksiz ısı analizi ele alınmıştır. Buna ek olarak, bu tür sistemlerde kullanılan ölçüm yöntemleri, elde edilen verilerin kullanımı ve süreksiz ısı hesapları hakkında bilgi verilmiştir. Genellikle süreksiz sistemlerde çalışma; ısıtma, sabit sıcaklık platosu ve soğuma süreçlerinden oluşmaktadır ve bu zaman dilimlerinin hassasiyetle belirlenmesi gerekmektedir. Bu zaman dilimlerinin geçiş noktalarında alınması gereken ölçümler dikkatle planlanmalıdır. Ayrıca, ölçüm planlamasında prosese özel değişimler olacağı unutulmamalıdır. Süreksiz sistemlerin analizinde, ölçüm ve hesaplamalar, prosese ait farklı zaman dilimlerine göre ayrı ayrı ele alınmalıdır. Her bir zaman dilimindeki hesaplama, sürekli sistemlerdeki tek bir hesaplama karşılık gelmektedir. Bu da, süreksiz sistem hesaplarının, sürekli sistemlere göre ne kadar karmaşık olduğunu göstermektedir. Ölçümlerin ve hesaplamaların tutarlığı sonucu enerji tasarrufu önlemlerine karar verilmesi gerekir. Aksi durumda, planlanan enerji tasarrufu değerinden sapmalar görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel tesisler, Süreksiz çalışan sistemler, Ölçüm metodolojisi, Enerji dengesi

ABSTRACT

In industrial facilities, many transiently operating systems such as hot water and steam boilers using proportionally controlled burners and industrial furnaces are widely used. The energy balance required to find system efficiency in transient systems is more complex than systems operating continuously. In energy analysis studies; measurement methodology, devices and measurement points are of great importance. One of the most important differences in studies of transient systems and continuous systems is the frequency of measurements while collecting data. In transient systems, measurement times and frequencies are of the most critical issues to conduct accurate thermal calculations of the system.

In this study, transient thermal analysis of an industrial furnace is discussed. Additionally, for such systems; information was given about measurement methods, use of the obtained data and discontinuous thermal calculations. Generally, transient systems consist of heating, constant temperature plateau and cooling periods, and these time intervals must be determined precisely. Detailed measurements that should be taken at the transition points of these time frames should be carefully planned. Furthermore, it should not be forgotten that there will be process-specific changes in measurement planning. In the analysis of transient systems, measurements and calculations should

be handled separately according to different time periods of the process. The calculation in each time period corresponds to a single calculation in a continuous system. This demonstrates the complexity of discontinuous system calculations compared to continuous systems. Energy saving measures need to be decided as a result of the consistency of measurements and calculations. Otherwise, there will be deviations from the planned energy savings. The subject is explained with examples

Key Words: Industrial plants, Transient systems, Measurement methodology, Energy balance

1. GİRİŞ

Sürekli fırınlar, ilk yandığı andan itibaren geçici rejimini bitirerek sürekli rejime geçer. Sürekli rejimde brülör ya da bekler devreye girip çıksalar bile fırın sıcaklıkları ayarlanan alt ve üst sınırlar içinde sabit kalır. Bu periyot, günlük buhar kazanları ya da endüstriyel fırınlarda bir günü içerirken cam fırınları gibi hiç durmayan fırınlarda on yılın üzerine dahi çıkabilir.

Sürekli sistemlerde bazı kritik ölçümler devamlılık göstermeli, sürekli alınma olanağı olmayan sıcaklık ya da yakıt tüketimi gibi kritik ölçümler de değişim gösterdikleri noktalar ve düzgün değıştikleri noktalarda mutlaka ölçülmelidir.

Sürekli çalışan ısı sistemlerinde enerji dengesinin çıkartılmasının devamı olarak, sürekli ısı sistemlerinde enerji tasarrufu önlemlerinin geri ödeme sürelerinin hesaplanması, sürekli sistemlere göre daha karışiktır. Geri ödeme süresi hesabında, zaman içinde sürekli dalgalanan sıcaklığa bağlı olarak, sürekli dalgalanan bir enerji tasarruf miktarı olmalıdır. Eğer tasarruf edilen ısı enerjisi, fabrikada başka bir proste kullanılmak isteniyorsa sistemde oluşacak dalgalanmadan daha az etkilenmesi için ısı enerjisinin depolanması gerekebilir. Isı enerjisinin depolanma miktarının artması, depolama yatırımının maliyetini de artırır. Bu iki veri arasında optimum değer hesaplanmalıdır. Isı enerjisinin çekildiği sistem ve bu çekilen ısı enerjisini kullanan sistemin sürekli olması, aynı zamanda bir mühendislik problemi oluşturur. Örneğin, sürekli çalışan bir endüstriyel fırın bacasından çekilen ısı enerjisi, fabrika ofislerinin ısıtılmasında kullanılacak ise, fırının hangi saatlerde kullanılacağı, fırın ile ofis ısıtması arasında ne kadar ısı enerjisinin depolanması gerektiği, hangi depolama büyüklüğü ve çeşidinin ekonomik olacağı hem bir enerji problemi hem de bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Artan enerji maliyetlerinin getirdiği yüklerle birlikte, karşı karşıya kalınacak olan karbon salımı kısıtlamaları için öncelikle aydınlatma sistemlerinde ve yüksek verimli elektrik motorlarında geçiş sürecini tamamladıktan sonra bir fabrikanın enerji tasarrufu için projelendirmesi bir bütün olarak ele alınmalıdır. Üretim prosesi, mahal ısıtması, güneş tüpleriyle aydınlatma gibi önlemler bir bütün halinde ele alınmalıdır. Enerji ve tasarruf önlemlerinin fiyat değışimlerine de takip etmek için belirli periyotlarla tekrar hesaplanma yapılmalıdır. Bu çalışmada bu hesaplamalar örnekle anlatılmıştır.

2. ENDÜSTRİYEL FIRINLAR

Doğrudan ısıtıcı veya doğrudan ateşlemeli ısıtıcı olarak da bilinen endüstriyel bir fırın, tipik olarak 400°C yüksek bir endüstriyel işlem için ısı enerjisi sağlamak amaçlı kullanılan bir cihazdır. Bir proses için ısı enerjisi ya da reaksiyon ihtiyacı ısı enerjisini sağlamakta kullanılır. Endüstriyel fırına gerekli ısı enerjisi, yakıtı hava veya oksijenle karıştırıp yakarak veya elektrik enerjisinden üretilir [1]. EN ISO 13705 (Petrol ve doğalgaz endüstrileri – Genel rafineri hizmeti için ateşlemeli ısıtıcıları) ya da Amerikan Petrol Enstitüsü (API) Standart 560 (Genel rafineri hizmeti için ateşlemeli ısıtıcı) endüstriyel fırınlar için en çok kullanılan standartlardır.

İki standart arasında kesin bir ayırım çizgisi olmamasına rağmen, fırın iç duvar sıcaklıklarının 400–500°C de ise genellikle düşük sıcaklıkta olarak kabul edilirken, 500–800°C'nin üzeri ise yüksek sıcaklık

olarak kabul edilmektedir. Yüksek sıcaklık süreçleri arasında çimento ve kireç üretimi, tuğla ve seramik üretimi, çoğu metal işleme, cam yapım vb. düşük sıcaklık işlemleri kurutma işlemlerini, yiyecekler işleme ve sterilizasyon, buhar basınçlandırma, yağ arıtma proseslerini içerir.

Yüksek sıcaklıkta çalışan fırınlar, demir-çelik ve diğer metaller, çimento, cam ve seramik endüstrilerinde kullanılırlar ve yüksek sıcaklıkla birlikte enerji tüketimleri yüksek olur. Bu nedenle enerji tasarruf potansiyelleri de yüksektir. Örneğin demir-çelik üretiminde, cam ve seramik endüstrisi 1200°C ve üzerine çıkan fırın içi sıcaklıkları, yüksek enerji tasarruf potansiyeli ile birlikte, yüksek sıcaklıklarla çalışmayı da gerektirmektedir. Bununla birlikte, çok daha düşük sıcaklıklarda çalışan, daha küçük boyutlu endüstriyel fırınlara da rastlamak olasıdır. Yüksek sıcaklıkta çalışan fırınlar, düşük sıcaklıktaki karşılıklarına göre tüketilen yakıtın ısı enerjisini verimli kullanılmak çok daha zordur. Buhar üretimi gibi düşük sıcaklık prosesleri için, genel olarak %80'in üzerinde verim sağlanabilirken, yüksek sıcaklık süreçlerinde %50'yi aşan verim değerlerine ulaşan tesis sayısı nadirdir. Fırınlarda azaltılan fosil yakıt miktarı, proses maliyetini azaltır. Özellikle petrol ve petrol türevi birinci sınıf yakıt gerektiren süreçler için kullanılan doğalgaz, karbon üretimi kısıtlanmış gelecekteki dünyada, tasarım mühendislerince fırınların süreç verimliliğinin maksimize edilmesini gerektirecektir. Eski zamanlarda fırın verimlerinde iyileştirme kavramı yoktu, örneğin kireç endüstrisi, selüloz ve kağıt endüstrisinde neredeyse hiç bilinmiyordu. 1980'lerin başlarında, kireç fırınları yaklaşık % 30-50 daha fazla yakıt kullanılırdı [1].

3. SÜREKLİ VE SÜREKSİZ FIRINLAR

Süreksiz çalışan endüstriyel fırınlar (discontinuous furnaces), bir periyod içinde, ısınıp, yüksek sıcaklıkta kalarak ve soğuyarak ürünlere ısı işlem yapan endüstriyel fırınlardır (Şekil 1). Ürün ve fırın ısı işlemi benzer sıcaklık değişimi ile yapar. Sürekli çalışan endüstriyel fırınlar (continuous furnaces), ise genellikle birden çok bölgeye bölünerek, ısınma, yüksek sıcaklıkta kalma ve soğuma işlemini fırın sıcaklığı hiç değişime uğramadan, sadece içindeki ürünün sıcaklığı değişerek ısı işlem uygularlar.

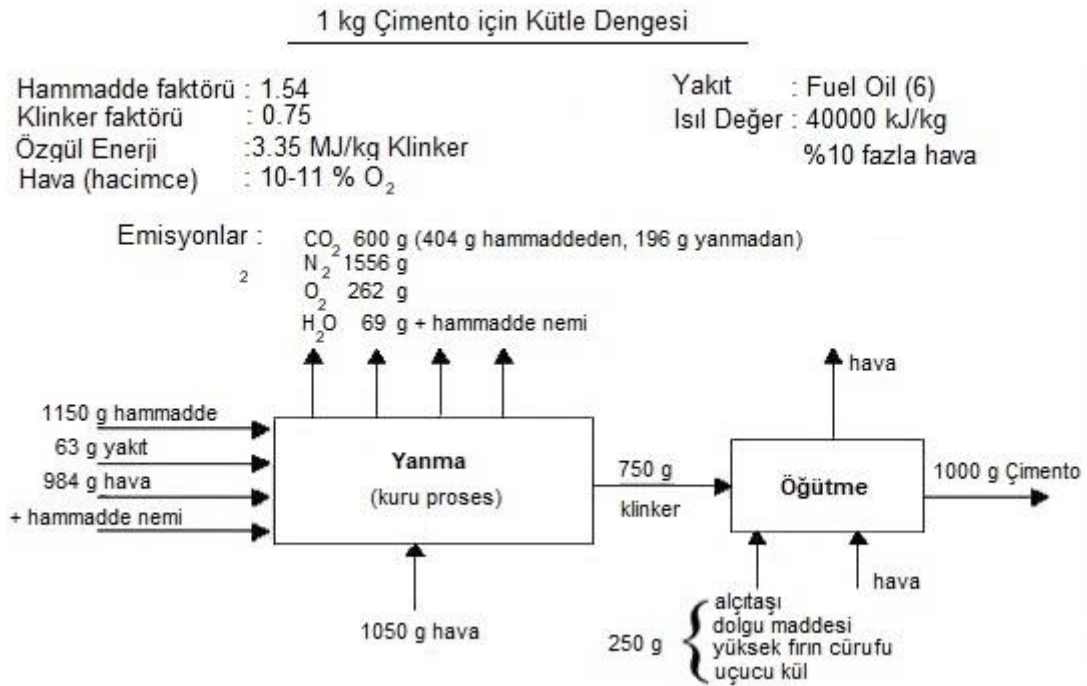


Şekil 1. Süreksiz Çalışan Endüstriyel Fırın Örneği



Şekil 2. Süreksiz Çalışan Endüstriyel Fırın örneği

Enerji tüketen sistemlerde tasarruf sağlanması için önce sistemin enerji dengesi çıkartılması, bunun içinde ilk yapılacak işlemin sistemin kütle ve enerji dengesinin kurulması gerekmektedir. Kütle dengesinin çıkartılması, enerji dengesinin çıkartılmasına kıyasla daha kolaydır ve enerji dengesinin çıkartılması için ön şarttır. Kütle dengesini sağlamak için sadece fırına giren ürün değil, ürünle birlikte fırına giren her türlü ürün tutucu/taşıyıcı ve yalıtım benzeri malzemeyle, yakıt ve yakıcılar da göz önüne alınmalıdır. Eğer önemli bir sonucu var ise, yakıcı olarak kullanılan hava içindeki nem dahi hesaba katılmalıdır. Kütle dengesi hesabında önemli olan hesaba katılan kütlelerin hesabı ne kadar etkilediğidir. Hesabı etkilemeyecek kadar küçük kütlelerin, fırına giriş çıkışları hesaba katılmayabilir. Şekil 3'de kütle dengesi için bir örnek gösterilmiştir.

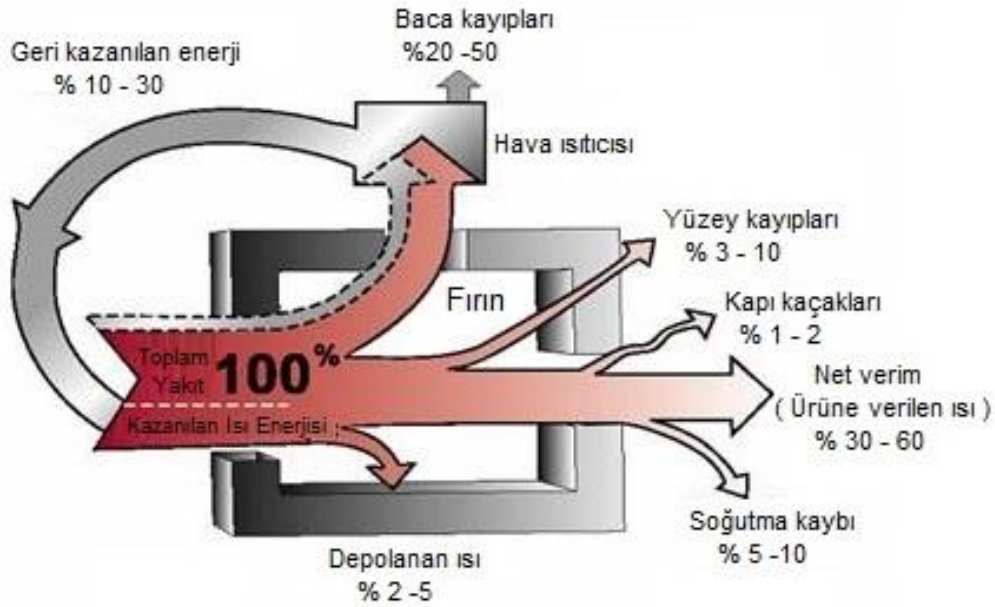


Şekil 3. Kütle Dengesi Bir Örnek [2]

Kütle dengesinin kurulmasında, buharlaşma, kimyasal reaksiyon nedeniyle gazlaşan bazı bileşikler gibi konulara dikkat edilmesi gerekmektedir. İşlem gören ürün, ürün içindeki nem, ürünün yerleştirildiği yürüyen taban, araba gibi taşıyıcılar, yakma için kullanılan havadaki nem gibi malzemeler de kütle dengesinde göz önüne alınmalıdır.

Endüstriyel fırınlarda da enerji dengesi hesabında, buhar kazanlarında kullanılan EN 12953-11 standardında bulunan ve daha iyi sonuç veren indirekt metoda benzer bir enerji dengesi metodu kullanılması önerilir. Direkt metot; faydalı enerjinin, yakıtın verdiği enerjiye bölünmesi ile bulunurken EN 12953-11 standardındaki indirekt metot ile sisteme giren enerjiden, kayıpların çıkartılması mantığına dayanır. Direkt metotta faydalı enerjinin ölçümünün çok olması nedeniyle, standartta belirtildiği gibi indirekt metodun doğruluğu, direkt metoda göre daha iyi sonuç verir. Fırınlarda da, EN 12953-11 standardına benzer olarak yakıttan gelen enerjiden, enerji kayıpları çıkartılarak üründe kullanılan proses enerjisi bulunabilir. Ürüne giden proses enerjisi biliniyorsa enerji dengesindeki giren enerjinin çıkan enerjiye eşitlenmesi ile sağlanabilir. Sapma değeri, hesap yapmadan kabul edilen farktan fazla ise ölçüm ve hesaplar kısmi olarak tekrarlanır, kabul edilen sapmanın altına indirilir.

Fırına giren enerji ile oluşan fırın içindeki endotermik ya da ekzotermik reaksiyonlar sonucu malzemede değişen nem miktarı, yakma havasından gelen nem, fırına giren ürün ile fırından çıkan ürün arasındaki ağırlık değişimi, fırına giren ve fırından çıkan ürün ya da taşıyıcının sıcaklıkları, ürün taşıyıcı ve fırın duvar izolasyon malzemesinin özgül ısı, baca gazı kombinasyonu, yakıtın özgül enerjisi, gaz yakıtların basıncı, fırın basıncı, fırın kapaklarından kaçan ya da fırın kapaklarından giren hava, fırın kapak ya da bacasından kaçan radyasyon enerjisi, fırın duvarlarından kaybolan iletim, taşınım ve ışınım kayıpları gibi parametreler önem kazanmaktadır. Şekil 4' de Süreksiz çalışan bir fırının enerji dengesi Sankey diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 4. Süreksiz Çalışan Fırınlarda Enerji Dengesi Örneği [2]

Süreksiz (kesikli) çalışan fırınlarda enerji dengesinin belirlenmesi, sürekli çalışan fırınlara göre daha karmaşık bir süreç içerir. Sürekli fırınlarda zamandan bağımsız olarak tüketilen enerji, kayıp enerjiler zamanda bir düzgünlük gösterirken, süreksiz fırınlarda genellikle değişik zaman dilimlerinde farklı bir ısınma eğrisi, maksimum sıcaklıkta kalma ve değişik zaman dilimlerinde farklı bir eğimle soğuma süreci gözlemlenir.

Süreksiz çalışan fırınlardaki ısınma yüksek sıcaklıkta durma ve soğuma eğrisini ne kadar çok parçaya ayırırsak, ayrılan parçalar kendi içinde enerji dengesi hesaplanırsa, toplam enerji dengesindeki doğruluk o kadar hassas olur. Isınma ve soğuma bölümlerinin ayrıca ikiye farklı bölüme ayrılmasının nedeni, farklı fırın sıcaklıklarında fırın beklerinin farklı güçlerde çalışması, baca gazı sıcaklıklarının farklı olması nedeniyle baca kaybının değişmesi ve yüzey sıcaklıklarının değişmesi ile yüzey (cidar) kayıplarının değişmesidir.

Fırınlr, prosesin özelliklerine göre, ısınma periyotunun genelinde tam ya da yüksek kapasite ile çalışır. Yine en yüksek sıcaklıkta sabit kaldığı periyotta yüksek kapasitede çalışır. Ancak soğuma periyotunda ise çalışma düşük kapasite ile olur ya da hiç çalışmaz. Hatta bek fanları ile fırın içine ortam sıcaklığında hava verilerek fırının daha çabuk soğuması sağlanabilir.

Bütün bu verilere dayanarak sürekli fırınlarda, sürekli rejime girmiş fırın bir kez enerji dengesi sağlanırken, süreksiz fırınlarda bu işlem en az üç, mümkünse üç seferden fazla ısınma, yüksek sıcaklıkta kalma ve soğuma süreçlerinde iş-enerji dengesi işlemi yapılması gerekmektedir.

4. KÜTLE VE ENERJİ DENGESİ

Enerji dengesini hesaplayabilmek için öncelikle, süreksiz fırınlarda kütle dengesinin hesaplanması gerekmektedir. Süreksiz fırınlarda, belirlenen periyodlar içinde, fırına giren kütle ile fırından çıkan kütlelerin eşitliğinin gösterilmesi gerekir. Kütle ve enerji dengesi için yapılacak işlemleri madde madde yazılırsa;

Süreksiz fırınlarda kütle dengesi eşitliği çıkarılırken gözden kaçırılmaması gereken konular arasında, fırına ısıl işlem için konulan malzemelerin yanında,

1. Konulan malzemelerin başta olmak üzere fırın içindeki malzemelerde faz değişikliği olup olmadığı, en belirgin örneği malzemelerdeki suyun buharlaşması ve baca gazı ile atılması,
2. Isıl işlem sırasında malzemelerde reaksiyon olup olmadığı, eğer oluşan reaksiyon varsa, reaksiyonunun ekzotermik ya da endotermik olduğunun belirlenmesi,
3. Malzemelerin absorbe ettiği gaz ya da sıvı varsa, belirlenmesi

önemlidir.

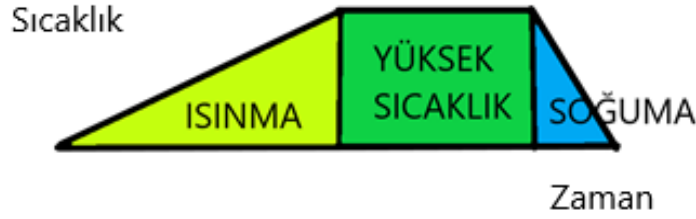
Fırının enerji dengesi hesabı için fırın kütle dengesinde kütleleri belirlenen malzemelerin ısınma ısıları, hangi sıcaklık dereceleri arasında değiştiği varsa buharlaşan su, solvent, absorbe edilen maddelerle oluşan reaksiyonların ne olduğunun bilinmesinin yanı sıra;

1. Fırın içinde oluşan endotermik ya da ekzotermik reaksiyonlar, faz değişimi, özellikle suyun buharlaşması, yakma havası ve yakıtla giren nem,
2. Malzemelerin yüklendiği araba yürüten taban gibi taşıyıcıların kütlesi, arabanın yapıldığı malzeme, ısınma ısısının belirlenmesi,
3. Fırın yalıtım malzemesinin belirlenmesi, ısıl işlem başlangıç ve sonunda ortalama sıcaklığının bilinmesi gerekir. Genellikle yalıtım malzemesinin fırın içi yüzeyinin sıcaklığı ile fırının dışına bakan yüzeyinin sıcaklığının ortalamasını yaklaşık olarak yalıtım malzemesinin ortalama sıcaklığını vermektedir.
4. Yüzey kayıpları için fırının zemine sabitlendiği ayaklardaki iletimle ısı taşınımını belirlemek için ayak malzemesi ve sıcaklığını ölçmek gereklidir. Eğer ayaklarda kauçuk malzeme gibi bir yalıtım malzemesi varsa taşınım ile ısı transferi ihmal edilebilir.
5. Çevre şartlarına da bağlı olarak, fırın yüzey sıcaklığı arttıkça ısı ile olan ısı kaybının toplam ısı kaybında oranı artar. Hem ısınım hem de taşınım ile ısı kaybı artar, bununla birlikte ısınım ile olan ısı kaybı fırın Kelvin cinsinden fırın yüzey sıcaklığının dördüncü kuvveti ile arttığından, ısınım ile olan enerji kaybı belirginleşir. Artan yüzey sıcaklığıyla, yüzeye yakın havanın hızı artar ve akışın şekli değişmeye başlar, bu durum da ısı taşınım kat sayısını artırır. Fırının bulunduğu ortamdaki hava akış hızını da göz önüne almak gerekmektedir. ısınım ile yüzeyden ısı kaybı hesabını yaparken, fırın yüzey sıcaklığı ile fırının bulunduğu ortamı kapsayan duvar yüzey sıcaklıkları da önemlidir.
6. Baca kaybını ölçerken, baca gazı sıcaklığı, kompozisyonu ve debisi çok önemlidir. Baca gazı kompozisyonundan, fırın yakıcılarının hava fazlalık katsayısı belirlenir. Fırın içi sıcaklık değişkenlik gösterdiği için, buna bağlı olarak baca gazı sıcaklığı da aynı yönde değişiklik gösterir. Genellikle ısıl işlemin kontrolü için fırın içi sıcaklığı sürekli kontrol edilir. Eğer baca gazı sıcaklığı sürekli ölçülemiyorsa fırının sıcaklık diyagramı içinde bazı noktalarda bacagazı sıcaklığı ölçülür ve fırın içi sıcaklık farkı hesaplanarak bir periyoddaki baca gazı sıcaklık diyagramı oluşturulabilir. Yüksek sıcaklıklardaki baca gazlarının bacaya zarar vermesini önlemek için hava ile karıştırılarak bacaya verilebilir. Bu durumda bacaya giden karışım

gazında; fırından çıkan yanmış gazla, hava karışımı bir çevrim boyunca değişecektir. Fırınının soğuma anlarında kontrollü bir soğuma isteniyorsa fırın içine verilen hava miktarı sıcaklık kontrollü olacağından, bu süreçte bacadan sadece hava da atılsa, atılan hava miktarı değişken olacaktır ve bu durumda hesapları zorlaştıracaktır.

7. Gaz yakıt yakılan fırınlarda yakılan gazın basıncı ve sıcaklığı gerçek yakıt miktarını bulmak için çok önemlidir. Özellikle beklerin tam güçte ya da düşük güçte çalıştığı zamanlarda gaz basıncı değişebilir. Bu durumda sayaçta okunan değer ile düzeltilerek bulunan değer kısa süre içinde değişebilir. Gaz yakıtındaki bu basınç değişimi özellikle yüksek sayılabilecek basınçlarda, örneğin bir ve üstü cihaz basınç sınıflarında daha belirgin olarak gözlemlenir.
8. Sürekli fırınlarda kapak açılma esnasında, negatif basınçta çalışan fırınlara ortamdaki hava girerken pozitif basınçta çalışan fırınlar da ise fırın içinden ortama hava kaçar. Her iki durumda büyük enerji kaybına neden olur ve bu durumda kaybın ölçülmesi gerekir. Aynı durum iyi yalıtılmayan süreksiz fırınlarda ve her iki fırının bacalarında da oluşabilir.
9. Özellikle sürekli fırın kapakları açıldığı anda kapaklarından sadece taşınım, basınçla oluşan gaz giriş-çıkışının yanı sıra yüksek fırın içi sıcaklıklarından dolayı kapak ışınlama kaybı diyebileceğimiz bir kayıp oluşur. Bu kayıp hesaplanması kolay bir kayıptır ve fırın cidarı ışınlama kaybından farklı kayıptır.

Hesap kolaylığı için tavsiye edilen üretim sürecini, ısınma, yüksek sıcaklıkta tutma ve soğuma olarak en az üçe bölmektir.



Şekil 5. Süreksiz Çalışan Fırınlarda Sıcaklık-Zaman İlişkisi [2]

5. SÜREKSİZ FIRINLARDA DEĞİŞEN DEĞERLERİN ÖLÇÜMÜ

Bir fırın sisteminde ölçüm değerlerinin alınması için, sistemin nasıl çalıştığını anlaşılması, ölçüm cihazlarının belirlenmesi sonucunda kütle dengesi ve ısı dengesi oluşturulması için ölçüm noktaları, ölçüm için hangi yöntemin uygulanacağı ve hangi ölçümlerin aynı anda yapılacağı gibi konulara karar verilmesi gerekir. Örneğin her bir çevriminde aynı miktarda ürün yüklenmeyen, çevrimden çevrime aldığı ürünü değişen fırın çevrimlerinde hemen hemen her değer için aynı ölçümde alınma zorunluluğu oluşur.

Öncelikle prosesin ve fırının nasıl çalıştığını anlayarak oluşturulan kütle ve ısı dengesi için değerlerin nereden ve nasıl ölçüleceğine karar verilmesi gerekmektedir. Daha sonra hangi ölçümlerin hangi sıklıkta alınacağına karar verilir. Ölçüm yerleri ve ölçüm değerlerinin birbirini kontrol edecek şekilde, aynı değerleri birden çok kez ölçülmesi tercih edilebilir. Ölçüm cihazlarına karar verildikten sonra, aynı anda alınacak ölçümler ve bu ölçümler için gerekli olan minimum personel sayısı bulunur. Bir ölçüm sorumlusu ölçüm anında ölçüm yerinde bulunmalıdır.

Ölçüm yapan personel için oluşturulan veri giriş sayfalarına ölçüm değerlerini zamanında girmelidir. Bazı durumlarda her saat başı ölçüm alınması ve değerlerin girilmesi yeterli olmayabilir. Bununla birlikte ölçüm zamanından daha önce ve geç alınan ölçümler sorun yaratabilir. Bunun yerine ölçümlerin hangi saatte yapıldığı, ölçüm yapan personel tarafından veri girişinde yazdırılmalıdır. Bu şekilde yapılan ölçümler, enterpolasyon ya da ekstrapolasyon yöntemleri ile eşit aralıklı sonuçlar duruma getirilebilir.

Sürekli çalışan fırınlarda ölçüm değerleri, fırın sürekli rejime girdikten sonra kısa bir zaman diliminde alınması tavsiye edilir. Kontrol için ölçüm sayısı artırılabilir ama sürekli rejimdeki bir fırındaki değerler pek değişmez. Ancak fırını bu değerlerde tutan beklerin, yanma süresince baca gazı kompozisyonu ölçmek dikkat edilmesi gereken konulardan biridir.

Süresiz çalışan fırınlarda ise ölçüm belirli bir sıklıkta yapılmalıdır. Özellikle fırın sıcaklığının ısınma, yüksek sıcaklıkta kalma ve soğuma periyodlarının belirlenmesi gerekir. Bazı durumlarda ise bu üç periyodun da kendi içinde alt bölümleri olabilir. Her bir fırın için bu periyot ve alt periyotlarının süreleri ve karakterleri belirlendikten sonra, her bir periyot ve gerekiyorsa alt periyot için ısı dengesi ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Örnek olarak alınan süresiz bir fırındaki kümülatif süre dakika olarak, doğalgaz sayacından okunan değerlerin değişimi, saatlik olarak sayacın ölçtüğü doğalgaz değeri ve doğalgazın manometreden okunan basınç değerleri Tablo 1' de gösterilmiştir. Bu değerler kullanılarak fırında bir saatte kullanılan doğalgaz değeri hesaplanabilir.

Tablo 1 Örnek Endüstriyel Fırında Tüketilen Doğalgaz İle İlgili Değerler

Çevrimin Başlangıcından Sonra Geçen Süre (dakika)	2	52	97	212	297	407	447	477	523	528	618	653	671	701	720	774	796	856	946
Doğalgaz Sayacı Göstergesi (m ³)	167488	167488	167489	167505	167535	167605	167632	167652	167685		167734	167749	167749	167749	167749	167749	167749	167749	167749
Sayaç Göstergesindeki Fark (m ³)		0	1	16	30	70	27	20	33		49	15	0	0	0	0	0	0	0
Manometrede Okunan Basınç (bar)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,633	0,558	0,672	0,643	0,78		0,858	0,873	0,91	0,919	0,931	0,955	0,967	0,962	0,975

Tablodaki kırmızı bölge fırının ısındığı, beklerin çalıştığı, mavi bölge ise fırının soğuma bölgesini gösteren beklerin çalışmadığı zaman dilimini göstermektedir. Tabloda bu iki bölümü ayıran fark, doğalgaz sayacının çalışması ve durmasıdır. Fırının çalıştığı süreden sonraki dakikaları gösteren ikinci satırda, 618. dakika ile 653. dakika arasında bir yerde beklerin durduğu görülmektedir. Böylece bu iki farklı bölgeyi belirlemek kolay olmaktadır. 618. dakika sütunu ile 653. dakika sütunu oranlandığında, 653. dakika sütununun ısıtma bölgesinde olduğu hesaplanmıştır. Daha sonra bu iki bölgeye bölünen bir çevrim, kendi içinde daha çok benzer parçaya bölünerek çevrim karakteristiği daha belirgin yapılmalıdır. Çevrimin üçe bölünmüş hali Tablo 2' de görülmektedir. Çalışmalarda, fırın içi sıcaklığını da hesaba kattığımız beş parçaya bölünmesini daha uygun hale geldiği görülmüştür.

Tablo 2 Fırın Çevriminin Benzer Şartlarda Bölünmesi

Çevrimin Başlangıcından Sonra Geçen Süre (dakika)	2	52	97	212	297	407	447	477	523	528	618	653	671	701	720	774	796	856	946	
Doğalgaz Sayacı Göstergesi (m ³)	167488	167488	167489	167505	167535	167605	167632	167652	167685		167734	167749	167749	167749	167749	167749	167749	167749	167749	
Sayaç Göstergesindeki Fark (m ³)		0	1	16	30	70	27	20	33		49	15	0	0	0	0	0	0	0	
Manometrede Okunan Basınç (bar)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,633	0,558	0,672	0,643	0,78		0,858	0,873	0,91	0,919	0,931	0,955	0,967	0,962	0,975	
Yakıt Tüketimi (Nm ³ /dakika)		0	0,043711	0,273671	0,848359	1,655517	1,56483	1,5872	1,52537		1,098518	0,856726	0	0	0	0	0	0	0	
	Ön Isıtma Bölgesi					Kuvvetli Isıtma Bölgesi							Soğuma Bölgesi							

Başlangıçtan itibaren sonra doğalgaz ve manometre değerlerinin düzenli olmayan aralıklarla okunduğu görülmektedir. Hesapları yapabilmek için yaklaşık 16 saat süren çevrimde okunan değerlerin eşit aralıklı zaman dilimlerine ayrılması gerekmektedir. Bu durumda oluşan Tablo 3 aşağıda görülmektedir.

Tablo 3. Ölçülen Yakıt Değerlerinin Eşit Aralıklı Saat Dilimlerine Göre Hesaplanması

Ölçüm Yapılan Saat Dilimini Temsil Eden Saat	7,30	8,30	9,30	10,30	11,30	12,30	13,30	14,30	15,30	16,30	17,30	18,30	19,30	20,30	21,30	22,30
Ölçüm Yapılan Saat - Başlangıçtan İtibaren (Isınma Dilimi - Isınma/Soğuma)	1. h ls	2. h ls	3. h ls	4. h ls	5. h ls	6. h ls	7. h ls	8. h ls	9. h ls	10. h ls	11. h ls	12. h s	13. h s	14. h s	15. h s	16. h s
Sayaç Göstergesindeki Fark (m ³)	5,00	6,50	15,30	16,20	20,60	30,20	37,70	35,60	56,00	90,90	23,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fatura ile karşılaştırma sonucu düzeltme (0,942 ile düzeltildi)	4,71	6,123	14,413	15,26	19,405	28,448	35,51	33,54	52,75	29,108	21,949					
Manometrede Okunan Basınç-Cihaz Basıncı (bar)	0,90	0,90	0,90	0,82	0,59	0,60	0,55	0,78	0,82	0,87	0,90					
Mutlak Basınç (bar)	1,90	1,90	1,90	1,82	1,59	1,60	1,55	1,78	1,82	1,87	1,90					
Tüketilen Gerçek Doğalgaz miktarı (Nm ³)	8,34	10,84	25,51	25,88	28,75	42,41	51,29	55,62	89,46	50,58	38,86					

Tablo 3'te ölçüm yapılan saat dilimini temsil eden zaman aralığı, örneğin saat 7.00-8.00 saat dilimini, saat 7.30 ifade etmektedir. Hesaplama yapılan zaman aralıkları ne kadar küçültülürse, yapılan hata o kadar az olacaktır. Örnek hesapta bir saatlik zaman dilimi hesapların doğruluğu için yeterli olduğu görülmüştür. Bir alt sırada ise, fırının çalışma periyodunda kaçınıcı saatte olduğu ve ısınma ya da soğuma durumunda olduğu belirtilmektedir. Düzensiz zaman aralıklarında alınan ölçüm değerleri, interpolasyon ve ekstrapolasyon yöntemleri kullanılarak, saatlik dilimler haline tek tek getirilmiştir[3].

Ölçülen değerler, uzun süreli çevrim sayısı ve fatura değerleri ile karşılaştırılmış ve arada yaklaşık %6 kadar fark olduğu görülmüştür. Doğalgaz sayacı, manometre ve ölçüm saatlerinin tam tabloda yazılan zamanlarda olmaması, doğalgaz sıcaklığının ölçüm sıcaklığından farklı olması, fatura hesabındaki hatalardan olduğunu düşündüğümüzden nedenlerden oluşan bu fark, fatura değeri temel alınarak düzeltilmiştir.

5.a. Ölçüm Değerleri İle Hesaplanması

Ölçüm aralıkları eşit değilse, ölçümler eşit aralıklara getirilecek şekilde enterpolasyon ya da ekstrapolasyon yapılmalıdır. Çizilen basit grafiklerle belirgin ölçüm ya da hesap hatalarının olup olmadığı kontrol edilmelidir. Ölçüm değerleri arasında mantık dışı farklı bir ölçüm hatalarının diyagram değerlerine çekilmesi tavsiye edilir.

5.b. Enerji Dengesi Hesabındaki Enerji Kayıpları

5.b.1. Baca Gazı Kayıpları Hariç Diğer Enerji Kayıpları

Fırında kullanılan enerji miktarlarının hesaplanması, doğalgazın yanması ile üretilen ısı enerjisini hesaplamaktan çok daha karışıktır. Bu tür fırın ve kazanlardan iki temel kayıp olmaktadır. Bunlar baca kaybı ve cihaz yüzey (kabuk - cidar) kaybını oluşturan taşınım ve ışıma kaybıdır. Fırının zemine bağlantı özelliğinden dolayı fırından yere iletim kaybı ihmal edilebilir. Ayrıca çevrimleri hızlandırmak için fırınların kapakları fırın sıcaklığı 150-250°C'de açılır. Fırın kapaklarının fırın tam soğumadan açılması sonucunda sıcak ürünlerden, ürünlerin yerleştirildiği arabadan, yalıtım malzemesinden ve fırın tuğlalarından ortama ısı yayılır.

Fırın kapakları açıldığında, fırın sıcaklığının ortalama 200°C civarında olduğu gözlemlenmiştir. Bu sıcaklıkta fırından işlem gören ürün, ürünü fırında taşıyan araba, arabanın yalıtım malzemesi ve fırını yalıtım için kullanılan özel tuğlalar ortam sıcaklığına kadar soğumaktadır. Fırın dışına alınan ürün, araba ve arabanın yalıtım malzeme sıcaklığı 200°C, fırın duvar yalıtım malzemesi için fırın içi sıcaklığı ile ortam sıcaklığının ortalama sıcaklığı olarak 115°C olduğu kabul edilerek hesap yapılabilir.

Fırına giren ürün ile çıkan ürün ağırlıkları uzun bir süre ölçülmüş, aralarında ağırlık farkı ortalama %7 olarak bulunmuştur. Bu fark, ürün bünyesindeki suyun buharlaşmasından kaynaklandığı kabul edilmiştir[4].

Fırın yüzey kayıpları (zarf kaybı) için fırının dört yan yüzeyi ve üst yüzeyinden yapılan sıcaklık ölçümleri, kanallarda ortalama hız ölçümünde de yapıldığı gibi dörtgenlere ayrılarak ölçüm noktaları belirlenmiştir. Bir yüzey termometre ile düzenli aralıkla ölçülen sıcaklıklar için Nusselt Sayısı 'dan ısı

taşıyım katsayısı bulunmuştur. Her saat dilimi içinde değişen sıcaklıkla, fırın yüzeyindeki hava akımının laminer ya da türbülanslı olması durumuna göre değişen ısı taşıyım katsayısı ile hesap yapılmıştır. Fırınların alt yüzeyinin sıcaklıkları ölçülemediği için sadece tahmin edilmiştir. Hesaplanan örneğe benzetilerek diğer fırınlar için hesap yapılmıştır. Sadece bir fırının yan yüzeyi ile ortam sıcaklık farkı Tablo 4 de gösterilmiştir. Seçilen örnek fırında ölçülen en yüksek ortalama sıcaklık farkı 36°C olmuştur.

Tablo 4. Fırın Yüzey Sıcaklıkları ve Ortam Sıcaklıkları Farkının Çevrim Süresince Değişimi

Ölçüm Yapılan Saat Dilimini Temsil Eden Saat	7,30	8,30	9,30	10,30	11,30	12,30	13,30	14,30	15,30	16,30	17,30	18,30	19,30	20,30	21,30	22,30
Ölçüm Yapılan Saat – Başlangıçtan İtibaren (Isınma Dilimi -Isınma/Soğuma)	1. h ls	2. h ls	3. h ls	4. h ls	5. h ls	6. h ls	7. h ls	8. h ls	9. h ls	10. h ls	11. h ls	12. h s	13. h s	14. h s	15. h s	16. h s
Fırın Yan Yüzey Sıcaklığı – Ortam Sıcaklığı (°C)	0	0	0	0	2	5	10	17	29	36	34	32	30	26	22	18

Fırın iç basıncı, başlangıçta atmosfer basıncına çok yakındır. Sürekli fırınlarda fırın içi basınç, süreksiz fırınlara göre daha önemlidir. Sürekli fırınlarda fırın içi basınç pozitif olduğunda malzeme giriş ve çıkışında kapaklar açıldığı için kapaklardan sıcak duman gazları kaçar. Bunun tersi durumda, fırın içi basınç negatif olduğunda bu sefer ortam sıcaklığındaki hava, fırın içine girer ve fırını soğutur. Ayrıca fırın kapaklarından ışıyım kaybı da hesaba katılması önemlidir. Özel durumlar dışında süreksiz fırınlarda bu tip kapaklardan ışıyım kayıpları ya yoktur ya da son derece küçüktür. Örneğin süreksiz cam ergitme fırınlarında küçük karıştırma boşlukları olabilir.

5.b.2.Duman Gazı Kayıpları

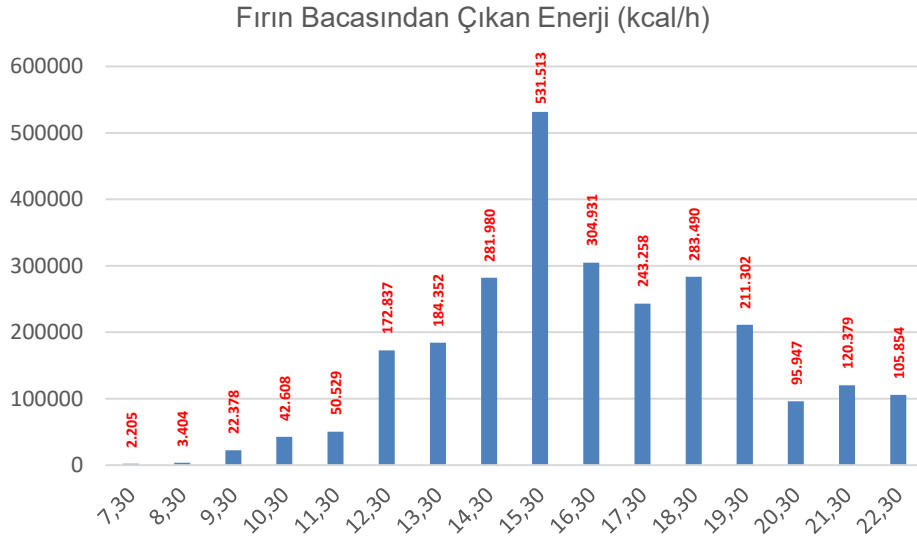
Fırın kaybı hesabında önemli olan baca sisteminin kayıplarını hesaplanmasıdır. Baca sisteminin korunması amacıyla duman gazı, hava ile karıştırılarak sıcaklığı düşürüldükten sonra bacadan atmosfere atılır. Ayrıca baca sisteminden atmosfere atılan ısı enerjisi, sağlanabilecek tek kayıp enerjidir. Bu nedenle baca sistemindeki kayıpların hesaplaması konusunda dikkat edilmelidir. Duman gazı ile hesap yaparken önemli olan sadece duman gazı sıcaklığının yanında duman gazının kompozisyonu daha da önemlidir[5]. Zaten yakıt tüketimi olmadığı zaman duman gazı kompozisyonunun atmosferik hava kompozisyonu ile aynı olduğu açıktır. Yanma bölümünde ise fırından çıkan duman gazı aynı olmasına rağmen, duman gazının fırın çıkışında farklı oranlarda hava ile karışması, duman gazı ölçümlerindeki kompozisyonunu tamamen değiştirir. Bu durum baca gazı hesabını zorlaştırmaktadır. Fakat bu durum bir kez fırın yakma sistemindeki hava fazlalık katsayısı (λ) hesaplandıktan sonra fırın bacasını soğutmak için baca gazına karıştırılan hava miktarını hesaplamakta kolaylık sağlar[7]. Tablo 5' de Fırın içi sıcaklıkları ve baca sıcaklıklarının çevrim süresince değişimi gösterilmiştir.

Tablo 5. Çevrim Süresince Fırın İçi Sıcaklığı ve Baca Sıcaklığının Değişimi

Ölçüm Yapılan Saat Dilimini Temsil Eden Saat	7,30	8,30	9,30	10,30	11,30	12,30	13,30	14,30	15,30	16,30	17,30	18,30	19,30	20,30	21,30	22,30
Ölçüm Yapılan Saat – Başlangıçtan İtibaren (Isınma Dilimi -Isınma/Soğuma)	1. h ls	2. h ls	3. h ls	4. h ls	5. h ls	6. h ls	7. h ls	8. h ls	9. h ls	10. h ls	11. h ls	12. h s	13. h s	14. h s	15. h s	16. h s
Fırın İçi Sıcaklığı (°C)*	81	142	293	427	572	695	864	966	1047	1067	1069	752	555	448	322	213
Baca Sıcaklığı (°C)	45	63	98	137	195	262	338	457	416	335	347	366	271	189	25	25

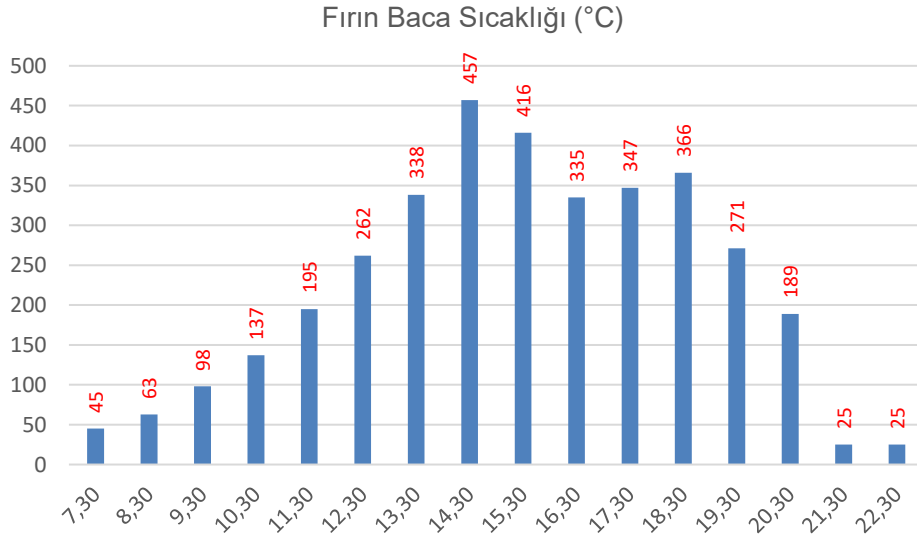
*Üretici gizliliğini korumak için normal bir çevrimdeki fırın içi sıcaklığı değil, bir deneme üretimi fırın içi sıcaklığı verilmiştir.

Baca sistemindeki kayıp, üç yöntem ile hesaplanabilir. Birinci yöntemde, yakılan yakıt debisi ve hava fazlalık katsayısı ile duman gazı kompozisyonunu temel alarak duman gazı debisi bulunur ve buna bağlı olarak duman gazı kaybını hesaplanabilir. İkinci yöntem fırın içi sıcaklığını temel alarak baca sistemi ve ortam sıcaklık hesaplarından, baca sistemindeki boşluklardan giren havayı hesaplayarak baca kaybını bulunabilir. Üçüncü yöntem ise EN 12953-11 standardında da belirtilen yöntemle benzeterek, ısı enerjisi kazanım ve kayıplarının bilançosundan duman gazı kaybını hesaplanmaktadır. Üçüncü yöntem daha az hatalı sonuç verir. Örnek fırın, üçüncü yöntemle hesap edilmiş, birinci ve ikinci yöntemle de kontrol edilmiştir. Baca gazı hesabı konusunda gösterilen bu hassasiyetin nedeni, ısı sağlanacak ana kayıbın baca sisteminde olmasıdır. Şekil 6'de gösterilen duman gazındaki ısı enerjisi kullanılabilen enerji değil, sadece fırın bacasından çıkan enerjidir. İlk dört saat ürün, araba ve yalıtım malzemesinin ısıtılması ve ürün içindeki suyun buharlaşması nedeniyle neredeyse sağlanabilecek çok az enerji vardır. Bu ilk dört saat yüzey kaybı da yoktur.



*Üretici gizliliğini korumak için normal bir çevrimdeki fırın bacasından çıkan enerji değil, bir deneme üretimi bacadan çıkan enerji verilmiştir.

Şekil 6. Fırın Bacasından Kaybolan Isı Enerjisinin Çevrim Süresince Değişimi



Şekil 7. Fırın Baca Sıcaklığının Çevrim Süresince Değişimi

Fırın bacasından atılan ısıdan ziyade baca gazının sıcaklığına bağlı olarak başka bir proste kullanılabilir ısı enerjisi miktarı dikkate alınmalıdır. Fırın bacası sıcaklıklarının çevrim içindeki değişimi Şekil 7’de görülmektedir.

5.c. Ölçüm Hesaplarının Kontrolü

Ölçüm değerleri ile gerçek durumları karşılaştırmak için en önemli konu, pek yapılmayan ama mutlaka yapılması gereken, hesaplanan değerlerle başka bir yerden alınan örneğin fatura değerlerinin birbirini tutup tutmadıkları çapraz olarak kontrol etmektir. Bu şekilde yapılan hatalar bulunabilir. Gerekirse bazı şüphelenilen ölçümler tekrar alınmalıdır. Ölçüm sonucu hesaplanan değerler ile kontrol değeri arasındaki fark deneyimlerden yararlanılarak bir hata aralığına indirildiğinde hesap bölümü tamamlanmış olur.

SONUÇ

Endüstriyel özellikle sürekli fırınlarda kullanılacak ısı analiz yöntemleri üzerine yazılmış literatür vardır. Buhar kazanları gibi ısı sistemlerin verimlerini bulmak için basit bilgisayar programları mevcuttur ve bazı kitaplarda hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bununla birlikte sanayi tesislerinde çok bulunan sürekli ve süreksiz endüstriyel fırınlar gibi ısı sistemlerde enerji tasarrufu için gerekli enerji dengesini çıkarmak için yazılı çalışma azdır. Bu çalışmada, teorik bilgilerimiz ışığında yıllar içinde edindiğimiz deneyimlerle endüstriyel fırın sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamak için gerekli ısı dengenin oluşturulması konusunda kullanışlı kılavuz oluşturmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] JENKINS, B.; MULLINGER, P., (2011). "[Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation](#)". Butterworth-Heinemann. ISBN 9780080558066.
- [2] http://www.opexworks.com/KBase/Energy_Management/Energy_and_Environment/Material_and_Energy_Balance.htm (14.12.2020)
- [3] SHEPPARD, W. F., (1911). "Interpolation". Pada Chisholm, Hugh (ed.). Encyclopædia Britannica. 14 (11th ed.). Cambridge University Press. pp. 706–710.
- [4]STOECKER W., (2017). "Design Of Thermal Systems 3rd edition", pp304.

ÖZGEÇMİŞ

Barbaros BATUR

1966 İstanbul doğumludur. 1990 yılında İTÜ Makine Fakültesini Makine Mühendisi olarak bitirmiştir. 1995 yılında Marmara Üniversitesinden Endüstri Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2002 yılında YTÜ' de Makine Mühendisliği, Isı Proses Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2005 yılından beri YTÜ, Makine Bölümünde Öğretim Görevlisi Dr. olarak ders vermektedir. Proses, enerji, ısıtma-havalandırma tesisat konularında çalışmaktadır.

Mustafa Cem Çelik

1973 yılı Edirne doğumludur. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans derecesi olarak yüksek mühendis olmuştur. 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Doktor unvanını almıştır. 1999 Yılından bu güne Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi / Öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yenilenebilir enerji, hidroelektrik santraller, iç hava kalitesi, karbon ayak izi hesaplamaları konularında çalışmaktadır.

Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından mezun olmuştur. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi olarak, 1998-2013 yılları arasında kazan ve basınçlı kap sektöründe Ar&Ge, Tasarım, Üretim ve Şantiye montaj alanlarında çeşitli projelerde çalışmıştır. 2013-2022 yılları arasında, Bacader Genel Koordinatörü olarak görev yapmıştır. Halen MMO İstanbul Şubesinde Kazan ve Basınçlı Kaplar komisyon başkanlığı yapmaktadır. MMO İstanbul Şubesi bünyesinde yayınlanan "Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sistemleri" kitabının altı bölümünün yazarı ve son üç baskısının da editörü, ISKAV bünyesinde yayınlanan "Endüstri Kazanları" kitabının bir bölümünün yazarı ve "Sıcak Su Kazanları" kitabının üç bölümün yazarı ve kitabın son baskısının editörüdür. İMSAD Yapı Malzemeleri Komisyonu ile birlikte "Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Rehber Kitap" ve Çevre Dostu Malzemeler Komisyonu ile "Sürdürülebilir İnşaat



Malzemeleri Sözlüğü" çalışmalarına katkı sağlamıştır. Yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazıları bulunmaktadır.

MAHAL İÇERİSİNDEKİ RADYATÖR YERLEŞİMİNİN İÇERİDEKİ SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİNİN NÜMERİK ANALİZ İLE İNCELENMESİ

Investigation of the Effect of Panel Radiator Placement on Temperature Distribution in a Room by CFD Analysis

Hande Ufat

ÖZET

Bu çalışmada bir mahal içerisinde radyatörlerin farklı yerlere konulması sonucu mekandaki sıcaklık dağılımının ne şekilde etkilendiği CFD analizi ile incelenmiştir. Radyatörlerin mekan içerisine yerleştirilirken pencere altları veya dış duvar üzeri tercih edilir. İncelenen mahalde dış duvarlarda zemine kadar büyük pencereler olduğundan dolayı, radyatör boş olan iç duvara konumlandırılmıştır. Mevcut durumla birlikte iki farklı varyasyonun; biri aynı uzunluktaki radyatör dış duvara pencere yanına dikey olarak konumlandırılarak, diğeri mevcut radyatörle toplamda aynı uzunlukta olan iki radyatör pencerelerin yanına konumlandırılarak, ANSYS Fluent programı ile analiz yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, iki radyatörün yerleştirildiği varyasyonda ortamın daha hızlı ısındığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Panel radyatör, ısıtma, termal konfor, CFD analizi.

ABSTRACT

In this study, how the temperature distribution in a room is affected because of placing the radiators in different places in the room has been examined by CFD analysis. While placing the radiators inside a room, they are preferred under the windows or on the outer wall. Since there are large windows on the outer walls up to the floor in the area under study, the radiator was positioned on the empty inner wall. With the current situation, two different variations; Analysis was run with the ANSYS Fluent program, one of which is the same length radiator on the outer wall, positioned vertically next to the window, the other two radiators of the same length as the existing radiator are positioned next to the windows, When the results were evaluated, it was seen that the room warmed up faster in the variation in where the two radiators were placed, compared to other alternatives with radiators.

Key Words: Panel radiator, heating, thermal comfort, CFD analysis.

1. GİRİŞ

Binalar, dünyadaki enerji tüketiminin % 30-40'ını oluşturmaktadır [1,2]. Bu enerji tüketiminin çok büyük bir kısmı da ısıtma için harcanmaktadır [3]. Enerji kaynaklarının azaldığı ve maliyetlerinin yükseldiği bu dönemlerde yapılabilecek küçük değişikliklerle büyük enerji tasarrufları sağlanabilir. Binalarda ısıtma yapmak için büyük çoğunlukla panel radyatörler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda merkezi ısıtma sistemi olarak radyatörlerin diğer sistemlere göre hem ısı konforu hem de enerji tüketimi açısından iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [4]. Termal konfor ve enerji tüketimi açısından radyatörlerin yüzey alanı, çalışma sıcaklığı ve mekan içindeki yerleşimi, radyatör etrafına konulan engeller ile birlikte duvarların ısı iletim katsayıları ve pencere büyüklükleri gibi faktörler oldukça etkilidir [5,3]. Bu faktörlerin tasarımcılardan kullanıcılara kadar çok iyi anlaşılması oldukça önemlidir. Radyatörlerin bağlantı şekilleri ve etrafında engeller olup olmaması durumuna göre farklı çalışmalar yapılmakla birlikte radyatörün mahal içerisindeki yerleşimin ısınmaya etkisi pek fazla incelenmemiştir. Üçler v.d. (2015)

yaptıkları çalışmada radyatör etrafına yerleştirilen engellerin ısınmaya etkisini deneysel olarak incelemişlerdir [3]. Pencere altında konula bir radyatörün üstünü ve yanlarını kapatarak ölçüm almışlardır. Odanın orta noktasında alınan sıcaklık ölçümlerine bakıldığında, etrafı açık olan radyatörlerde çok az bir farkla istenilen sıcaklığa daha kısa sürede ulaşılmıştır. Tüketilen enerjiye bakıldığında da çok fazla bir fark görülmemiştir. Basok vd (2014) çalışmalarında pencere altına konumlandırılmış iki panelli bir radyatörle ısıtılan bir mahaldeki hava dağılımını CFD ile çözmüşlerdir [6]. Oda içerisindeki sıcaklık dağılımının üniform olmadığını, zemin ve dış duvara yakın bölgelerde soğuk alanlar olduğunu görmüşlerdir. Çalışır vd. (2017) bir panel radyatörde su giriş-çıkış sıcaklığı bağlantılarının farklı yerlerde olması durumuna radyatörlerdeki akış karakteristiklerini hem deneysel hem de CFD analiz ile inceleyerek en iyi bağlantı şeklini tespit etmeye çalışmışlardır [1]. Üsten giriş-aynı hizada alttan dönüş üstten giriş-karşı hizada alttan çıkış ve alttan giriş-karşı hizada alttan çıkış şeklinde olacak şekilde üç farklı bağlantıyı incelemişlerdir. Denenen tüm su giriş sıcaklıklarına göre en fazla ısıyı yayan ve radyatördeki en iyi üniform sıcaklık dağılımını veren üstten giriş-karşı hizada alttan çıkış şeklinde olan bağlantı olduğu görülmüştür. Deneysel çalışmayla CFD sonuçları da birbiriyle örtüşmektedir. Sevilgen ve Kılıç (2011) çalışmalarında iki adet panel radyatörle ısıtılan bir odadaki ısı ve nem dağılımı ile termal konforu ortamda bulunan bir manken üzerinde CFD analizi ile incelemişlerdir [5]. Analizi farklı çevresel şartlar altında ve farklı duvar ile pencere ısı iletim katsayıları ile değerlendirmişlerdir. İyi yalıtılmış duvarlar ve pencerelerin olduğu bir ortamda enerji tüketimi düşerken ısı konforu arttığı görülmüştür. Ganesh vd. (2020) bir ofis odasında bulunan panel radyatörler ile fanlı radyatörlerin iç havaya ve ortamdaki insanlar üzerindeki etkisini sayısal simülasyon ile optimize etmişlerdir [2]. Ayrıca ortamda bulunan ısı kaynakları ve eşyaların da sıcaklık dağılımına etkisini incelemişlerdir. Mahaldeki zeminden tavana kadar olan sıcaklık dağılımında her iki radyatör tipinin de iyi sonuç verdiği görülmüş ancak daha iyi bir sıcaklık gradyeni için fanlı radyatör kullanımı önerilmiştir. Eşyaların ısı transferini engellemediği ancak etrafındaki bölgelerde türbülans oluşturarak hava akışını etkilediği görülmüştür.

Bu çalışmada ise radyatörle ısıtılan mevcut bir mahaldeki sıcaklık dağılımının analizi Fluent programı yapılmıştır. Sonrasında aynı radyatör dış duvarda pencere yanındaki boşluğa sığacak şekilde dikey olarak konumlandırılmıştır. Bir diğer alternatif de toplamda mevcut radyatörle aynı uzunlukta olan iki radyatör pencere yanlarına yerleştirilmiştir. Bu iki varyasyonun da analizi yapılarak mevcut duruma kıyaslanmıştır.

2. SAYISAL METOD

Üç boyutlu akış ve ısı transferi analizi için Fluent programı kullanılmıştır. Program süreklilik, enerji ve transport denklemlerini doğal konveksiyon etkileriyle birlikte sayısal olarak çözmektedir. Sayısal çözümde second-order discretization method ve SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Kütle korunumu denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Denklem (1) kütle korunumu denkleminin genel formudur ve hem sıkıştırılabilir hem de sıkıştırılamaz akışlar için geçerlidir. S_m terimi faz değişimi sırasında değişen kütle miktarıdır. Momentum korunumu denklem (2)'de aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

$\bar{\tau}$ değeri gerilme tensörü olup aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I \right] \quad (3)$$

μ moleküler viskozite, p statik basınç, I ise birim tensördür.

Enerjinin korunumu denklemi ise en genel halde aşağıdaki şekilde verilmiştir;

k_{eff} efektif taşınım katsayısı olarak ifade edilmektedir. J_i terimi ise çok fazlı akışlarda j adet türün difüzyon katsayısıdır. Denklem 4'ün sağ tarafındaki ilk üç terim sırasıyla iletim sırasındaki enerji transferini, species diffusion ve viskoz dağılımını vermektedir. S_h terimi ise hacimsel ısı kaynaklarını ifade etmektedir. E ifadesi ise aşağıdaki şekilde bulunabilir;

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

Species transport denklemi için korunum denklemi genel formda aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = \nabla \cdot \left[\left(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla Y_i \right] + S_i \quad (6)$$

Denklem (6)'da verilen Y_i değeri i . türdeki lokal kütle oranı, $D_{i,m}$ karışımdaki i türündeki kütle difüzyon katsayısı, Sc_t türbülanslı Schmidt sayısı ve S_i ise herhangi bir kaynak terimidir.

İç hava termal dağılımı ile ilgili yapılan birçok çalışmada standart k - ε modeli tercih edilmekle birlikte [2;7;8;9] bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır [10]. Bunun yerine daha kararlı ve kesin sonuçlar verdiği için RNG k - ε modeli tercih edilmiştir [5;11;12]. Her iki model de Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiş olup birbirlerine benzer denklemler kullanılmaktadır ancak k ile ε için ilave fonksiyonlar içermektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (8)$$

G_k ortalama hız gradyanları nedeniyle oluşan türbülans kinetik enerjidir. G_b ise kaldırma kuvvetinden dolayı oluşan türbülans kinetik enerjidir. Y_M sıkıştırılabilir türbülans dalgalı genişleme dağılımıdır. α_k ve α_ε sırasıyla k ve ε için ters Prandtl sayılarıdır.

RNG k - ε modelindeki türbülans viskozitesi;

$$d \left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 - 1 + C_v}} d\hat{v} \quad (9)$$

Denklem 9'da görülen adi diferansiyel denklem düşük Re sayısı ile duvar etrafındaki akışların daha iyi hale getirmektedir. Bu denklemde $C_v \approx 100$ olarak ifade edilmektedir.

$$\hat{v} = \frac{\mu_{eff}}{\mu}$$

Yüksek Reynolds sayısı limitlerinde denklem 9 'dan;

$$\mu_k = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

Bu modelde kullanılan sabitler C_μ , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ olup değerleri $C_\mu = 0.0845$, $C_{1\varepsilon} = 1.42$, $C_{2\varepsilon} = 1.68$ olarak verilmiştir.

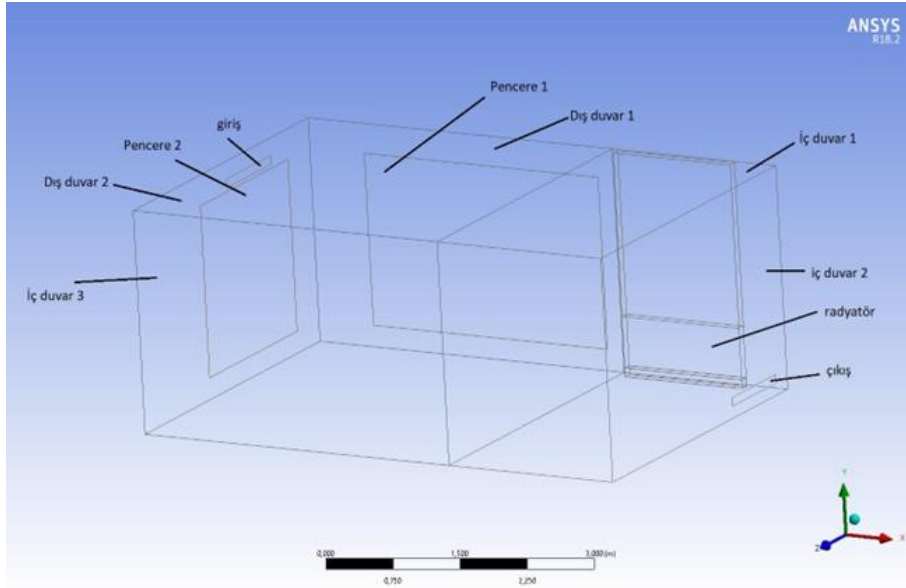
Yüzeylerden olan ışınlama ısı geçişi için surface-to-surface (S2S) modeli kullanılmıştır. İki yüzey arasındaki enerji geçişi, yüzeylerin alanına, birbirlerine uzaklıklarına ve konumlarına bağlı olarak değişir. Bu parametreler ise görüş faktörü denilen geometrik bir fonksiyon ile bulunur. Surface-to-surface radyasyon modelinin detaylarına kaynak [13]'ten erişilebilir.

Çözümleme transient olarak yapılmış olup her dosya 3600 adım (number of time steps) ve her adım 0.5 saniye (Time step size) olarak alınarak toplamda 30 dakikalık süreler için çözülmüştür. Bu sayede aynı sınır şartlarında ve aynı sürede farklı radyatör yerleşimine göre sıcaklık dağılımlarına bakılmıştır.

Hesaplamalar 4 çekirdekli Intel Xeon işlemcili bir iş istasyonuyla çözümlenmiştir. Yakınsama kriterleri akış ve enerji denklemleri için 10^{-6} olarak alınmıştır.

3. MAHAL GEOMETRİSİ VE SINIR ŞARTLARI

Mahal boyutları 6m x 4m x 2,6 m, pencereler ise 2 adet olup, 1 numaralı pencere 3m x 2m, 2 numaralı pencere ise 2m x 2m'dir. Pencerelerin olduğu duvarlar dış duvar, diğer duvarlar ise iç duvar olup mahalın bulunduğu yer de ara katta değerlendirilmiştir. Verilen ölçülerdeki mahal ve panel radyatörün mevcuttaki konumu ANSYS Workbench programında Şekil 1'de görüldüğü şekilde modellenmiştir. ANSYS Fluent programının çözüm yapabilmesi için hava giriş ve çıkış yerleri olması gerektiğinden bu noktalar da şekilde belirtilmiştir.



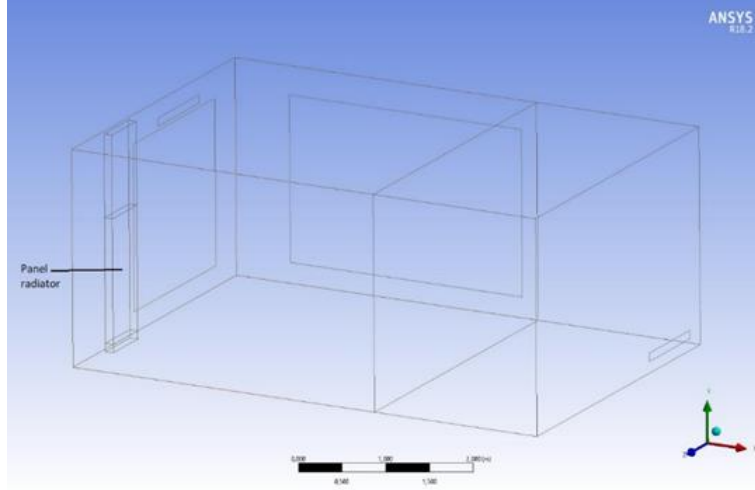
Şekil 1 Mahalin mevcut modeli ve birinci senaryo

3.1. Farklı radyatör yerleşimleri ile oluşturulan senaryolar

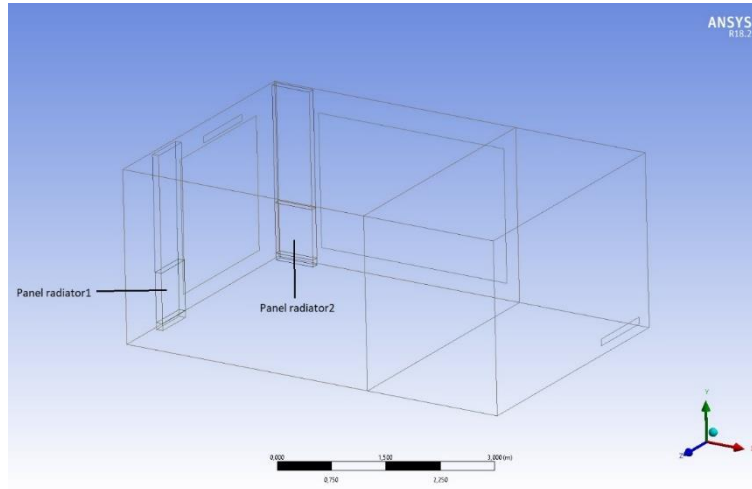
Şekil 1'de mahalın modeliyle birlikte mevcut durumdaki panel radyatör yeri verilmiştir. Radyatörün boyutları 1,5m x 0,6 m olup 1 numaralı pencerenin yanında ve iç duvar üzerindedir.

İkinci senaryoda radyatörün dış duvar üzerine konumlandırılması durumunda sıcaklık dağılımının ne şekilde olacağı düşünülerek, en uygun konum olan 2 numaralı pencerenin sol tarafındaki boşluğa dikey olarak konumlandırılmıştır (Şekil 2).

Üçüncü senaryoda ise toplamda mevcuttaki radyatörle aynı uzunlukta olan iki adet eşit uzunlukta radyatör pencerelerin sol taraflarına yerleştirilerek analiz yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2 İkinci senaryonun geometrisi



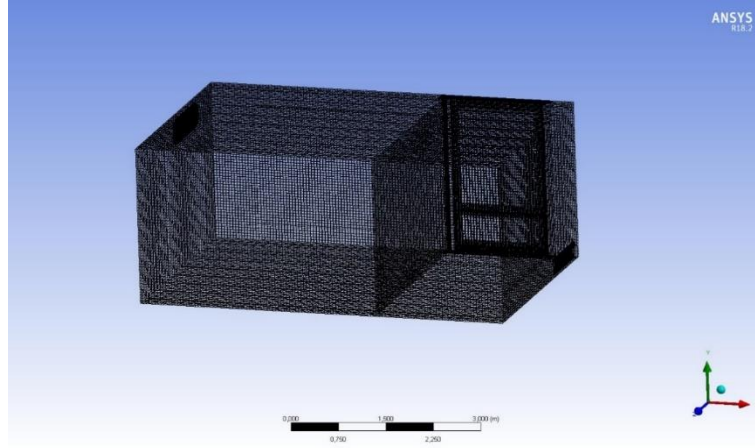
Şekil 3 Üçüncü senaryonun geometrisi

Geometri ile ilgili detaylar ve diğer ölçüler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Geometri ile ilgili spesifikasyonlar

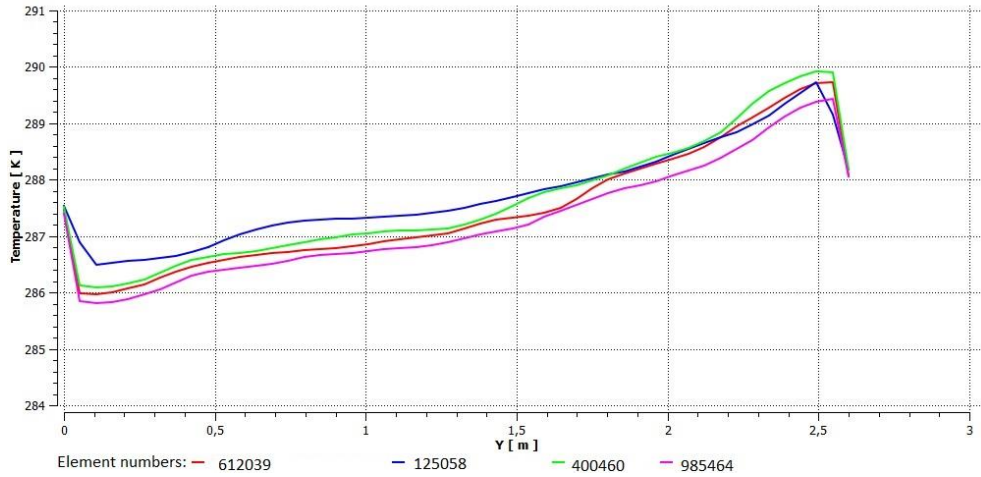
Geometri	Boyut (LxHxW)	Konumu
Pencere 1	3m x 2m	Dış Duvar 1 üzerinde
Pencere 2	2m x 2m	Dış Duvar 2 üzerinde
İç duvar 1	2,1m x 2,6m	Dış duvar 1 ile bitişik
İç duvar 2	4m x 2,6m	Çıkış havasının olduğu duvar
İç duvar 3	6m x 2,6m	Pencere 1 ve iç duvar 1'in karşısı
Dış Duvar 1	3,9m x 2,6m	
Dış Duvar 2	4m x 2,6m	
Zemin / Tavan	4m x 6m	
Hava giriş	1m x 0,1 m	Dış duvar 1'in üzerinde
Hava Çıkış	1m x 0,1 m	İç duvar 2'nin üzerinde
Radyator (Mevcut Durum)	1,5m x 0,6m x 0,1m	İç duvar 1'in üzerinde
Radyator (Senaryo 2)	0,6 m x 1,5m x 0,1m	Pencere 2'nin sol tarafında
Radyator 1 (Senaryo 3)	0,75m x 0,6m x 0,1 m	Pencere 2'nin sol tarafında
Radyator 2 (Senaryo 3)	0,75m x 0,6m x 0,1 m	Pencere 1'in sol tarafında

Modelin uygun olması sebebiyle quadratik mesh uygulanmıştır. Şekil 4'te mesh atılan model görülmektedir.



Şekil 4 Uygulanan Mesh Modeli

Çözümün ağdan bağımsızlığını sağlamak için farklı mesh sayılarında analiz yapılmış ve belirli bir noktadaki tavandan zemine olan sıcaklık değişimi grafiği çizilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Analizler, 125.058, 400.460, 612.039 ve 985.464 mesh sayılarında yapılmış ve sıcaklık-oda yüksekliği grafiği elde edilmiştir. Grafiğe bakıldığında 612.039 ile 985.564 mesh sayılarında yapılan analizlerin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Analiz sürelerinin daha kısa sürmesi açısından 612.039 mesh sayısında analizler yapılmıştır.



Şekil 5 Farklı mesh sayılarında Sıcaklık-Oda yüksekliği grafiği

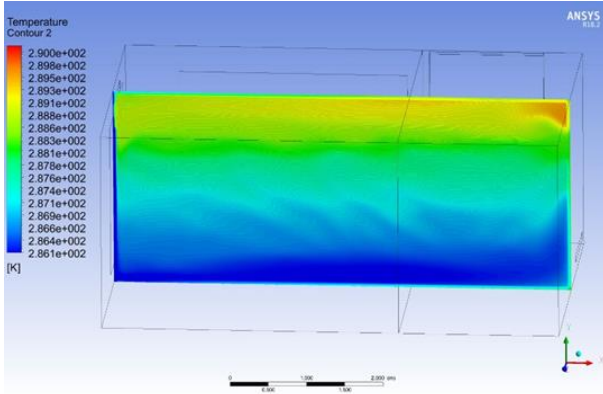
3.2 Sınır Şartları

Çözümlemelerde panel radyatör yüzey sıcaklığı 50°C alınmıştır. Giriş havası hızı 0.1 m/s, sıcaklığı 5°C ve türbülans şiddeti %10 alınmış, çıkış havası ise outflow olarak tanımlanmıştır. Dış hava sıcaklığı 5°C olup, oda içerisinin başlangıç sıcaklığı da dış sıcaklıkla aynı alınmıştır. Oda iç duvarları, tavan ve tabana bitişik olan mahaller, ısıtılmayan mahal olarak kabul edilmiş ve 15°C alınmıştır. Dış duvarlar da dış mahale açık olan duvarlar olup dışarı 5°C olarak alınmıştır. Hava ile ilgili özelliklerde Boussinesq modeli seçilmiştir. Pencerelerdeki camlar çift cam özelliğinde olup yoğunluğu 2720 kg/m³, özgül ısı (c_p) 840 J/kgK ve ısı iletim katsayısı 0.7 W/mK alınmıştır. İç duvarlarda yoğunluk 1000 kg/m³, özgül ısı 840 J/kgK ve ısı iletim katsayısı 0.46 W/mK iken dış duvarlarda yoğunluk 2400 kg/m³, özgül ısı 880 J/kgK ve ısı iletim katsayısı 2.5 W/mK olarak alınmıştır. Panel radyatör de alüminyum malzeme seçilmiş ve program içerisindeki değerler kullanılmıştır. Isı taşınım katsayıları mahalın içinde 7 W/m²K ve dışında 15 W/m²K olarak alınmıştır. Doğal taşınımında ısınan hava kendiliğinden yükseldiğinden dolayı Bouyancy efekti çözümlemelere dahil edilmiştir. Radyatör için yüzey sıcaklığı değeri verilmiş ve 50°C olarak alınmıştır.

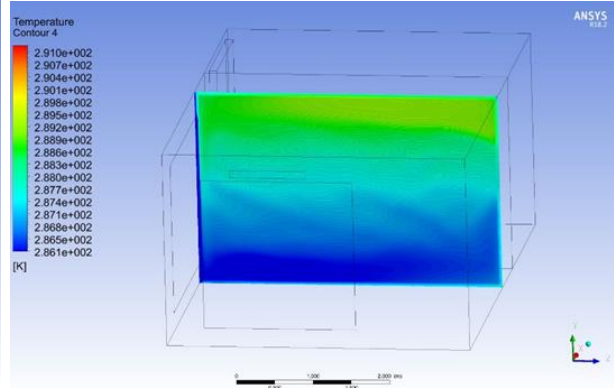
SONUÇ

Birinci senaryo olarak kabul edilen mevcut durumdaki oda içi sıcaklık dağılımı

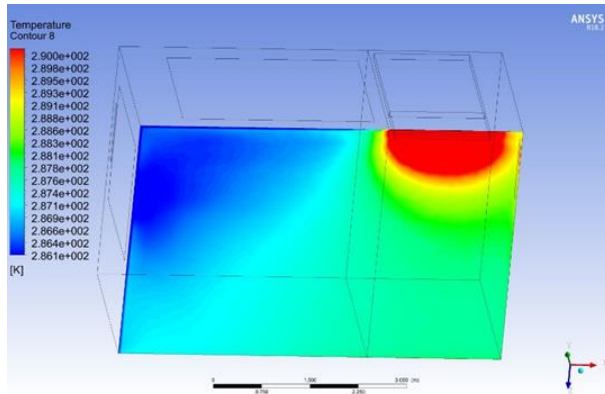
Mevcut konumda 1,5m panel radyatör iç duvar üzerine konumlandırılmıştır. Verilen sınır şartları altında transient çözümler yapılarak ilk 30 dakikalık ısıtılma sonunda oda içerisindeki sıcaklık dağılımları verilmiştir.



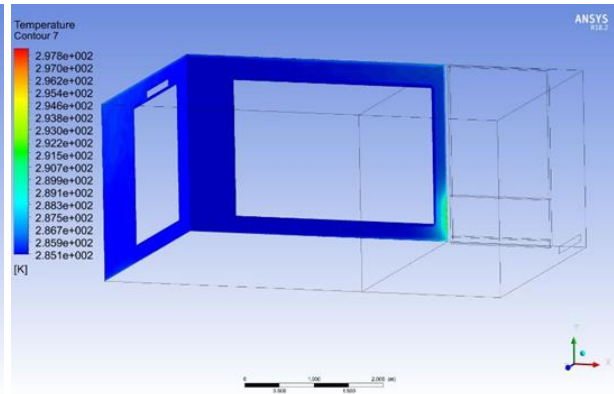
Şekil 6 z=2 m kesitindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 7 x=3m kesitindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 8 Zemindeki sıcaklık dağılımı

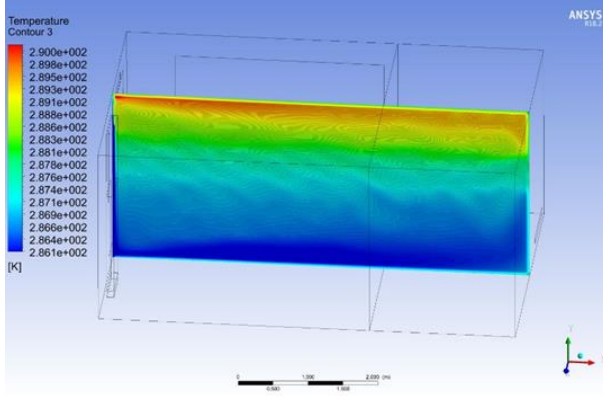


Şekil 9 Dış duvar üzerindeki sıcaklık dağılımı

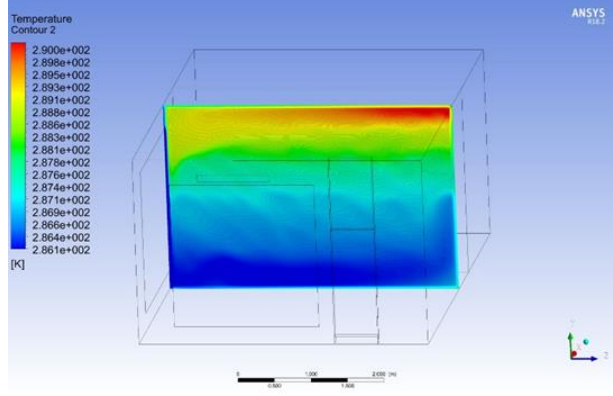
Şekil 6 ve 7'ye bakıldığında zeminden orta seviyelere kadar havanın 13-14°C civarlarına geldiği ve tavana doğru yükselen sıcak hava ile birlikte tabakalaşmış bir hava dağılımı görülmektedir. Şekil 8'de gösterilen zemindeki sıcaklık dağılımına bakıldığında radyatörün önünde sıcak bir bölge oluşurken, pencere önlerinde zeminin soğuk olduğu görülmektedir. Şekil 9'da dış duvar üzerindeki sıcaklık dağılımına bakılırsa dış duvarın da 13°C civarlarında olduğu görülmektedir.

İç duvara yerleştirilen radyatör ile elde edilen oda içi sıcaklık dağılımı

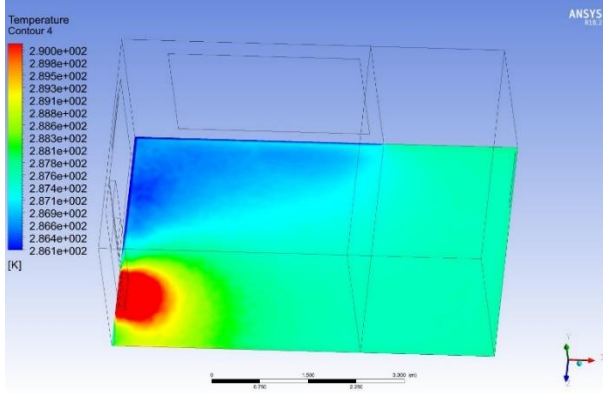
Mevcut konumda 1,5m panel radyatör iç duvar üzerine konumlandırılmıştır. Verilen sınır şartları altında transient çözümler yapılarak ilk 30 dakikalık ısıtılma sonunda oda içerisindeki sıcaklık dağılımları elde edilmiştir.



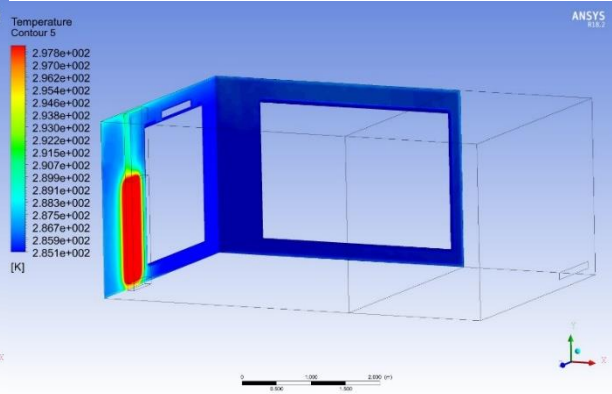
Şekil 10 z=2 m kesitindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 11 x=3m kesitindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 12 Zemindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 13 Dış duvar üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 10 ve 11'e bakıldığında, mevcut durumdakine benzer bir sıcaklık tabakalaşması görülmektedir. Tavana doğru oluşan hava tabakasının mevcut durumundan daha sıcak olduğu görülmektedir. Şekil 12 incelendiğinde mevcut durumun çözümlendiği birinci senaryoya göre tabandaki soğuk bölge daha azdır. Dış duvar sıcaklıklarına bakıldığında ise radyatörün olduğu yer ve etrafındaki bölgede sıcaklık daha yüksek iken diğer kısımların sıcaklığı mevcut durumla aynıdır.

İki adet radyatörün pencere yanlarına konumlandırılması ile elde edilen oda içi sıcaklık dağılımı

Mevcut konumdaki radyatörün uzunluğu ile aynı uzunluğu veren 2 adet eşit uzunlukta radyatör Şekil 3'te görüldüğü şekilde pencerelerin sol taraflarına konumlandırılarak önceki analizlerle aynı sürede olacak şekilde transient analizler yapılmıştır.

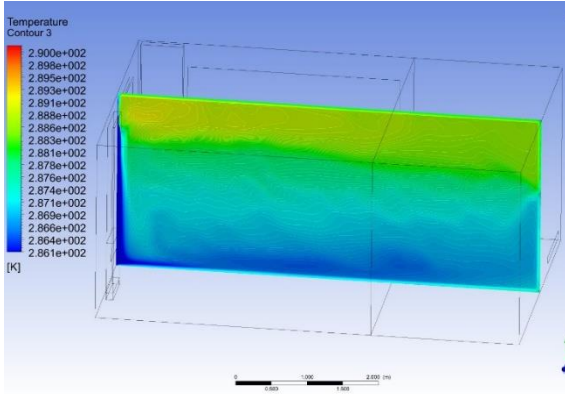


Figure 14 Temperature distribution on plane z=2 m

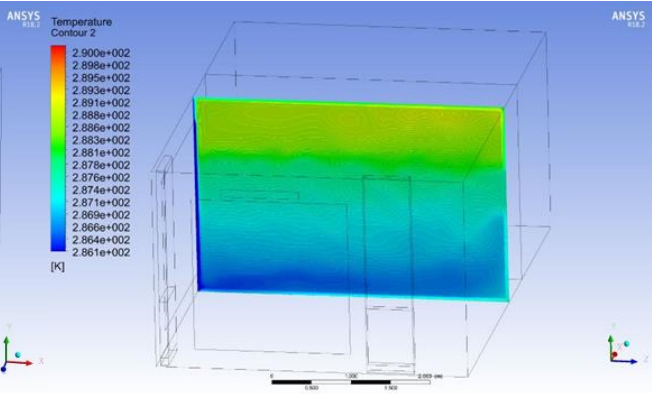
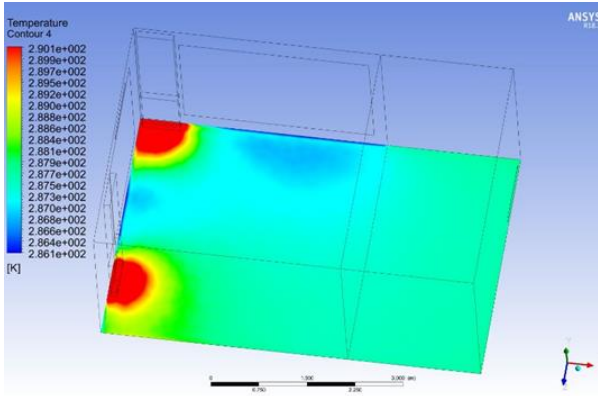
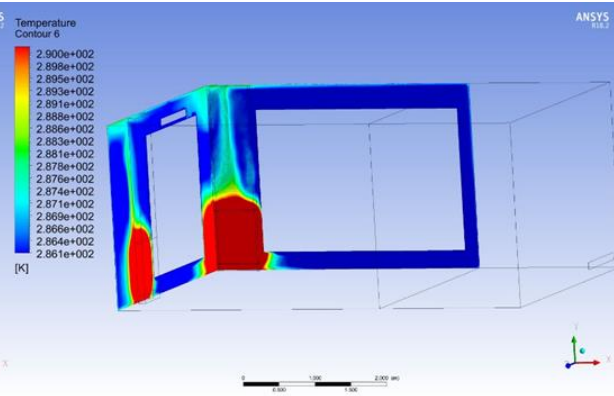


Figure 15 Temperature distribution on Plane x=3m



Şekil 16 Zemindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 17 Dış duvar üzerindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 14 ve 15'teki kesitlerdeki sıcaklık dağılımlarına bakıldığında ilk iki senaryoya göre zeminden orta kısma kadar olan soğuk tabakanın aynı sürede 1°C kadar daha fazla ısındığı görülmektedir. Ayrıca tabandan tavana kadar olan sıcaklık değişimi ilk iki senaryoya göre daha azdır. Şekil 16'daki analiz sonucuna bakıldığında zeminde pencere önlerindeki soğuk bölgelerin ısındığı görülmektedir. Şekil 17'de gösterilen dış duvar yüzeylerindeki sıcaklık dağılımına bakıldığında iki noktadan ısınma sağlandığından dolayı daha fazla bölge ısınmaktadır.

Çalışmada büyük pencerelerin olduğu mahallerde, panel radyatörlerin ne şekilde konumlandırılabilirliğine dair bir ışık tutması açısından benzer şekilde olan mevcut bir mahalde farklı senaryolarda CFD analizler yapılmıştır. Analizler her senaryo için aynı ısınma süresinde olacak şekilde transient analiz olarak çözümlenmiştir. Analizler ile mahal içerisindeki sıcaklık dağılımları belirlenmiş ve mahal içerisinde belirli yerlerden kesitler alınarak sonuçlar incelenmiştir. Mevcut mahalde büyük pencerelerden birinin yanında iç duvar üzerinde olan radyatör ile dış duvar duvarda yeterli mesafe olmamasından dolayı aynı ölçüde dikey olarak konumlandırılan radyatör olması durumunda sıcaklık dağılımlarının oldukça yakın olduğu görülmüştür. Mevcut durumdakiyle toplamda aynı uzunlukta olan iki adet radyatörün pencere yanlarına yerleştirilmesi ile yapılan analiz sonucunda ise aynı sürede oda sıcaklığının yaşam bölgesini oluşturan zeminden orta seviyeye kadar olan kısımda 1°C civarında daha yüksek olduğu ve daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edildiği görülmüştür. Zemindeki sıcaklık dağılımının da daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı büyük penceresi olan bu tip mahallerde tek bir büyük panel radyatör yerleştirmektense birkaç noktaya daha küçük panel radyatörler konumlandırmak mahal için daha kısa sürede ısınmasını sağlayacaktır. Enerji tasarrufunun önemini gitgide arttıran günümüzde bu tip küçük önlemlerin geniş çapta büyük etkileri olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Calisir T, Yazar HO, Baskaya S. Determination of the effects of different inlet-outlet locations and temperatures on PCCP panel radiator heat transfer and fluid flow characteristics. *International Journal of Thermal Sciences*. 2017 Nov 1;121:322-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.07.026>
- [2] Ganesh GA, Sinha SL, Verma TN. Numerical simulation for optimization of the indoor environment of an occupied office building using double-panel and ventilation radiator. *Journal of Building Engineering*. 2020 May 1;29:101139. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101139>
- [3] Ucler K, Kibar A, Karabag B, Yigit KS. Mekân İçerisinde Pencere Altında Bulunan Radyatörlerin Etrafına Yerleştirilen Engellerin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 2015 Dec; (4):61-9.
- [4] Sarbu I, Sebarchievici C. A study of the performances of low-temperature heating systems. *Energy Efficiency*. 2015 Jun;8(3):609-27.
- [5] Sevilgen G, Kilic M. Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators. *Energy and buildings*. 2011 Jan 1;43(1):137-46. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.034>
- [6] Basok BI, Davydenko BV, Farenuyk GG, Goncharuk SM. Computational modeling of the temperature regime in a room with a two-panel radiator. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2014 Nov 1;87(6):1433-8.
- [7] Verma TN, Sinha SL. Contaminant control in intensive care unit of hospital. In *Applied Mechanics and Materials* 2014 (Vol. 592, pp. 2486-2490). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.592-594.2486>
- [8] Nada SA, El-Batsh HM, Elattar HF, Ali NM. CFD investigation of airflow pattern, temperature distribution and thermal comfort of UFAD system for theater buildings applications. *Journal of Building Engineering*. 2016 Jun 1;6:274-300. <https://doi.org/10.1016/j.job.2016.04.008>
- [9] Lin YJ, Xu ZY. Buoyancy-driven flows by a heat source at different levels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013 Mar 1;58(1-2):312-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.11.008>
- [10] Murakami S. Numerical prediction of horizontal nonisothermal 3-D jet in room based on the k-ε model. *ASHRAE Transactions*. 1991;97(1):38-48. https://doi.org/10.18948/shase.26.82_101
- [11] Chen Q. Comparison of different k-ε models for indoor air flow computations. *Numerical Heat Transfer, Part B Fundamentals*. 1995 Oct 1;28(3):353-69. <https://doi.org/10.1080/10407799508928838>
- [12] Costa JJ, Oliveira LA, Blay D. Test of several versions for the k-ε type turbulence modelling of internal mixed convection flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1999 Dec 1;42(23):4391-409. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00075-7)
- [13] Raithby, GD, and Chui.EH. A finite-volume method for predicting a radiant heat transfer in enclosures with participating media. 1990; 415-423. <https://doi.org/10.1115/1.2910394>

ÖZGEÇMİŞ

Hande UFAT

1983 yılında Bursa'da doğmuştur. 2004 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2010 yılında Uludağ Üniversitesinde yüksek lisansını, 2017'de doktora eğitimini tamamlamıştır. 2005-2007 yılları arasında çeşitli mekanik tesisat firmalarında proje mühendisi olarak, 2008-2017 yılları arasında Uludağ Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. 2017'den beri Bursa Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

SİLİNDİRİK FDM HAZNESİNDE KANATÇIK KULLANIMININ PERFORMANS ANALİZİ

Performance Analysis of Fin Usage in Cylindrical PCM Annulus

Mehmet Furkan Koparan
Ömer Faruk Yılmaz
Ahmet Cumhur
Berkan Aktan
Oktay İnan
Ersin Alptekin

ÖZET

Bu çalışmada, termal enerji depolama için faz değişim malzemelerinin (FDM) katı-sıvı hal değişimi sırasında yüksek gizli ısı kapasitesi ile enerji depolayabilme potansiyellerinden faydalanılmış ve farklı geometriler içerisinde bu enerjiyi depolamanın en verimli hali aranmıştır. Bu kapsamda ısı enerji depolama ortamı olarak silindirik haznelere seçilmiş ve içerisine kanat-akış yönlendirici parçalar yerleştirilip performansı ANSYS FLUENT yazılımı sayesinde araştırılmıştır. Parametrik ilerlemek amacı ile 3 farklı geometride kanat-akış yönlendirici kullanılıp her bir düzen için uzunluk ve açı değerleri de değiştirilmiştir ve bunun yanı sıra baz senaryo olan kanatçiksiz haznenin ısı depolama performansı da araştırmaya dahil edilmiştir. Zamana bağlı bir çalışma yapılmış ve referans süre olarak 1 saat belirlenmiştir. Silindir dış ortam sıcaklığı 317 K, 321 K ve 323 K olarak değiştirilerek kapsamlı bir inceleme yapıldığında, uygun kanat-akış yönlendirici düzenleri kullanıldığı takdirde düşük sıcaklıklarda bile çok yüksek toplam erime yüzdeleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gizli Isı, Isıl Enerji Depolama, Faz Değişim Malzemesi, Kanatçık.

ABSTRACT

In this study, the potential to store energy with high latent heat capacity during solid-liquid state change of phase change materials (PCM) for thermal energy storage was utilized and the most efficient way of storing this energy in different geometries was sought. In this context, the cylindrical domain was chosen as the geometry and the fin-flow directing parts were placed in it and its performance was investigated via ANSYS-FLUNET software. In order to proceed parametrically, fin-flow directing guides in three different geometries were used and the length and angle values were changed for each arrangement. In addition the heat storage performance of the unfinned cylinder was also included to our research. A transient analysis was conducted and one hour was determined as the reference time. When the cylinder outdoor temperature was changed as 317K, 321K, 323K and a comprehensive examination was made, so high total melting percentages were detected even at low wall temperatures if suitable fin-flow directing arrangements were adopted.

Key Words: Latent Heat, Thermal Energy Storage, Phase Change Material, Fin

1. GİRİŞ

21. yüzyıl dünyasında insanların en temel ihtiyaçlarından birinin enerji olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Enerji, ülke politikalarında hemen hemen başrolü oynamaktadır. Geline bu noktada bir ülkenin bağımsızlığı kendi enerjisini üretebilmesi ile eşdeğer görülmektedir [1]. Enerji onlarca yıldır fosil yakıtlardan karşılanırken bu fosil yakıtların, birçok yan etkisinin olduğunun keşfedilmesi çok uzun sürmemiştir. Bu yan etkiler hem yaşadığımız çevreyi hem de dünyamızı direkt olarak etkilemektedir [2]. Bu yan etkilerin en başında karbon emisyonu gelmektedir. Bu etkisinin yanında fosil yakıtların sınırsız olmaması insanlığı yeni ve temiz enerji kaynaklarını aramaya itmiştir. En popüler yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr ve güneş enerjisi dış etkenlerden epey etkilenebildiklerinden dolayı günümüzde hala fosil yakıtların yerine tamamen geçememişlerdir. Bu, araştırmacıları enerji depolama sistemlerinin üzerinde çalışmaya ve geliştirmeye itmiştir[3]. Günlük hayatımızda güneş enerjisi, gıda muhafazası, buhar üretimi, ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi gibi çeşitli şekillerde ve alanlarda kullanılmaktadır [4].

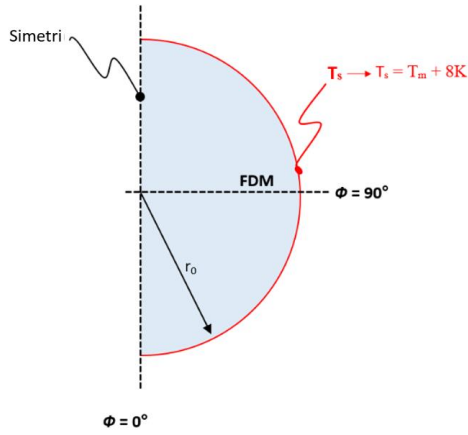
Enerji genel olarak; mekanik enerji, elektriksel enerji ve ısı enerji biçimlerinde depo edilebilmektedir [5]. Isıl enerji depolama, elde edilen enerjinin değişen çevre koşullarından dolayı kaybolmasını engellemek için ortamın soğutulma ve ısıtılma işlemleriyle geçici olarak depolanmasıdır. Isıl enerji depolama sistemleriyle ozon tabakasına zararlı olan kloroflorokarbonlara ihtiyaç duymadan enerji depolanabilmektedir. Isıl enerji depolama sistemleri sayesinde elektrik enerjisine en çok ihtiyaç duyulan zamanlarda elektrik tüketimine aşırı yüklenme engellenebilmektedir. Isıl enerji depolama sistemlerinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar duyulur ısı depolama, termokimyasal ısı depolama ve gizli ısı depolama yöntemleridir. Duyulur ısı depolama, katı ya da sıvı haldeki ortama giren ısının iç enerji olarak depolanması esasına dayanmaktadır [6]. Termokimyasal ısı depolama, ısı enerjinin bağ enerjisi olarak tersinir olacak şekilde depolanması esasına dayanmaktadır ve kimyasal bileşikteki bağları koparmak için gereken ısının neredeyse tamamı sentez reaksiyonu gerçekleştiğinde geri alınabilmektedir [7]. Gizli ısı depolama, bir malzemeyi faz değişimi gerçekleşene kadar ısıtma yöntemi ile sağlanmaktadır. Katı halden sıvı haline veya sıvı halden gaz haline geçen materyal faz değiştirmek için çok miktarda ısıya ihtiyaç duymaktadır ve bu ısı faz değişim ısı olarak adlandırılır, malzemenin bu davranışı gizli ısı depolamanın temel prensibidir [8,9]. Bu aşamada kullanılan malzemeler faz değişim malzemeleridir.

Faz değişim malzemeleri, faz değişimi ile ısı depolama, enerji kullanımı ve enerji tasarrufu iyileştirmenin etkili bir yoludur [10]. Faz değişim malzemeleri enerji depolamak veya belirli bir sıcaklık aralığında değişen sıcaklığı kontrol etmek için kullanılabilir. Sıcaklık yükseldikçe FDM, endotermik bir süreçte ısıyı emer ve fazı katıdan sıvıya değişir. Sıcaklık düştükçe, ekzotermik bir süreçte ısıyı serbest bırakır ve katı fazına geri döner [11]. FDM'ler yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bunlar; termal enerji depolama tanklarında, binalarda ısıtma, soğutma ve izolasyonda, tekstil endüstrisinde mikro kapsüllenmiş FDM içeren akıllı tekstil ürünlerinde, gıda sektöründe özellikle ambalajlarda, elektronik devre bileşenlerinde mikro kapsüller olarak, sıcaklığa duyarlı cihazların soğutulmasında ve bunlar gibi birçok alanda kullanımları bulunmaktadır [12, 13, 14, 15]. Günümüzde ve yakın gelecekte, ısı iletiminin ve taşınımın faz değişimine etkisi, içi FDM dolu makro ölçekli haznelere ile araştırılmaya ve karşılaştırılmaya devam etmektedir. [16] Çalışmasında ise küresel bir FDM haznesinin içerisine hazne yüzeyine temas halinde olacak metalik pimler eklenmiş ve faz değişimi süresinde ne kadarlık bir azalma olacağına dair matematiksel modeller ve deneysel analizler kullanılarak incelenmiştir. [17] Çalışmasında ise silindirik bir FDM haznesi modellenmiş, tasarımda ısı transferi katsayısının değişimine ve kanat eklenmesine bağlı olarak faz değişim süresinin değişimi incelenmiştir. [18, 19 ve 20] Çalışmalarında ise hazne içerisine konulabilecek kanat yapılarının açıları, yerleşimi, sayısı ve uzunlukları gibi tasarımsal konular ele alınarak faz değişimi sırasında oluşan doğal taşınımın da göz önünde bulundurulması ile faz değişimi süresindeki değişimler ve kanat açısının etkileri araştırılmış, optimizasyon ile en uygun modeller seçilmiştir. [21] Çalışmasında FDM haznesindeki erime dağılımının doğal taşınımın etkisi ile üst bölgede daha hızlı fakat alt bölgede ise daha yavaş olmasından dolayı düzensizlik oluşmaktadır. Bu düzensizliğin etkilerini ortadan kaldırmak için kanatların sağladığı ısı transferi hızındaki artıştan yararlanarak haznenin alt taraflarındaki kanat yoğunluğunun üst taraftan daha fazla olması ve bu sayede tüm hazne genelinde daha düzenli bir faz değişimi dağılımı elde edilmesine yönelik tasarımlar yapılmış, bu tasarımlar doğrultusunda analizler yürütülmüştür. [22] Çalışmasında ise faz değişim malzemesinin değişiminin kanatlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

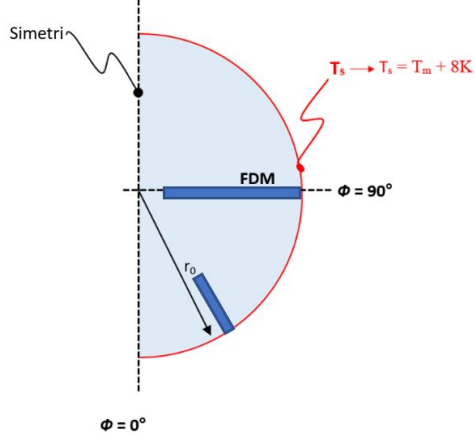
2. MATERYAL ve METOD

2.1 Problemin Tanımı

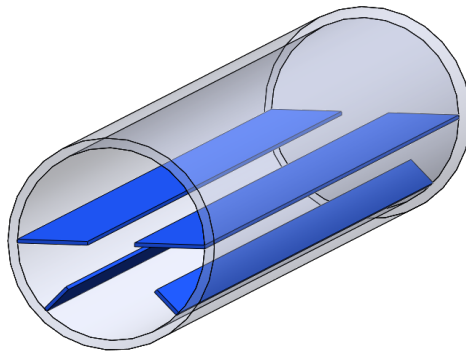
Bu çalışmanın amacı faz değişim malzemesinin (FDM) farklı akış sıcaklıklarının, farklı kanat yapılarının ve farklı kanat açılarının erime hızına etkilerini araştırmaktır. Bunlara ek olarak kanat konfigürasyonlarının değişmesi nedeniyle kaybedilen FDM hacmi hesaplanmış olup, hacim kaybı sebebiyle oluşan potansiyel enerji kaybı da hesaplanmıştır. Üç farklı kanatçık kullanılmış olup bu konfigürasyonlarda farklı kanat uzunlukları ve açıları kullanılmıştır. Ayrıca bu konfigürasyonlara ek olarak kanatçıkların uzunlukları, konumları ve açıları parametrik olarak incelenmiştir. Bunlara ek olarak kendi tasarımı olan akış yönlendirici kanatçık dizaynımızı da bu problemde kullanmış olup doğal taşınımın yönlendirilmesi hedeflenmiştir. Doğal taşınım, herhangi bir dış zorlamanın olmadığı durumda materyalin tamamen kendi kendine soğuması ve ısınmasıdır. Doğal taşınımda sıcaklığı artan madde yoğunluğunun azalması sonucu yerçekimi ivmesine zıt olarak yönelir [23]. Yaptığımız literatür araştırmalarında da görüldüğü üzere silindirin üst yarısında bu yönelme sonucu, daha fazla erimeye sebep olacaktır ancak, sıcak akışkanın yukarıda birikmesi sıcaklık farkını azaltacağından ısı transfer hızını da azaltacaktır. Kendi tasarımı olan akış yönlendirici kanatçık sayesinde doğal taşınımdan dolayı oluşan hız vektörlerinin yönlendirilmesi hedeflenmiştir. Böylece silindirik geometrinin içerisinde bir akış sirkülasyonu yaratılarak erimenin düzgün ve kontrollü olması hedeflenmiştir.



Şekil 1. Kanatsız FDM haznesi



Şekil 2. Kanatlı FDM hazne tasarımı



Şekil 3. Kanatlı FDM haznesinin 3 boyutlu görseli

Şekil 1'de bulunan kanatsız FDM haznesi tasarımıdaki erime sürecini hızlandırmak ve iyileştirmek adına Şekil 2'de şematize edilen kanatlı FDM haznesi tasarımı modellenmiştir. Bu tasarım ile daha yüksek ısı transferi hızları elde ederek, aynı zaman aralığında yüksek yüzdesel erime elde etmek amaçlanmıştır.

Çalışmamızda faz değişim malzemesi olarak yaklaşık 313 K sıcaklığında erime noktasında bulunan düşük sıcaklıkta gizli ısı depolamaya elverişli parafin bazlı n-oktadekan, hem ekonomik hem de bulunabilirlik faktörleri de göz önünde bulundurulduğunda uygun görülmüştür. Ayrıca n-oktadekan malzemesi, literatürde çok sayıda araştırması yapılmış, termo-fiziksel özellikleri hakkında fazlaca bilgiye sahip olduğumuz ve çalışmamız için gerekli özellikleri sağlayan elverişli bir malzemedir. Tablo 1'de çalışmamızda kullandığımız parafin bazlı n-oktadekan malzemesinin termofiziksel özellikleri tablo halinde verilmiştir. Tablo 2'de çalışmamızda kullandığımız alüminyumdan yapılmış kanatçık için termofiziksel özellikler tablo halinde verilmiştir.

Tablo 1. n-oktadekan malzemesinin termofiziksel özellikleri

Sıcaklık Değerleri [K]	$T_m = 313.15$ [K].....Sabit katı hal sıcaklığı = 313 [K] $T_{wall} = 321.15$ [K] Sabit sıvı hal sıcaklığı = 315 [K]
Gizli Isı [J/kg]	120271.8
Özgül Isı [J/(kg-K)]	$C_{p,katı} = 2000$ $C_{p,sıvı} = 2074.69$
Termal İletkenlik [W/(m-K)]	$k_{katı} = 2.419$ $k_{sıvı} = 1$
Yoğunluk [kg/(m³)]	$\rho_{katı} = 800$ (T < 314K) $\rho_{sıvı} = 800$ [kg/(m ³)]*(1 - 1.184447E-04 [K ⁻¹]*(T - 314[K]) (T >314K).
Dinamik Viskozite [kg/(m-s)]	0.02222

Tablo 2. Alüminyumdan yapılmış kanatçık için termofiziksel özellikler

Yoğunluk [kg/(m³)]	2719
Özgül Isı [J/(kg-K)]	871
Termal iletkenlik [W/(m-K)]	202.4

2.2 Sınır Koşulları

- Silindirin yüzeyi 317K, 321K ve 323K arasında değiştirilmiştir.
- Sabit yüzey sıcaklığı kabul edilmiştir.
- Y eksenine simetrik sınır koşulu verilmiş olup içeri doğru erime analizi yapılmıştır.
- 2 boyutlu analiz çalışması yapılmıştır.

2.3 Çözüm yöntemi

Bu çalışmada, FDM haznesi içerisindeki yüzdesel erime oranı zamana bağlı olarak ANSYS-FLUENT programında sayısal olarak incelenmiştir. Farklı sıcaklık durumlarının erime oranları üzerine etkilerini gözlemleyebilmek amacıyla çeşitli değişkenler belirlenmiştir. Seçilen değişkenler; kanatçık ve akış düzenleyicinin (aero-thermal) konumu, boyu, uzunluğu, açısı ve sıcaklık değeridir. Belirlenen sayısal yöntemin doğruluğunu teyit etmek adına literatür araştırılması ile gerekli değerlendirmeler yapılmış olup, çözüm yönteminin uygunluğuna karar verildikten sonra yukarıda belirtilen parametrelerin erime oranlarına ve sürelerine etkileri karşılaştırılmalı olarak elde edilmiştir.

Zamana bağlı çözüm için korunum denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir [24].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

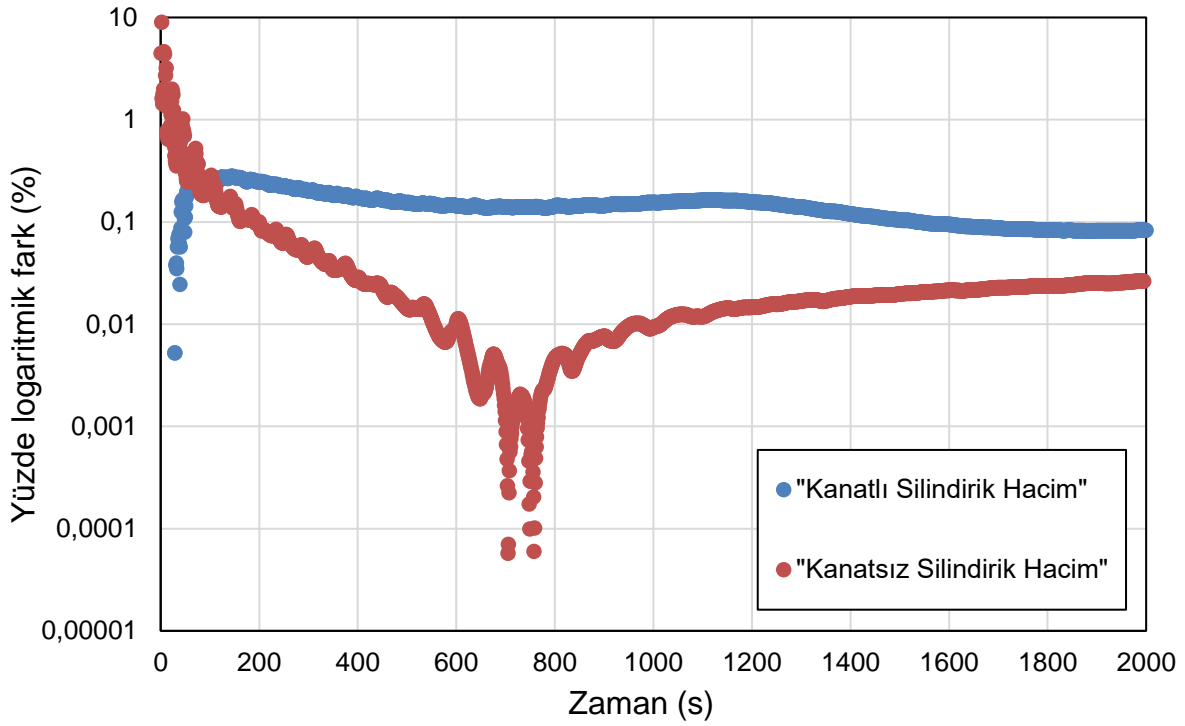
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \bar{u}_i' \bar{u}_j')$$
(2)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T + (\bar{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}))$$
(3)

Eşitlik (2) ve (3)'teki son terimler türbülans kaynaklı gerilmelere karşılık gelmektedir. Bu terimlerin hesaplanmasında realizable $k-\varepsilon$ modeli uygulanmıştır. Yukarıda tanımlanan korunum denklemleri ANSYS-FLUENT paket programında iteratif olarak çözülmüştür. Analizin yapılacağı hazne alanında dikdörtgen ağ yapıları kullanılmıştır. Kanatçıkların uçlarında ve doğal taşınım kaynaklı sınır tabaka etkilerinin görülmesi beklenen yerlerde kontrol hacimlerinin sıklığı arttırılmış ve bu bölgelerde daha yoğun bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Çözüm bölgesi yaklaşık olarak 48000 kontrol hacmine ayrılmıştır. Analizler zamana bağlı olup zaman adım büyüklüğü 0.005 s ile 0.001 s arasında değiştirilmiştir. Çözüm algoritması olarak "Non-Iterative Time Advancement" (NITA) metodu kullanılmıştır. Ayrıklaştırma yöntemi olarak "Second Order Upwind" kullanılmıştır. Süreklilik, momentum ve türbülans korunum denklemleri için yakınsama kriteri 10^{-4} olarak tanımlanırken, enerji korunum denklemi için yakınsama kriteri 10^{-10} olarak belirlenmiştir. Korunum denklemlerinin detayları ANSYS-FLUENT paket programının dokümanlarında bulunabilir [24].

Nümerik analizlerin doğruluğunu kanıtlayabilmek adına enerji korunumu denkleminde analiz çıktıları doğrulanmıştır. Şekil 4'teki grafikte giren enerji ile depolanan enerji arasındaki yüzdelik fark hesaplanmıştır. Nümerik analizlerdeki "**yakınsama**" nedeniyle ilk zaman adımlarında büyük farklar görülsede zaman adımları ilerledikçe bu fark azalarak 0'a yaklaşmıştır. Buradan da anlaşıldığı üzere yapılan analiz doğrulanmıştır. Yüzdelik farkı hesaplamak için giren ve depolanan enerji hesaplanmıştır. Giren enerjinin hesabı Ansys Fluent paket programından alınan ısı girdisidir (q). Depolanan enerji hesabı ise $q = mc_p \Delta T$ formülünden hesaplanmaktadır. Entalpinin karşılığı olarak $h = c_p \Delta T$ kullanılmıştır. Kütleler için her bir kanatçığın kütlesi ve faz değişim malzemesinin (FDM) kütlesi ayrı ayrı hesaplandıktan sonra enerji hesabı yapılmıştır. Ardından her bir zaman adımı için kütlelerin depoladığı ısı enerjisi hesaplanmış olup, hesaplanan bu değerler bir önceki zaman adımından çıkartılarak toplam depolanan enerji bulunmuştur. Bunlar yapıldıktan sonra ısı enerji girdisi ve depolanan enerji birbirlerinden çıkarılıp ısı girdisine oranlanmıştır. Anlatılanlar aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$\text{Yüzdesel fark (\%)} = \frac{q_{girdi} - mc_p \Delta T}{q_{girdi}} \times 100$$



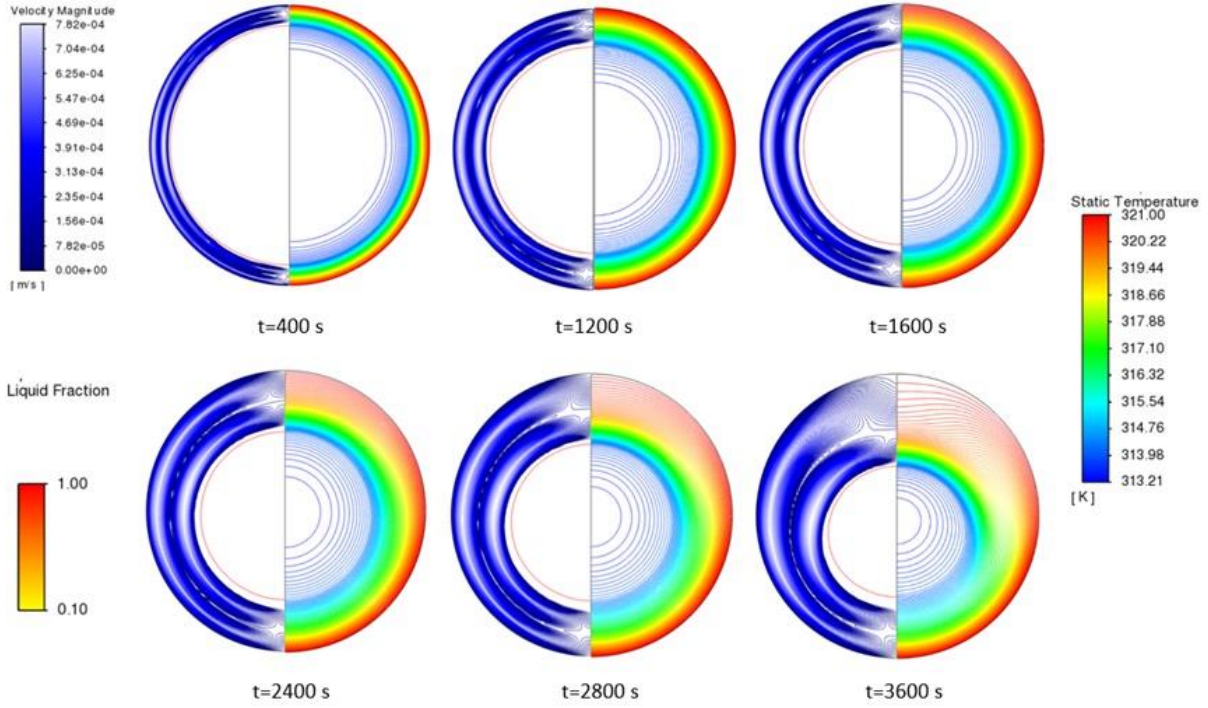
Şekil 4. Zamana bağlı yüzdesel farkın değişimi

3.BULGULAR

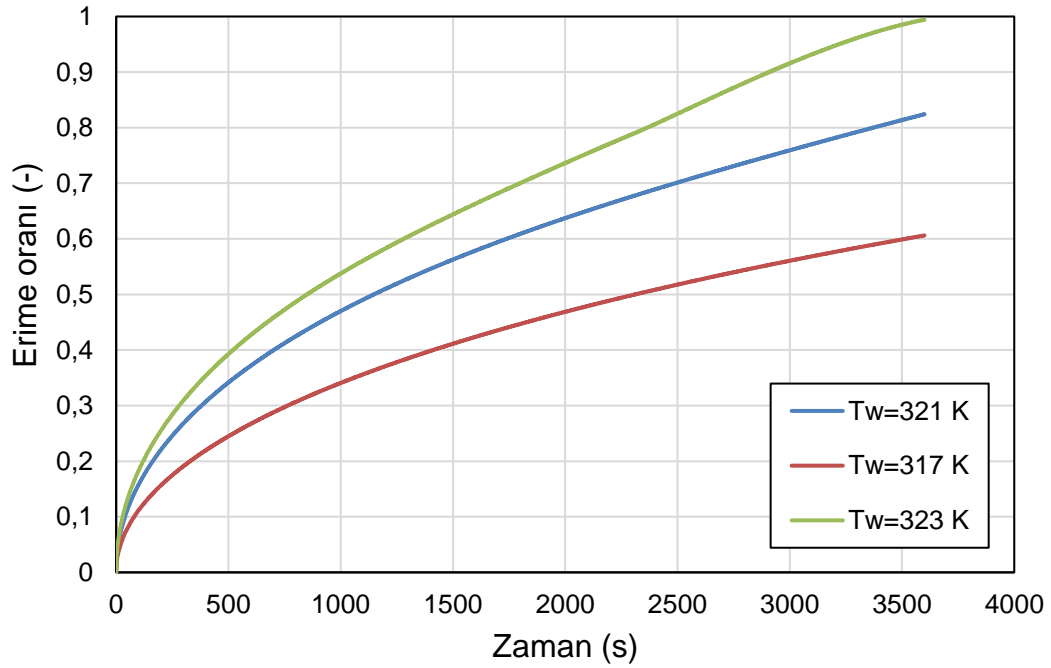
Çalışma kapsamında öncelikle kanat barındırmayan içi boş silindirik tüp içerisindeki FDM'nin erime performansı incelenmiştir. Silindir dış yüzey sıcaklığının 321 K olarak kabul edildiği analiz çıktıları Şekil 5'te gösterildiği gibidir. Doğal taşınım mekanizması sayesinde tüpün üst tarafında çok daha fazla erime gözlemlenmiştir. Mevcut durumda 3600 saniye sonucunda %82 erime elde edilmiştir. Yüzey sıcaklığının erime yüzdesi üzerine etkisini incelemek amacı ile üç farklı sıcaklıkta analiz çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çıktıları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere yüzey sıcaklığının artması erime oranını oldukça arttırmıştır. 3600 saniye sonunda yüzey sıcaklıklarının 317 K, 321 K ve 323 K olduğu durumlarda erime oranları sırası ile 0.6 , 0.82 ve 0.99'dur.

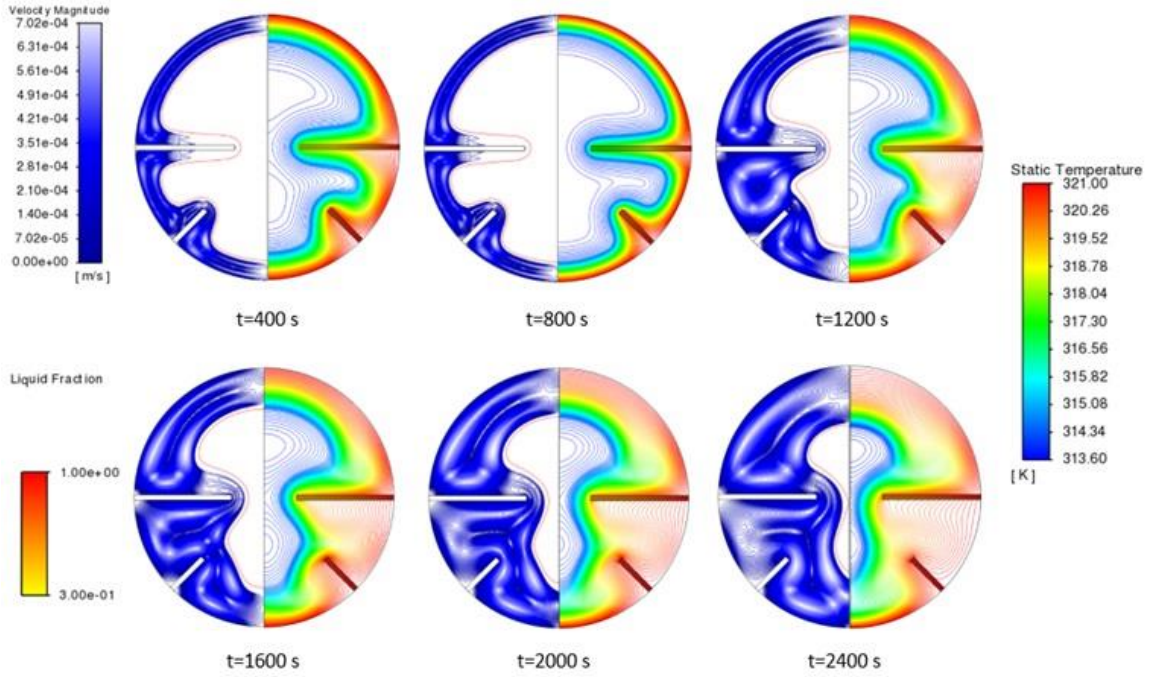
İçi boş silindirik tüp içerisinde bulunan FDM'nin erime yüzdeleri incelendiğinde, düşük yüzey sıcaklıklarında erime yüzdelerini arttırmak adına tüp içerisinde kanatçık kullanımının faydalı olacağı kararına varılmış ve bunun üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bu doğrultuda tüp içerisinde iki tane farklı boyutta ve farklı açıda konumlandırılmış kanatçık eklenmiştir. Bu tasarım sonucunda yapılan analizin çıktıları Şekil 7'de görselleştirilmiştir.



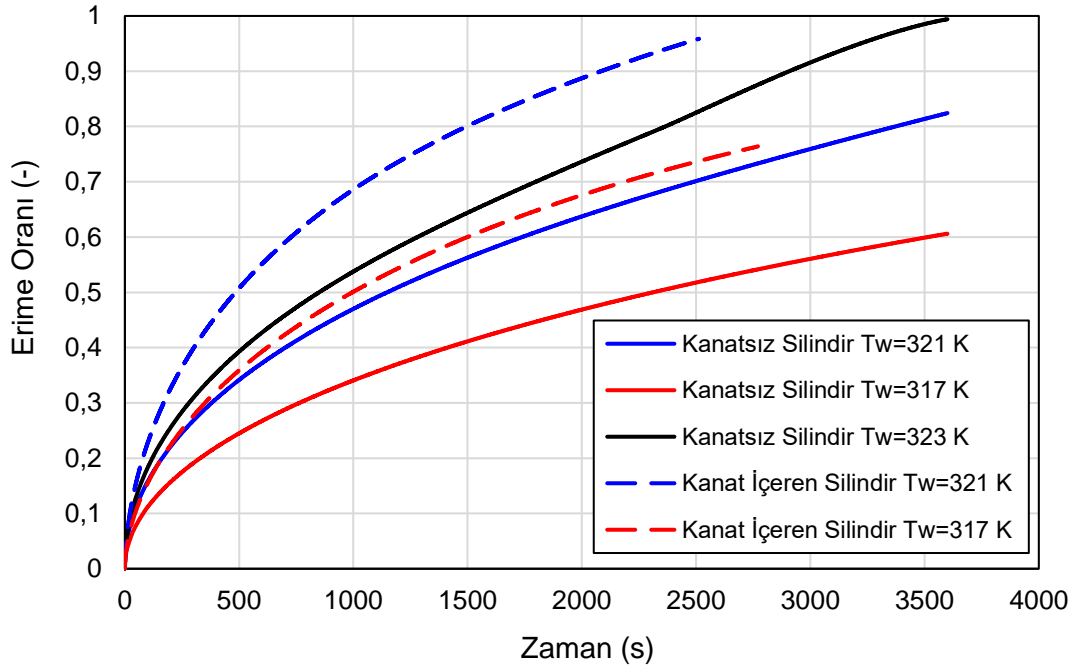
Şekil 5. Kanatsız ısı depolama ortamı için zamana bağlı erime işlemi ($T_w = 321$ K)



Şekil 6. Farklı yüzey sıcaklıklarında gelişen erime oranı



Şekil 7. İki kanatçık içeren tüpün analiz çıktıları ($T_w=321$ K)



Şekil 8. Farklı yüzey sıcaklıkları ve tasarım parametrelerinde gelişen erime oranı

Şekil 7'de görüldüğü üzere kanatçıklar sayesinde tüp içerisinde farklı bölgelerde doğal taşınım sirkülasyonu elde edilmiş ve tüpün alt kısmında erime oranı oldukça artırılmıştır. İki farklı yüzey sıcaklığında yapılan analizlerin çıktıları Şekil 8'deki grafikte görselleştirilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü üzere 2500 saniye sonunda yüzey sıcaklıkları 317 K ve 321 K olan kanatçıklı tüplerdeki erime oranları sırası ile 0.76 ve 0.95' tir. Veriler incelendiğinde kanatçık kullanımının tüp hazne içerisindeki FDM'nin erime oranlarına etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür.

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada termal ısı depolama amacı ile kullanılan FDM'lerin performansı araştırılmıştır. Çalışma ortamı olarak silindirik tüp seçilmiş olup, literatür araştırmaları sonucunda tüplerin içerisine kanatçık yerleştirilmesi uygun görülmüştür. Tüp hazne içerisine yerleştirilecek kanatçıkların etkisini incelemek adına içi boş ve kanatçık içeren tüplerin performansı farklı sıcaklık parametreleri çerçevesinde Ansys Fluent paket programı aracılığı ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kanatçık kullanılmayan tasarımda doğal taşınımın etkisi ile silindirik halkasal ortamın üst yüzeylerinde erime oldukça fazla iken, alt kısımlarında erimenin çok sağlanmadığı saptanmıştır.
- Kanatçık kullanıldığı takdirde ısı enerjisi depolama haznesi içerisinde birden fazla doğal taşınım sirkülasyonu elde edilmiştir. Bu sayede erime hazne içerisinde daha dengeli bir şekilde gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra kanatçıklar hazne yüzeyine temas ettiği için bulunduğu bölgelerde erimeye oldukça fazla katkı sağlamıştır ve haznenin alt yüzeyinde bulunan FDM'nin erimesini hızlandırmıştır. Veriler incelendiğinde kanatçık içeren tüplerde yüzdesel erime kanat kullanılmayan duruma oranla yaklaşık olarak %40 daha fazladır.
- Yüzey sıcaklıkları arttırıldığı takdirde hazne içerisindeki yüzdesel erime artmaktadır. Yüzey sıcaklığını 4 C° arttırdığımız takdirde yaklaşık olarak erime oranı %30 oranında artmaktadır.
- Değişken yüzey sıcaklıkları dikkate alındığında, silindire kanatçık eklenmenin etkisini inceleyecek olursak 321K yüzey sıcaklığında kanatçığın erime sürecine katkısı %37,1 iken 317K yüzey sıcaklığında bu katkı %40,3'tür. Buradan da görülüyor ki düşük yüzey sıcaklıklarında kanatçık kullanımı daha faydalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Mona, Y., Chaichana, C., & Thiangchanta, S. (2022). Investigation of the temperature distribution models for phase change material (PCM) in one-dimensional direction. *Energy Reports*, 8, 625-630.
- [2] Dincer, I., & Ezan, M. A. (2018). *Heat storage: a unique solution for energy systems*. Springer.
- [3] Lakatos, L., Hevessy, G., & Kovács, J. (2011). Advantages and disadvantages of solar energy and wind-power utilization. *World Futures*, 67(6), 395-408.
- [4] Ali, H. M. (2022). Phase change materials based thermal energy storage for solar energy systems in buildings. *Journal of Building Engineering*, 104731.
- [5] Alptekin, E., Özer, M., Top, M., Yavuz, F. E., & Ezan, M. A. (2018). A numerical study on phase change inside a spherical capsule. In *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions* (pp. 613-625). Academic Press.
- [6] Cabeza, L. F. (2012). Thermal energy storage. *Comprehensive renewable energy*, 3, 211-253.
- [7] Pardo, P., Deydier, A., Anxionnaz-Minvielle, Z., Rougé, S., Cabassud, M., & Cognet, P. (2014). A review on high temperature thermochemical heat energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 591-610.
- [8] Mehling, H., & Cabeza, L. F. (2008). Heat and cold storage with PCM. *Heat and mass transfer*, 11-55.
- [9] Cárdenas, B., & León, N. (2013). High temperature latent heat thermal energy storage: Phase change materials, design considerations and performance enhancement techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, 27, 724-737.
- [10] Li, W., Li, S. G., Guan, S., Wang, Y., Zhang, X., & Liu, X. (2017). Numerical study on melt fraction during melting of phase change material inside a sphere. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(29), 18232-18239.
- [11] Souayfane, F., Fardoun, F., & Biwole, P. H. (2016). Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review. *Energy and buildings*, 129, 396-431.
- [12] Zou, L., Luo, Y., Zhang, J., Sheng, X., Chen, Y., & Lin, P. (2023). Phase change material gel particles with suitable size and superior thermophysical properties towards highly efficient

- thermal management of miniature electronic components. *Journal of Energy Storage*, 60, 106590.
- [13] Çam, N. Y., Alptekin, E., Bilir, L., & Ezan, M. A. (2022). Thermal behavior of a solar-assisted latent heat thermal energy storage unit on the heating season under variable weather conditions. *Journal of Energy Storage*, 52, 104934.
- [14] Georgiou, L., Konatzii, P., Morsink-Georgali, P. Z., Klumbyte, E., Christou, P., & Fokaides, P. A. (2023). Numerical and environmental analysis of post constructive application of PCM coatings for the improvement of the energy performance of building structures. *Construction and Building Materials*, 364, 129984
- [15] Nejman, A., & Cieślak, M. (2017). The impact of the heating/cooling rate on the thermoregulating properties of textile materials modified with PCM microcapsules. *Applied Thermal Engineering*, 127, 212-223.
- [16] Aziz, S., Amin, N. A. M., Majid, M. A., Belusko, M., & Bruno, F. (2018). CFD simulation of a TES tank comprising a PCM encapsulated in sphere with heat transfer enhancement. *Applied Thermal Engineering*, 143, 1085-1092.
- [17] Bouhal, T., Kousksou, T., & Jamil, A. (2018). CFD thermal energy storage enhancement of PCM filling a cylindrical cavity equipped with submerged heating sources. *Journal of Energy Storage*, 18, 360-370.
- [18] Ji, C., Qin, Z., Low, Z., Dubey, S., Choo, F. H., & Duan, F. (2018). Non-uniform heat transfer suppression to enhance PCM melting by angled fins. *Applied Thermal Engineering*, 129, 269-279.
- [19] Qin, Z., Low, Z. H., Ji, C., & Duan, F. (2022). Efficacy of angled metallic fins for enhancing phase change material melting. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 132, 105921.
- [20] Li, J., Abdulghani, Z. R., Alghamdi, M. N., Sharma, K., Niyas, H., Moria, H., & Arsalanloo, A. (2023). Effect of twisted fins on the melting performance of PCM in a latent heat thermal energy storage system in vertical and horizontal orientations: Energy and exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 219, 119489.
- [21] Ao, C., Yan, S., Hu, W., Zhao, L., & Wu, Y. (2022). Heat transfer analysis of a PCM in shell-and-tube thermal energy storage unit with different V-shaped fin structures. *Applied Thermal Engineering*, 216, 119079.
- [22] Peng, B., Qiu, M., Xu, N., Zhou, Y., Sheng, W., Su, F., & Wang, S. (2022). Impacts of the Thermophysical properties of the phase change materials (PCMs) on the melting performance and optimum dimensions of fins. *Computers & Chemical Engineering*, 165, 107929.
- [23] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). *Introduction to heat transfer*. John Wiley & Sons
- [24] Fluent, A. N. S. Y. S. (2011). *Ansys fluent theory guide*. Ansys Inc., USA, 15317, 724-746.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Furkan KOPARAN

1998 Ankara doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü 4.sınıf öğrencisidir. Araştırma ve Bitirme Projelerini "Faz Değişim Malzemesi Haznesi Tasarımı ve İmalatı" üzerine yapmaktadır.

Berkan AKTAN

1999 Afyonkarahisar doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü 4.sınıf öğrencisidir. Araştırma ve Bitirme Projelerini "Faz Değişim Malzemesi Haznesi Tasarımı ve İmalatı" üzerine yapmaktadır.

**Ahmet CUMHUR**

1999 Adana doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü 4.sınıf öğrencisidir. Araştırma ve Bitirme Projelerini "Faz Değişim Malzemesi Haznesi Tasarımı ve İmalatı" üzerine yapmaktadır.

Ömer Faruk YILMAZ

1998 Ordu doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü 4.sınıf öğrencisidir. Araştırma ve Bitirme Projelerini "Faz Değişim Malzemesi Haznesi Tasarımı ve İmalatı" üzerine yapmaktadır.

Oktay İNAN

1999 Mardin doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü 4.sınıf öğrencisidir. Araştırma ve Bitirme Projelerini "Faz Değişim Malzemesi Haznesi Tasarımı ve İmalatı" üzerine yapmaktadır.

Ersin ALPTEKİN

1988 Mersin doğumludur. Lisans eğitimini İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde 2011 senesinde bitirmiştir. 2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans 2021 yılında ise Doktora eğitimini tamamlamıştır. Isıl enerji depolama ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği üzerine çalışmaktadır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmasını yönlendiren, özverili yardımlarını ve kaynaklarını esirgemeyen **Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN**'a teşekkür eder.

ISI BORUSU UYGULAMALARI VE SON GELİŞMELER

Heat Pipe Applications and Recent Developments

Fırat Özdemir
Özay Akdemir
Ali Güngör

ÖZET

Bu çalışmada enerji yönetimi konusunda önemli derecede etkin ve yaygın kullanım alanına sahip ısı borusu sistemleri detaylı olarak irdelenerek gerçekleştirilen literatür araştırmaları ile bu sistemlerin uygulamalarına yönelik çalışmalar ortaya konulmuştur. Isı borusu sistemleri pek çok farklı türde karşımıza çıkmakla birlikte çalışma şekilleri benzerlik göstermektedir. Çalışma kapsamında ısı borularının çalışma şekilleri aktarılarak farklı türlerinin incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile görülmektedir ki ısı borulu sistemler enerji konusunda daha uzun yıllar boyunca kendisine yer bulabilecek, geliştirilmeye açık, kullanışlı ve performanslı sistemler olarak uygulamalarda kullanılacaklardır.

Anahtar Kelimeler: Isı boruları, Nanoakışkanlar, Fıtil, Isı transferi

ABSTRACT

In this study, heat pipe systems, which are significantly effective and widely used in energy management, are examined in detail and literature researches and studies on the applications of these systems are revealed. Although the heat pipe systems come in many different types, they work similarly. Within the scope of the study, the working types of heat pipes were explained, and various types were examined. With this study, it is seen that heat pipe systems will be used in applications as systems that can find a place for many years in energy, open to development, useful and performance systems.

Key Words: Heat pipes, Nanofluids, Wick, Heat transfer

1. GİRİŞ

Son yıllarda hızla artan insan nüfusu, teknolojik gelişmeler ve ilerleyen küreselleşme gibi etkenlerin katkısıyla enerji, insanlığın temel ihtiyaçları listesinde üst sıralara çıkmıştır. Günümüz dünyasında yeme, içme, barınma gibi temel ihtiyaçların arasında enerji de kendisine yer bulmuş durumdadır.

Yaşanan bu gelişmeler ışığında enerji üzerine yürütülen araştırmalar gün geçtikçe artmakta ve bu ihtiyaçların etkin bir şekilde karşılanabilmesi için pek çok çalışma yürütülmektedir. Resmi ve ticari kuruluşların büyük bir çoğunluğu fosil yakıt kullanmaktadır. Ancak günümüzde fosil yakıtların hem sınırlı olmaları hem de olumsuz çevresel etkileri açık ve net bir şekilde ortaya konmuş durumdadır. Bu nedenle enerji konusunda gerçekleştirilen ana akım araştırmalarında, yeni kaynak arayışları, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ve enerji tüketen sistemlerin verimliliğinin artırılması konularına yönelimler gerçekleşmektedir.

Enerji üzerine yürütülen çalışmalar incelendiğinde, enerjinin akılcı tüketiminin de yeni kaynakların araştırılması kadar yüksek öneme haiz bir konu olduğu görülmektedir. Enerji tüketiminde yaşanan kayıpların yoğun olduğu alanlardan biri de ısı transfer işlemleridir. Gerek ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde gerekse diğer sistemlerde olsun ısı transfer işlemleri için enerji verimliliği önemli sorunlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Isı transferi sırasında oluşan kayıplar sistemlerin toplam enerji verimliliğinde önemli etkiler oluşturmaktadır [1,2].

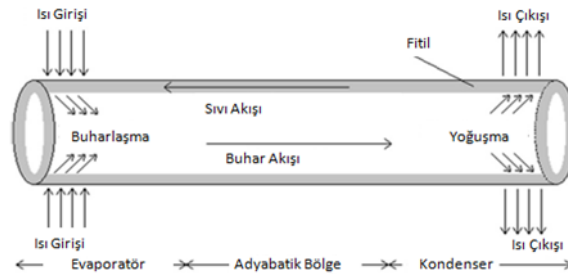
Bu çalışmada ısı transferinde yaygın olarak kullanılan sistemlerden ısı boruları üzerinde durulmuş ısı borusu türleri detaylı bir şekilde tanımlanarak literatürde bulunan güncel çalışmalara yer verilmiştir.

2. ISI BORULARI

Isı boruları, ısı enerjisi bir noktadan diğerine etkileyici özellikleri ile transfer eden cihazlardır. Bu yöntemle, yüksek miktarda ısı dışarıdan bir güç girdisine ihtiyaç duymaksızın ve neredeyse adyabatik bir biçimde aktarılabilir. Isı borularının tarihi incelendiğinde bu tip bir sistemin ilk olarak 1839 yılında patentlenen Perkin'in Hermetik Tüpü olduğu görülmektedir [3,4].

Isı boruları temelde evaporatör, kondenser ve adyabatik kısım olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Evaporatörde dış ortamdan alınan ısı ile buharlaşan çalışma akışkanı, oluşan buhar basıncı ile önce adyabatik bölgeye ardından kondensere ilerlemektedir. Kondenserde dış ortama ısı transferi gerçekleşmesi ile akışkan yoğunlaşmaktadır. Yoğuşma işlemi sonrasında sıvı faza geçen çalışma akışkanı yer çekimi etkisi ve fitil sayesinde önce adyabatik kısma ardından da evaporatör kısmına dönmektedir. Bu şekilde bir döngü tamamlanmakta ve ısı girdisi devam ettikçe döngü devam etmektedir. Şekil 1'de basit bir ısı borusu sisteminin şematik gösterimi verilmiştir [5].

Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında ısı borusu sistemlerinin oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olduğu ve pek çok farklı uygulamaya olanak sağladığı görülmektedir. Isı borularının kurutma işlemlerinde kullanımını Doğan yaptığı çalışmada incelemiştir [6]. Yıldırım ve Özsoy çalışmalarında ısı borularından yararlanılarak kaldırım buzlanmasının önlenmesini hedefleyen bir çalışma yürütmüşlerdir [7]. Literatürde bulunan ısı borusu konusundaki uygulamalar takip eden bölümlerde değerlendirilmiştir.



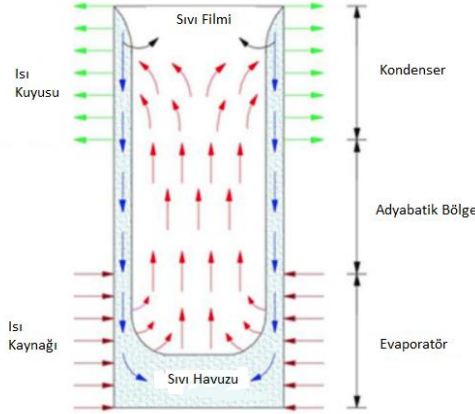
Şekil 1. Isı borusu şematik gösterimi [5].

2.1. Isı Borusu Türleri

2.1.1. Termosifonlar

Termosifon sistemleri dünya genelinde en yaygın kullanıma sahip pasif su ısıtma sistemleridir. Genellikle sıcaklığın 0°C değerinin altına düşmediği iklimlerde kullanımı uygun olsa da bu sınırlamayı aşabilen sistemler de mevcuttur. Bu sistemler geleneksel ısı borusu sistemlerine benzer şekilde; kondenser, evaporatör ve adyabatik bölgelerden oluşmaktadır, ancak bu sistemlerde iç içe geçmiş iki boru bulunmaktadır. Evaporatör bölgesinde dış ortamdan aldığı ısı ile buharlaşan iş akışkanı yoğunluk farkının etkisi ile iç borudan, sırsıyla adyabatik ve kondenser bölgelerine ilerler. Kondenserde dış ortama ısı vererek yoğunlaşan akışkan dış boru ile iç boru arasındaki kılcal boşluktan evaporatör bölgesine döner ve bu döngü sisteme ısı girişi çıkışı olduğu sürece devam eder. Sıcaklığın

0°C değerinin altına düştüğü iklim bölgelerinde ise ısı borusu sistemi içerisinde ihtiyaca uygun antifriz akışkanları kullanılabilir. Bu durumda ısıtılan katkılı su doğrudan kullanıma uygun olmayacağından ısı sistemden bir ısı değiştirici yardımı ile çekilir ve bu sistemler kapalı döngülü termosifon sistemleri olarak adlandırılır [8-10]. Termosifon sistemlerine ait şematik gösterim şekil 2.'de verilmektedir.



Şekil 2. Termosifon sistemlerin şematik gösterimi [9].

Sbaity ve diğerleri çalışmalarında sadece termosifon ve termosifon kondenslerinin deniz suyu pompalanarak soğutulduğu modlarda çalışan bir kombine pompalı termosifon sistemi geliştirmişler ve deneysel olarak incelemişlerdir. Sistemin 23°C dış ortam sıcaklığında 1750 W, 10°C dış ortam sıcaklığında ise 2900 W ısı transfer kapasitesine sahip olduğu ve 23°C deniz suyu ile soğutma yapıldığında sistem kapasitesinin 3000 W değerine kadar çıkması ile birlikte yıllık bazda %54 enerji tasarrufu sağlandığı kaydedilmiştir [11].

Anand ve diğerleri yürüttükleri çalışmada termosifon sistemlerinde kanat eklentisinin performans üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır, sadece dıştan ve hem içten hem dıştan kanat entegrasyonlu sistemler geliştirmişler ve bu sistemleri R134a ile Al₂O₃-R134a (nanoakışkan) iş akışkanları ile deneysel olarak incelemişlerdir. Tek yüzeyli kanatlı sistemlerde geleneksel sistemlere kıyasla sırası ile %26.8 ve %44.8 oranlarında performans artışı gözlemlenmiştir. Nanoakışkan kullanımı ile çift yüzeyli kanatlı sistemin tek yüzeyli kanatlı ve geleneksel sistemlere göre sırasıyla %38.9 ve %55.3 daha yüksek performans değerleri sergilediğini ortaya koymuşlardır [12].

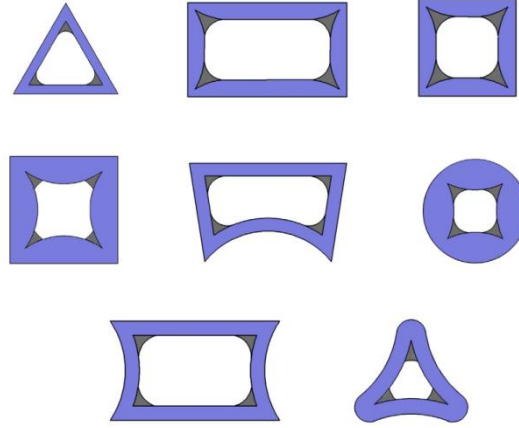
Ponomarev ve diğerleri geliştirdikleri termosifon destekli, kaynama akışkanı içermeyen soğutma sistemini kendinden yönlendirmeli bir ısı değiştirici olarak kullanarak deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde iş akışkanı olarak su ve etanol kullanılmış ve %15-35 arasında değişen doluluk oranlarında yürütülen testler sonucunda en iyi sonuçların elde edildiği %25 doluluk oranı için sıcak yüzeyin 392.3 K değerinden su ile 375.8 K, etanol ile 365.9 K sıcaklığa düşürüldüğünü belirtmişlerdir [13].

2.1.2. Mikro Isı Boruları

Günümüz elektronik teknolojisinin büyük bir kısmında, çok küçük ölçülere sahip aşırı hassas bileşenler kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin kullanım anında bileşenin çalışma performansını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi aşırı ısınma olarak karşımıza çıkmaktadır. Oldukça hassas olan bu cihazların doğru ve etkin bir şekilde soğutulmadığı durumlarda, yüksek maliyetli ve bazen geri dönülemez hasarlar oluşabilmektedir. Bu tarz cihazların yeterli ve doğru bir biçimde soğutulmasını amaçlayan mikro yapıllı soğutma sistemleri üzerine çok sayıda çalışma mevcuttur. Mikro ısı boruları bu çalışmalar içerisinde ön plana çıkan sistemler arasında yer almaktadır.

Bir mikro ısı borusu, sıvı ve buhar fazındaki akışkanı eş zamanlı olarak bünyesinde barındıran, fitilsiz ve dairesel olmayan bir kesit alanına sahip bir kanaldan oluşur, mikro ısı borularında kullanılan boru

kesitlerine ait görsel şekil 3.'te verilmiştir. Bu sistemlerde sıvı fazdaki akışkanın evaporatör bölgesine geri dönüşü, boru kesitinin sahip olduğu keskin köşelerden kaynaklanan kılcallık etkisi ile sağlanmaktadır. Bir mikro ısı borusu 100 mikrona kadar olan hidrolik çap ve birkaç santimetreye kadar olan uzunluk değerlerine sahip olabilmektedir [8, 14].



Şekil 3. Mikro ısı borularına ait çeşitli kesit görselleri [14].

Zhao ve diğerleri geliştirdikleri 520 mm-20 mm – 20 mm ölçülerindeki ısı borusunda iş akışkanı olarak amonyak kullanmışlar ve sistemin 175 W ısı transfer değerine ve 7.06×10^5 W/mK ısı direnç değerinde çalıştığını ortaya koymuşlardır. Bu sistemin eğim açısının artması ile ısı transfer kapasitesinin arttığı ve 120°C, 92 bar şartlarına kadar güvenilir çalıştığı belirtilmiştir [15].

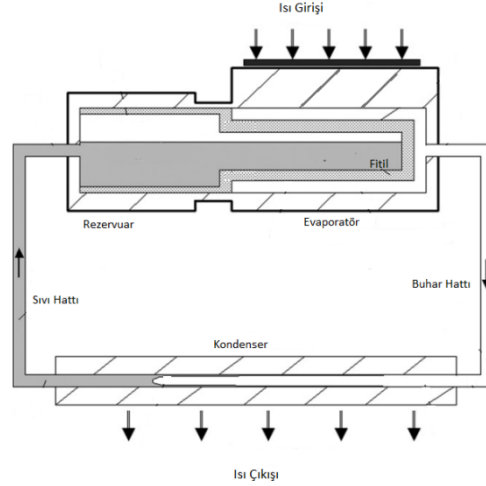
Liu ve diğerleri mikro ısı borusu üzerine kanat entegrasyonu gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada çeşitli kanat boyutlarını değerlendirmişler ve ideal değerlerin 15 mm yükseklik 10.1 mm kanat aralığı ve 0.25 mm kalınlık olduğunu ortaya koymuşlardır [16].

Ren ve diğerleri “u” şekilli mikro ısı boruları ile Li-ion bataryaların ön ısıtılmasını gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, ısı borusu entegrasyonu ile 32 W elektrik gücü ile sıcaklığın -20°C'den 0°C'ye 26 dakikada ısıtıldığı ve bu sayede bataryalarda meydana gelen kapasite ve voltaj düşüşlerinin önüne geçildiğini belirtmişlerdir [17].

Diao ve diğerleri yaptıkları çalışmada mikro ısı borusu demetinden oluşan bir gizli ısı depolama sistemi geliştirmişler ve sistemin şarj ve deşarj hızlarının sıcaklık ile değişimini incelemişlerdir. Sistemi şarj eden ısıtma suyu sıcaklıklarında meydana gelen 10°C'lik sıcaklık artışı ile sisteme giren ısı miktarında %41.3 artış ve soğutma suyunda 10°C'lik düşüş ile sistemden çıkan ısı miktarında %48 artış sağlandığı kaydedilmiştir [18].

2.1.3. Döngülü Isı Boruları

Döngülü ısı boruları, geleneksel ısı boruları ile benzer bir şekilde, iş akışkanının yoğunlaşma ve buharlaşma döngüsü ile bir ortamdan diğerine ısı transferi sağlayan cihazlardır. Bu sistemlerde akışkan hareketini tetikleyen kuvvet kılcal pompalama kuvvetleridir. Bir döngülü ısı borusu temel olarak altı bileşenden meydana gelir [8,19]. Bunlar; evaporatör, rezervuar, fitil, buhar hattı, sıvı hattı ve kondenserdür (şekil 4.. Rezervuar kısmı bir döngülü ısı borusu sistemindeki en büyük hacme sahip olan bölümdür ve iki görevi mevcuttur. Bunlar, sirkülasyonda aşırı akışkan dolaşımını engellemek amacı ile fazla akışkanı barındırmak ve evaporatör fitiline sürekli akışkan akışını sağlayacak akışkan kaynağını oluşturmaktır. Bu sistemlerde bir tanesi evaporatörde (birincil) bir tanesi ise rezervuarda (ikincil) olmak üzere iki adet fitil bulunur. Sistemdeki sıvı ve buhar hatları küçük çap değerlerine sahip kılcal kanallardan meydana gelir ve kondenser bölgesinde ısı kuyusuna doğru bir şekilde ısı transferini gerçekleştirecek bir ısı değiştirici bulunur. Döngülü ısı boruları hem geleneksel ısı borularının hem de kılcallık etkilerinin özelliklerinden eş zamanlı olarak faydalanabilmeleri yönü ile potansiyel gösteren sistemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar [8,19].



Şekil 4. Döngülü ısı borusu şematik gösterimi [19].

Shuailing ve diğerleri yardımcı kompresörlü ve pompa destekli bir döngülü ısı borusu sistemi geliştirmişler ve sistemi üç modda deneysel olarak test etmişlerdir. Dış ortam sıcaklığının 15°C olduğu deneysel çalışmalarda kombine sistemin yardımcı kompresörlü ve pompa destekli çalışma modlarına göre sırası ile %52.5 ve %78 daha iyi sıcaklık etkinliği gösterdiğini belirtmişlerdir [20].

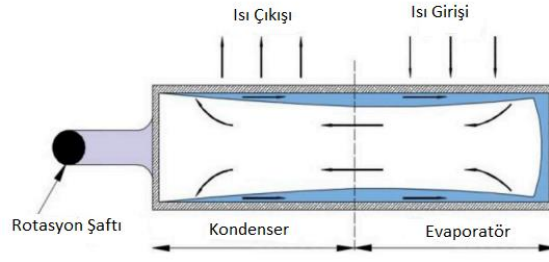
S. Liu ve diğerleri pompa tahrikli ısı borusu, ısı pompası ve entegre modlarda çalışabilen bir döngülü ısı borusu sisteminin deneysel incelenmesi sonucunda entegre modda her şartta daha iyi performans sergilendiği ve ısı pompalı sistemin 8.7-35.8°C şartlarında kabul edilir sonuçlar ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir [21].

C. Liu ve diğerleri 1m² evaporatör alanına sahip bir döngülü ısı borusu sistemini uzay teleskop lenslerinde sıcaklık dağılımını dengelemek amacı ile test etmişler ve sistemin 10 W ısı güç girdisi değerinde çalışmaya başladığını, dengesiz ısı kaynağı sıcaklıklarında bile evaporatör sıcaklık dağılımının çok az etkilendiğini, düşük ısı güç girdilerinde sistemin düşük ısı direnç değerlerine sahip olduğunu ve 80-120 K sıcaklık aralığında sistemin normal bir şekilde çalıştığını belirtmişlerdir [22].

L. Liu ve diğerleri geliştirdikleri buhar tahrikli enjeksiyon ve kaynama odası bileşenlerine sahip döngülü ısı borusu ile kompansasyon odasında meydana gelen ısı kayıplarının önüne geçerek sistemdeki ısı akısını artırmayı hedefleyen bir dizi deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistem ile 238 W ısı güç girdisi ile kaynama havuzu ısısının 507 W, ısı akısının da 105 W/m² değerlerine ulaştığı belirtilmektedir [23].

2.1.4. Dönel Isı Boruları

Yaygın olarak bilindiği üzere ısı borusu türleri arasındaki temel farkı oluşturan parametre, iş akışkanının kondenserden evaporatöre geri dönüşünü sağlayan işlemlerdir. Şekil 5.'te de görüleceği üzere dönel ısı boruları iş akışkanının geri dönüşünü sağlamak için merkezkaç kuvvetlerinin etkisinden faydalanan ısı borusu sistemleridir. Bu yönleri ile kılcallık kuvvetlerinin kullanımından kaynaklanan sınırlamaların ötesine geçebilen sistemler olarak gösterilebilmektedir. Dönel ısı boruları da geleneksel ısı borusu sistemlerinde olduğu gibi; evaporatör, adyabatik bölge ve kondenser bölümlerinden meydana gelmekle birlikte yaygın olarak kullanılan iş akışkanlarının da kullanımına uygun yapıdadırlar. Bu sistemler radyal ve eksenel dönel ısı boruları olarak iki gruba ayrılırlar. Bu sistemler uygun bir döndürme ekipmanı ile doğru bir şekilde birleştirildiklerinde ısı borularına dair pek çok sınırlamanın üstesinden gelinilmekte fakat dönme ekseninde meydana gelebilecek balans ve titreşim gibi olumsuz etkiler ise verim değerlerini oldukça düşük seviyelere getirebilmektedir [8,24].



Şekil 5. Dönel ısı borusu şematik gösterimi [24].

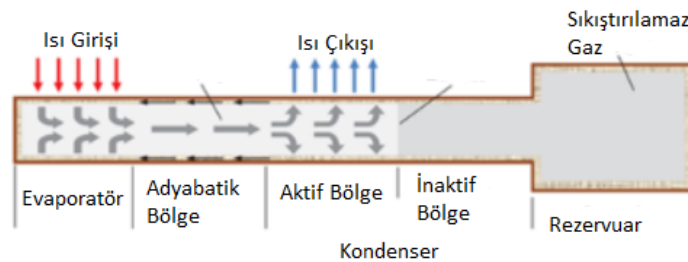
Wang ve diğerleri yürüttükleri deneysel çalışmalarda döngülü ısı borularında dönme hareketinin, sistemdeki sıcaklık dalgalanmalarını ve evaporatör ısı direncini düşürdüğünü göstermişlerdir. Çalışmada 0 rpm hızında yani dönme hareketi yokken sistemin oldukça kararsız olduğunu ancak dönme hareketinin başlaması ile sistem performansının gözle görülür ölçüde iyileştiğini deneysel olarak ortaya koymuşlardır [25].

Xie ve diğerleri çalışmalarında bir dönel ısı borusu ve boş boru ısı transfer sistemini eş ölçü ve ortam şartları altında deneysel olarak kıyaslamışlar ve gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlardan dönel ısı borusu sisteminde evaporatör kondenser sıcaklık farkının 4°C olduğunu belirlemişler ve bu değer diğer sistem için 27°C olduğunu belirtmişlerdir [26].

Hassan ve Harmand çalışmalarında değişen sıcaklık farkları ve dönme hızları için dönel ısı borusunun performansını ortaya koymak amacı ile deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde iş akışkanı olarak saf su ve saf suyun Cu, CuO, Al_2O_3 karıştırılmasıyla oluşturulmuş nanoakışkanları kullanmışlardır. Sistem performansının 20°C sıcaklık farkı ve 300 rpm dönme hızı şartlarında, 5 nm partikül boyutlu ve %0.04 derişimli Cu-Su nanoakışkan durumunun saf suya göre %56 arttığını gözlemlemişlerdir [27].

2.1.5. Değişken İletkenlikli Isı Boruları

Isı boruları ilk ortaya çıktıkları dönemde sabit iletkenlik değerine sahip cihazlar olduklarından dolayı belirli bir çalışma sıcaklığına ayarlanamamaktaydı. Isı borularının ihtiyaç duyulan çalışma ortamına göre kontrol edilmesini amaçlayan çalışmalar sonucunda değişken iletkenlikli ısı boruları (DİİB) ortaya çıkmıştır [28]. Şekil 6.'da şematik gösterimi verilen DİİB'lerinde kondenser kısmına bir miktar sıkıştırılmaz gaz eklenmesi ile ısı borusunun iletkenliği azaltılabilmektedir. Kondenser dış ortam sıcaklığının artması ile sıkıştırılmaz gaz hacminin azalması ve bu sayede yoğunlaşma hacminin artması ile ısı borusu iletkenliğinin artması sağlanabilmektedir. Aynı şekilde kondenser dış ortam sıcaklığının azaltılması sistem üzerinde yukarıdakinin tam tersi etki yaratmaktadır. Değişken iletkenlikli ısı borularında ısı borusu iletkenliği ve dolayısıyla çalışma sıcaklığı kontrolü kondenser dış ortam sıcaklığının değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir. Bu sistemlerde, çalışma prensipleri gereği, kontrol sınırları iş akışkanının doyma eğrisine, çalışma sıcaklığına, dış ortam sıcaklığına ve buhar-sıvı hacimlerinin oranına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sistemde sıkıştırılmaz gaz yerine akışkan kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Değişken iletkenlikli ısı borusu sistemleri yaygın olarak hava-uzay uygulamalarında kullanılmaktadır [29,30].



Şekil 6. Değişken iletkenlikli ısı borusu şematik gösterimi [30].

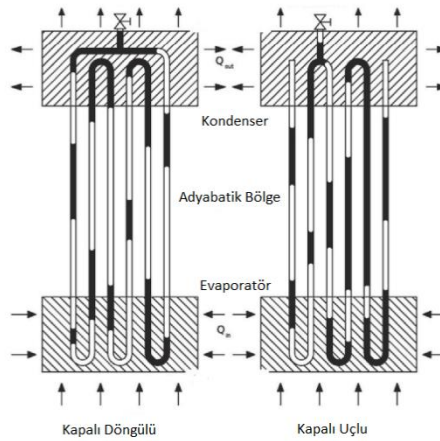
Law ve diğerleri çalışmalarında bir Stirling ısı-güç üretimi sisteminde DİIB entegrasyonu ile ısı salınımı kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Güç sisteminde ısı deposu olarak faz değiştiren malzeme kullanımı ve ısı borusu entegrasyonu ile sistem performansının yüksek derecede arttığını gözlemlemişlerdir [31].

Leriche ve diğerleri araç motorlarında ilk çalışma ardından motor yağının ısıtma soğutma döngüsünü düzenlemek amacıyla DİIB entegrasyonunu gerçekleştirmişler ve eğim açısının ısı borusu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. DİIB entegrasyonu ile geleneksel ısı borularına göre oldukça yüksek performans artışlarının olduğu gözlemlenirken ısı borusunun en iyi çalışma şartlarının da 45° ve 2° eğim açılarında gerçekleştiğini gözlemlenmiştir [32].

Shafii ve diğerleri ısı borusu evaporatör uzunluğu değişimini incelemek için bir demir bilya ve mıknatıs kullanılan bir DİIB sistemi tasarlamışlardır ve farklı ısı güç girdileri ve eğim açılarında deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda evaporatör uzunluğu azaldıkça sistem performansının azaldığını ve her bir uzunluk için ısı güç girdisi arttıkça performansın arttığını ve ideal eğim açısının 80° olduğunu belirlemişlerdir [33].

2.1.6. Titreşimli Isı Boruları

Titreşimli ısı boruları (TIB), bir kılcal boru içerisinde, akışkanın aynı anda hem sıvı hem de buhar fazında bulunduğu ısı transfer cihazlarıdır. Akışkan kılcal boru içerisinde farklı uzunluklarda bir sıvı tıkaçı ve bir buhar baloncuğu sıralaması ile bir zincir oluşturmaktadır. Bu sistemlerde iş akışkanı sisteme giren ısının etkisi ile buharlaşmaya başlamakta ve bu da kılcal borular içerisindeki buhar basıncının artması ile buhar baloncuklarının sıvı tıkaçlarını kondenser bölgesine doğru gitmesini sağlamaktadır. Isınarak kondenser bölgesine gelen iş akışkanı burada dış ortama ısı vermekte ve yoğunlaşarak düşen buhar basıncı sayesinde iş akışkanı tekrar evaporatör bölgesine dönmektedir. Akışkanın evaporatör bölgesine dönüşü ile tekrar buhar basıncı artmakta ve bu döngü sisteme ısı giriş çıkışı olduğu sürece devam etmektedir. Akışkanın kondenser ve evaporatör bölgeleri arasında yaptığı bu sürekli döngüsel harekete titreşim (osilasyon) hareketi denilmektedir ve sistem adını buradan almaktadır [35-37].



Şekil 7. Kapalı döngülü ve kapalı uçlu titreşimli ısı borusu şematik gösterimi [35].

Bir titreşimli ısı borusu evaporatör bölgesi, adyabatik bölge ve kondenser bölgeleri olmak üzere üç kısımdan meydana gelmektedir.

Titreşimli ısı boruları temelde üç tip olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar; açık uçlu, kapalı uçlu ve kapalı döngülü titreşimli ısı boruları şeklindedir. Kapalı döngülü ve kapalı uçlu TIB sistemlerine ait şematik şekil 7.'de verilmektedir.

Açık uçlu titreşimli ısı borularında sistem iş akışkanının çevre basıncına açık olduğu bir şekilde çalışmaktadır ve bu tasarım, dolum öncesi vakumlama işlemine olanak tanıması ve çalışma

şartlarını yüksek oranda sınırlaması yönüyle daha az tercih edilen bir tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Kapalı uçlu TIB'larında ise bu tarz sınırlamalar azalırken titreşim hareketinin her bir kanalın kendi içinde titreşim döngüsünün gerçekleşmesi şeklinde ortaya çıkması bu sistemi sınırlayan temel özellik olarak görülmektedir. Kapalı döngülü TIB'larında bütün sistem tek bir kılcal kanalın bir döngü oluşturabileceği şekilde oluşturulması bütün kanal boyunca döngüsel bir akışa imkân sunmakta ve ısı transfer oranı arttıkça sistem sınırlamalarının da büyük ölçüde ortadan kalktığı görülmektedir [35-37].

Titreşimli ısı borularının yukarıda belirtilen üç temel tipine ek olarak; tek dirsekli, çok dirsekli, üç boyutlu, düzlemsel plakalı şekilde birçok farklı tipin uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir.

Kiritkumar ve diğerleri yaptıkları çalışmada kanal yapısının TIB performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 2 mm x 2 mm kare kesitli, 5 mm x 5 mm kare kesitli ve 2 mm çapında dairesel kesitli TIB'larında su, etanol, metanol ve aseton akışkanlarını iş akışkanları olarak kullanmışlar ve farklı doluluk oranlarında ısı güç girdilerini ve eğim açılarını deneysel olarak incelemişlerdir. En düşük ısı direnç değeri olan 0.39 °C/W değerinin %60 doluluk oranında aseton iş akışkanı ile 100 W ısı güç girdisi için 2 mm x 2 mm kesitli TIB için dikey yönlendirilmesi ile elde ettiklerini belirtmişlerdir [38].

Y. Zhou ve diğerleri tasarladıkları TIB sistemini hacimsel olarak farklı konsantrasyon oranlarına sahip grafen nanoakışkanı ile değişen doluluk oranları ve ısı güç girdileri için deneysel olarak incelemişler ve en iyi sonuçların %2 derişimde, %83.6 doluluk oranında ve 80 W ısı güç girdisinde elde ettiklerini belirtmişlerdir [39].

Ji ve diğerleri çalışmalarında titreşimli ısı borularında kullanılan Al₂O₃ nanoakışkanının, partikül boyutundaki değişimin ısı transfer kapasitesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında 50 nm, 80 nm, 2.2 mikrometre ve 20 mikrometre ortalama partikül boyutuna sahip nanoparçacıklar ile hazırlanan Al₂O₃-Su iş akışkanları çalışma kapsamında kullanılmıştır. Deneysel nanopartikül ilavesi ile titreşimli ısı borusu performansında çok ciddi değişimler gerçekleştiğini ortaya koymuşlar ve bütün parçacık boyutları için ilk çalışma performansının arttığını ancak en iyi performans değerlerinin 80 nm parçacık boyutunda elde edildiğini belirtmişlerdir [40].

Qu ve Wu farklı nanoakışkanların titreşimli ısı borusu performansı üzerindeki etkilerini yaptıkları deneysel çalışmayla araştırmışlardır. Çalışmada SiO₂-Su ve Al₂O₃-Su nanoakışkanlarının farklı derişimleri için deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarda ısı borusunun doluluk oranı %50 olarak ayarlanırken nanoakışkan derişiminin SiO₂-Su için %0-0.6 ve Al₂O₃-Su için %0-1.2 arasında değiştiği belirtilmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, Al₂O₃ nanoakışkan kullanımı ile ısı borusu ısı direncinin %25.7 oranında azaldığı ancak SiO₂ nanoakışkan kullanımında ısı borusu performansının olumsuz etkilendiği görülmektedir [41].

Jamshidi ve diğerleri çalışmalarında geliştirdikleri titreşimli ısı borusu sisteminde gümüş-su, TiO-Su ve saf su iş akışkanları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda ısı direnç değerleri TiO-Su nanoakışkanının %40 doluluk oranı için 0.8 K/W ve Ag-Su nanoakışkanının %50 doluluk oranı için 0.9 K/W ve saf suyun %40 doluluk oranı için 1.15K/W olarak belirtilmiştir [42].

3. ISI BORULARINDA KULLANILAN FİTİL YAPILARI

Bir ısı borusu sisteminde fitil yapısının başlıca görevleri kondenserde yoğunlaşan akışkanın evaporatöre dönüşünün sağlanması ve iş akışkanının evaporatör yüzeyini tamamen ıslatmasına olanak sağlamasıdır. Bir fitil yapısının bulundurulması gereken özellikler aşağıda verilmektedir.

Yüksek Kılcallık Etkisi: Isı borularında kullanılan fitillerin performans karakteristikleri sundukları gözenekli yapı ile oluşan kılcallık etkisiyle doğrudan ilişkilidir ve yüksek basınç değerleri ortaya koymalıdır.

Geçirgenlik: Sıvı akışına dik yönde geniş iç gözenekliliği sağlayarak sıvı akış direncini düşürmelidir,

Yüksek Isıl İletkenlik: Isı borusu sistemlerinde ısı iletkenliğinin yüksek olması her bileşende olduğu gibi fitil yapısında da yüksek öneme sahiptir [43, 3].

Isı borularında kullanılan fitil yapıları yukarıda belirtilen özellikler göz önünde bulundurularak çeşitli yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Fitil yapıları genel olarak homojen ve kompozit fitiller olarak iki ana başlık altında ele alınmaktadır. Homojen fitil yapıları tek tip malzemeden üretilirken kompozit yapılar iki veya daha fazla malzemenin aynı anda kullanılması ile üretilirler. Homojen ve kompozit fitil yapı örnekleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Homojen ve Kompozit fitil yapıları [43-45].

Homojen Fitil Yapıları	Kompozit Fitil Yapıları
Elek Teli	Kompozit Elek
Metal Sinterleme	Elek Teli Kaplı Yiv
Eksenel Yiv	Levha
Paralel ve Yarım Ay	Tünel
Arter	

Literatürde ısı borularında kullanılan fitil yapılarının incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar sinterleme, kanal tipi, elek teli olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilmektedir [46].

Santos ve diğerleri seramik tozunun yüzeye sinterlenmesi ile 1-3 µm gözenek boyutlarına sahip 50 gözeneklilik değerine sahip fitil yapısı geliştirmişlerdir. Bu yapının geçirgenlik değerinin $3.5 \times 10^{-14} \text{ m}^2$ olduğunu belirtmişlerdir [47].

Ma and Peterson üçgen kesitli kanal tipi fitil yapısını deneysel olarak incelemişlerdir. Tepe açısının 60° olarak ayarlandığı deneysel çalışmalar sonucunda, tepe açısının ısı transfer performansına doğrudan etki eden bir parametre olduğunu ortaya koymuşlardır [48].

Stroes and Cotton, çalışmalarında üçgen kesitli ve sinüsoidal kanal tipi fitil yapılarını karşılaştırmalı olarak incelemişler ve üçgen kesitin daha iyi kılcallık etkileri göstermesi karşısında sinüsoidal yapının ısı transfer yüzeyini artırarak daha yüksek ısı akısı değerleri sağlayabildiğini ifade etmişlerdir [49].

Brautsh and Kew paslanmaz çelik malzemeden ürettikleri elek teli fitil yapısı üzerine yürüttükleri çalışmada, ısı akısının artması ile fitil üzerinde baloncuklar oluştuğunu ve bu durumun da ısı borusu içerisinde bölgesel kurumalara sebep olduğunu gözlemlemişlerdir. Fitil kalınlığının artırılması ile bölgesel kurumaların engellenebildiğini ancak bu sefer de ısı iletkenliğinin düştüğünü belirtmişlerdir [50].

4. ISI BORULARINDA KULLANILAN AKIŞKANLAR

Isı borularında kullanıma uygun pek çok akışkan mevcut olmakla birlikte uygun akışkanın belirlenmesinde ilk olarak dikkat edilmesi gereken nokta çalışma sıcaklığı aralığıdır. Yaklaşık bir çalışma sıcaklık aralığı sistemin çalışma koşulları dikkate alınarak belirlenerek uygun akışkanlar belirlenmelidir [51]. Tablo 2'de ısı borularında kullanılan bazı akışkanlar ile ilgili termofiziksel özellikler verilmektedir. Çalışma sıcaklık aralıklarında farklı akışkanların uygunlukları durumunda aşağıda belirtilen durumlar dikkate alınarak diğer belirtilen özelliklerle ilgili uygunluklar belirlenmelidir [6].

Akışkan seçimlerinde dikkate alınması gereken özellikler:

Fitil ve ısı borusu malzemesinin uyumlu çalışması,

İyi derecede ısı kararlılık,

Fitil ve ısı borusu duvarının ıslatabilirliği,

Buhar basıncının çok yüksek ya da çalışma sıcaklığı aralığının altına inecek kadar düşük olmaması,

Yüksek gizli ısı,

Yüksek ısı iletkenlik,

Düşük sıvı ve buhar viskozitesi değerleri,

Yüksek yüzey gerilimi,

Kabul edilebilir donma ve akma sıcaklıkları şeklinde özetlenebilir.

Tablo 2. Isı borularında kullanılan akışkanlar ve özellikleri.

İş Akışkanı	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Çalışma Aralığı (°C)
Helyum	-271	-261	(-271)-(-269)
Nitrojen	-210	-196	(-203)-(-160)
Amonyak	-78	-33	(-60)-(-100)
Pentan	-130	28	(-209)-(120)
Aseton	-95	57	(0)-(120)
Metanol	-98	64	(10)-(130)
Flutek PP2	-50	76	(10)-(160)
Etanol	-112	78	(0)-(130)
Heptan	-90	98	(0)-(150)
Su	0	100	(30)-(200)
Toluen	-95	110	(50)-(200)
Flutek PP9	-70	160	(0)-(225)
Termeks	12	257	(150)-(350)
Civa	-39	361	(250)-(650)
Sezyum	29	670	(450)-(900)
Potasyum	62	774	(50)-(1000)
Sodyum	98	892	(600)-(1200)
Lityum	179	1340	(1000)-(1800)
Gümüş	960	2212	(1800)-(2300)

Tablo 3. Isı borularında kullanılan nanoakışkanlar ile ilgili yapılan çalışmalar.

Akışkan	Partikül Boyutu (nm)	Isı Transfer Artışı (%)	Ref.
Cu/EG	10	40	[58]
Cu/Su	75-100	23.8	[59]
Cu/ Su	100	78	[60]
Fe/EG	10	18	[61]
Ag/Toluen	60-80	16.5	[62]
Cu ₂ O/Su	200	24	[63]
Au/Etanol	4	1.3	[64]
Fe ₃ O ₄ / Su	10	38	[65]
TiO ₂ / Su	15	30-33	[66]
Al ₂ O ₃ / Su	20	20	[67]
CuO/ Su	33	11.5	[68]
SiC/ Su	25	15.9	[69]
NCTs/Motor Yağı	20-50	30	[70]
NCTs/PolyOil	25	160	[71]
NCTs/EG	15	19.6	[72]
Su/FC-72	9,8	52	[73]
Al ₂ O ₃ /Su	56	32.5	[74]
SiO ₂ /Su	10	20	[75]
Fe ₂ O ₃ /Kerosen	20	19	[76]
Diamond/Su	50	36	[77]

Son yıllarda nano-akışkanların iş akışkanı olarak kullanılması durumundaki sonuçları inceleyen birçok çalışma yapılmaktadır. Nano akışkan terim olarak nanometre boyutunda katı parçacıklar ihtiva eden katı-sıvı malzemeler olarak ifade edilmektedir. Carbidler, nitritler, saf metaller ve metal oksitler nano akışkan oluşturmada kullanılan katı malzemelere örnek gösterilebilirken su, etilen glikol ve motor yağı da baz akışkan örnekleri olarak verilebilmektedir. Nano akışkanlar; nükleer reaktörler, biyomedikal, ulaşım, gibi pek çok alanda kullanılmakla birlikte ilk çıkışları ısı iletkenlik artışı amacıyla yürütülen çalışmalarda görülmektedir [52-55].

Farklı partikül boyutlarına sahip nano akışkanların ısı borularında kullanılması durumunda baz akışkana göre ısı transfer miktarlarındaki artış oranları deneysel çalışmalarla belirlenmiştir [56,57]. Tablo 3'te ısı borularında kullanılan nanoakışkanlar ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aktarılmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, ısı boruları ile ilgili genel değerlendirmeler yapılarak ısı borusu türleri, yapıları ve özellikleri hakkında detaylı incelemeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen literatür araştırmaları ile ısı borusu uygulamalarındaki mevcut durum ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aktarılmıştır. Sonuç olarak enerji transferinde ısı borusu sistemlerinin birçok uygulamada yaygın olarak kullanılan ve gelecekte kullanım potansiyelinin artacağı sistemler olacağı yapılan araştırma çalışmalarıyla görülmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen değerlendirmeler aşağıda verilmektedir.

Isı borusu sistemleri ısı geri kazanımı uygulamalarında yüksek verim değerlerine ulaşılmasını sağlayan cihazlardır.

Farklı akışkanların kullanımı ile farklı ihtiyaçların karşılanmasına imkân sağlayarak geniş bir alanda kendilerine yer bulabilmektedirler.

Değişken iletkenlikli ısı boruları tek bir sistemle farklı kapasitelerde kullanılabilmesi ile zaman içinde meydana gelen ihtiyaçlarda tek bir sistem ile çözüm sunabilmektedirler.

Titreşimli ısı boruları üretim ve tasarım kolaylıkları ile uzay uygulamalarından kriyojenik uygulamalara kadar birçok alanda akılcı çözümler sunabilmektedirler.

Sonuç olarak ısı boruları sistemleri pek çok yönü ile enerji sistemlerinde gerçekleştirilen ısı transfer uygulamalarında uygun, tercih edilebilir çözümler sunabilmekte ve farklı uygulama alanlarında geliştirilmeye açık cihazlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ARSLAN, F., UZUN, A. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Sosyal Kabul Boyutu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 51, 95-116, 2016.
- [2] KILIÇ, F. Ç. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 671, 28-40, 2015.
- [3] PETERSON, G. P. An Introduction to Heat Pipes Modelling Testing and Applications. John Wiley and Sons, USA, 368, 1994.
- [4] SILVERSTEIN, C. C. Design and Technology of Heat Pipes For Cooling and Heat Exchange. Hemisphere Publishing Corporation, USA, 378, 1992.

- [5] CHAN, C. W., SÍQUEİROS, E., LİNG-CHİN, J., ROYAPOOR, M., ROSKİLLY, A. P. Heat Utilisation Technologies: A critical Review of Heatpipes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 615-627, 2015.
- [6] DOĞAN, H. Isı Borulu Güneş Kollektörü ile Kurutma. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (5), 921-925, 1999.
- [7] YILDIRIM, R., ÖZSOY, A. Toprak Kaynaklı Isı Borularıyla Kaldırımdaki Buzlanmanın Önlenmesinin Isıl Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(4), 591-596, 2018.
- [8] ZAHOURİ, B. *Heat Pipe Design and Technology*. Springer, USA, 513, 2016.
- [9] DİNG, T., CHEN, X., CAO, H., HE, Z., WANG, J., Lİ, Z. Principles of Loop Thermosyphon and Its Applications. *Renewable and Sustainable Energy*, 150, 2021.
- [10] ANAND, R. S., JAWAHAR, C. P., SOLOMON, B. A., BELLOS, E. A Review of Experimental Studies on Clyndrical Two-Phase Closed Thermosyphon Using Refrigerant for Low Temperature Applications. *International Journal of Refrigeration*, 120, 296-313, 2020.
- [11] SBAİTY, A. A., LOUAHLİA, H., MASSON, S. L. Performance of a Hybrid Thermosyphon Condenser for Cooling a Typical Data Center Under Various Climatic Constraints. *Applied Thermal Engineering*, 202, 2022.
- [12] ANAND, R. S., JAWAHAR, C. P., SOLOMON, B. A., DAVID, S., BELLOS, E., SAİD, Z. Experimental Investigations on Modified Thermosyphons Using R134a/ Al₂O₃ and Comparative Machine Learning Analysis. *Applied Thermal Engineering*, 212, 2022.
- [13] PONOMAREV, K. O., KUZNETSOV, G. V., ORLOVA, E. G., FEOKTİSTOV, D. V. Thermosyphon-assisted Cooling System Working in the Moderate Heat Flux Range. *Thermal Science and Engineering Progress*, 32, 2022.
- [14] QU, J., WU, H., CHENG, P., WANG, Q., SUN, Q. Recent Advances in MEMS-based Micro Heat Pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, 294-313, 2017.
- [15] ZHAO, Y., WEİ, L., CAİA, J., LİANG, J. Experimental Performance of Ammonia-charged Micro Heat Pipe Array for Energy Saving. *Applied Thermal Engineering*, 186, 2021.
- [16] LİU, Z., QUAN, Z., ZHAO, Y., JİNG, H., YANG, M. Performance Optimization of Ice Thermal Storage Device Based on Micro Heat Pipe Arrays. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 134, 2022.
- [17] REN, R., ZHAO, Y., DİAO, Y., LİANG, L. Experimental Study on Preheating Thermal Management System for Lithium-Ion Battery Based On U-Shaped Micro Heat Pipe Array. *Energy*, 253, 2022.
- [18] DİAO, Y., QİN, Q., WANG, Z., ZHAO, Y., CHEN, C., REN, R. Numerical and Experimental Investigation on a Latent Heat Thermal Storage Device Featuring Flat Micro Heat Pipe Arrays With Offset Strip Fins. *Journal of Energy Storage*, 4, 2021.
- [19] LAUNAY, S., SARTRE, V., JOCELYN, B. Parametric Analysis of Loop Heat Pipe Operation: a Literature Review. *International Journal of Thermal Sciences*, 46, 621–636, 2007.
- [20] SHUAİLİNG, L., GUOYUAN, M., XİAOYA, J., SHUXUE, X., GUOQİANG, W. Performance of a Mechanically-Driven Loop Heat Pipe Heat Recovery System. *Applied Thermal Engineering*, 207, 2022.
- [21] LİU, S., MA, G., XU, S., JİA, X., WU, G. Experimental Study of Ventilation System with Heat Recovery Integrated by Pump-Driven Loop Heat Pipe and Heat Pump. *Journal of Building Engineering*, 52, 2022.
- [22] LİU, C., CHEN, Y., FENG, D., ZHANG, H., MİAO, J., FENG, Y., YAN, Y., ZHANG, X. Experimental Study on Temperature Uniformity and Heat Transfer Performance of Nitrogen Loop Heat Pipe with Large Area and Multi-Heat Source. *Applied Thermal Engineering*, 210, 2022.
- [23] LİU, L., YUAN, B., YANG, X., CUI, C., WEİ, J. Experimental Study of a Novel Loop Heat Pipe with a Vapor-Driven Jet Injector and a Boiling Pool. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 184, 2022.
- [24] Lİ, S., LİU, Z. Parametric Study of Rotating Heat Pipe Performance: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 2020.
- [24] WANG, H., BAO, Y., LİU, M., ZHU, S., DU, X., HOU, Y. Experimental Study on Dynamic Characteristics of Cylindrical Horizontal Axially Rotating Heat Pipe. *Applied Thermal Engineering*, 209, 2022.
- [25] XİE, M., XUE, Z., QU, W., Lİ, W. Experimental Investigation of Heat Transfer Performance of Rotating Heat Pipe. *Procedia Engineering*, 99, 746 – 751, 2015.
- [27] HASSAN, H., HARMAND, S. Effect of Using Nanofluids on the Performance of Rotating Heat Pipe. *Applied Mathematical Modelling*, 39, 4445–4462, 2015.



- [28] BRENNAN, P. J., KROLICZEK, E. J. Heat Pipe Design Handbook. B&K Engineering, Maryland, 385, 1979.
- [29] MARCUS, B., D. Theory and Design of Variable Conductance Heat Pipes, NASA CR-2018, USA, 252, 1972.
- [30] GUO, Y., LIU, C., PAN, H., LYU, W., ZHANG, H., LIN, G., MIAO, J. Experimental Investigation and Multiparameter Analysis of Variable Conductance Heat Pipes. Applied Thermal Engineering, 202, 2022.
- [31] LAW, R., REAY, D. A., MUSTAFFAR, A., MCGLINC, R. J., UNDERWOOD, C., NG, B. Experimental Investigation into the Feasibility of Using a Variable Conductance Heat Pipe for Controlled Heat Release from a Phase-Change Material Thermal Store. Thermal Science and Engineering Progress, 7, 125–130, 2018.
- [32] LERICHE, M., HARMANDA, S., LIPPERT, M., DESMET, B. An Experimental and Analytical Study of a Variable Conductance Heat Pipe: Application to Vehicle Thermal Management. Applied Thermal Engineering, 38, 48-57, 2012.
- [33] SHAFİİ, B. M., AHMADİ, H., FAEGH, M. Experimental Investigation of a Novel Magnetically Variable Conductance Thermosyphon Heat Pipe. Applied Thermal Engineering, 126, 1–8, 2017.
- [34] DAVE, C., DANDALE, P., SHRIVASTAVA, K., DHAYGUDE, D., RAHANGDALE, K., MORE, N. A Review on Pulsating Heat Pipes: Latest Research, Applications and Future Scope. Journal of Thermal Engineering, 7(3), 387-408, 2021.
- [35] XU, Y., XUE, Y., QI, H., CAI, W. An Updated Review on Working Fluids, Operation Mechanisms, and Applications of Pulsating Heat Pipes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 144, 2021.
- [36] NAZARİ, M. A., AHMADİ, H. M., GHASEMPOURA, R., SHAFİİ, M. B., MAHİAND, O., KALOGIROUF, S., WONGWISES, S. A Review on Pulsating Heat Pipes: from Solar to Cryogenic Applications. Applied Energy, 222, 475–484, 2018.
- [37] KHANDEKAR, S., CHAROENSAWAN, P., GROLL, M., TERDTON, P. Closed Loop Pulsating Heat Pipes Part B: Visualization and Semi-Emprical Modelling. Applied Thermal Engineering, 23, 2021-2033, 2003.
- [38] KİRİTKUMAR, M. K. Experimental Investigations of Flat Plate Oscillating Heat Pipe. PhD Thesis, Gujarat Technological University, Ahmedabad, 2020.
- [39] ZHOU, Y., CUI, X., WENG, J., SHI, S., HAN, H., CHEN, C. Experimental Investigation of the Heat Transfer Performance of an Oscillating Heat Pipe With Graphene Nanofluids. Powder Technology, 332, 371–380, 2018.
- [40] JI, Y., MA, H., SU, F., WANG, G. Particle Size Effect on Heat Transfer Performance in An Oscillating Heat Pipe. Experimental Thermal and Fluid Science, 35, 724–727, 2011.
- [41] QU, J., WU, H. Thermal Performance Comparison of Oscillating Heat Pipes with SiO₂/water and Al₂O₃/water Nanofluids. International Journal of Thermal Sciences, 50, 1954-1962, 2011.
- [42] JAMSHİDİ, H., ARABNEJAD, S., SHAFİİ, M. B., SABOOHI, A., RASOULIAN, R. Experimental Investigation of Closed Loop Heat Pipe with Nanofluids. ASME 2009 Heat Transfer Summer Conference, 19-23 June 2009, San Fransisco, California USA, 675-683, 2009.
- [43] ÇAYLIOĞLU, E., AKDEMİR, Ö. "Isı Borusu Uygulamaları.", Soğutma Dünyası, 51, 42-48, 2011.
- [44] CHİ, S. W. Heat Pipe Theory and Practice. Mc Grow Hill Book Company, USA, 242, 1976.
- [45] FAGHRİ, A. Heat Pipe Science and Technology, Taylor&Francis, USA, 874, 1995.
- [46] CHAN, C. W., SIQUEİROS, E., LİNG-CHİN, J., ROYAPOOR, M., ROSKİLLY, A. P. Heat Utilisation Technologies: A Critical Review of Heat Pipes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 615–627, 2015.
- [47] SANTOS, P. H. D., BAZZO, E., BECKER, S., KULENOVİC, R., MERTZ, R. Development of LHPs with Ceramic Wick. Appl Therm Eng, 30, 1784-1789, 2010.
- [48] MA H B, PETERSON G P. "Experimental Investigation of The Maximum Heat Transport in Triangular Grooves". Journal of Heat Transfer, 118, 740-746.
- [49] STROES, G. R., CATTON, I. An Experimental Investigation of the Capillary Performance of Triangular Versus Sinusoidal Channels. Journal of Heat Transfer, 119, 851-853, 1997.
- [50] BRAUTSCH, A., KEW, P. A. Examination and Visualisation of Heat Transfer Processes During Evaporation in Capillary Porous Structures. Applied Thermal Engineering, 22, 815–24, 2002.
- [51] REAY, D., KEW, P., MCGLIN, R. J. Heat Pipes Theory, Design and Applications. Elsevier, UK, 251, 2014.
- [52] HUSSEİN, A. K., Lİ, D., KOLSİ, L., KATA, S., SAHOO, B. A Review of Nanofluid Role to Improve the Performance of the Heat Pipe Solar Collectors. Energy Procedia, 109, 417 – 424, 2017.

- [53] CHOİ, S. Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles Developments and Applications of Non-Newtonian Flows. *ASME FED*, 23,199-105, 1995.
- [54] Lİ, Y., ZHOU, J., TUNG, S., SCHNEIDER, E., Xİ, S. A Review on Development of Nanofluid Preparation and Characterization. *Powder Technology*, 196, 89-101, 2009.
- [55] BEJAN, A., KARAUS, A. *Heat Transfer Handbook*. John WileyandSons. USA, 1481, 2003.
- [56] ALAWİ, O. A., SİDİK, N. A. C., MOHAMMED, H. A., SYAHRULLAIL, S. Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of Nanofluids in Heat Pipes: A Review. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 56, 50–62, 2014.
- [57] NAZARİA, M. A., AHMADİB, M. H., GHASEMPOURA, R., SHAFİİ, M. B. How to Improve the Thermal Performance of Pulsating Heat Pipes: A Review on Working Fluid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 630–638, 2018.
- [58] EASTMAN, J. A., CHOİ, S. U. S., Lİ, A., YU, W., THOMPSON, L. J. Anomalous Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles. *Appl. Phys. Lett.*, 78(6), 718–720, 2001.
- [59] LİU, M. S., LİN, M. C. C, TSAİ, C. Y., WANG, C. C. Enhancement of Thermal Conductivity with Cu For Nanofluids Using Chemical Reduction Method. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 49(17), 3028–3033, 2006.
- [60] XUAN, Y., Lİ, Q. Heat Transfer Enhancement of Nanofluids. *International Journal of Heat Fluid Flow*, 21(1), 58–64, 2000.
- [61] HONG, T. K., YANG, H. S., CHOİ, C. J. Study of the Enhanced Thermal Conductivity of Fe Nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 97, 064311-064311, 2005.
- [62] PATEL H. E., DAS, S. K., SUNDARARAJAN, T., NAİR, A. S., GEORGE, B., PRADEEP, T. Thermal Conductivities of Naked and Monolayer Protected Metal Nanoparticle Based Nanofluids: Manifestation of Anomalous Enhancement and Chemical Effects. *Appl. Phys. Lett.*, 83, 2931–2933, 2003.
- [63] WEİ, X., ZHU, H., KONG, T., WANG, L. Synthesis and Thermal Conductivity of Cu₂O Nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(19), 4371–4374, 2009.
- [64] PUTNAM, S. A., CAHILL, D. G., BRAUN, P. V., GE, Z., SHİMMİN, R. G. Thermal Conductivity of Nanoparticle Suspensions. *Journal of Applied Physics*, 99(8), 084308-084308, 2006.
- [65] ZHU, H., ZHANG, C., LİU, S., TANG, Y., YANSHENG, Y. Effects of Nanoparticle Clustering and Alignment on Thermal Conductivities of Fe₃O₄ Aqueous Nanofluids. *Appl. Phys. Lett.*, 89(2), 023123-023123, 2006.
- [66] MURSHED, S. M. S., LEONG, K. .C, YANG, C. Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂-Water Based Nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 44(4), 367–373, 2005.
- [67] XİE, H., WANG, J., Xİ, T., LİU, Y., Aİ, F., QİNGREN, W. Thermal Conductivity Enhancement of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles. *Journal of Applied Physics*, 91(7),4568–4572, 2002.
- [68] ZHANG, X., GU, H., FUJİİ, M. Experimental Study on The Effective Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Nanofluids”. *International Journal of Thermophysics*, 2 (2),) 569–580, 2006.
- [69] HUAQİNG, X., JİNCHANG, W., TONGGENG, X., YAN, L. Study on the Thermal Conductivity of SiC Nanofluids. *J. Chin. Ceram. Soc.*, 29(4), 361–364, 2001.
- [70] LİU, M. S., LİN, M. C. C., HUANG, I. T., WANG, C. C. Enhancement of Thermal Conductivity with Carbon Nanotube for Nanofluids. *International Community Heat and Mass Transfer*, 32(9) ,1202–1210, 2005.
- [71] CHOİ, S. U. S., ZHANG, Z. G., YU, W., LOCKWOOD, F. E., GRULKE, E. A. Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspensions. *Appl. Phys. Lett.*, 79(14), 2252–2254, 2001.
- [72] XİE, H., LEE, H., YOUN, W., CHOİ, M. Nanofluids Containing Multiwalled Carbon Nanotubes and Their Enhanced Thermal Conductivities. *Journal of Applied Physics*, 94 (8),) 4967–4971, 2003.
- [73] YANG, B., HAN, Z. H. Thermal Conductivity Enhancement in Water-in-FC72 Nanoemulsion Fluids”. *Appl. Phys. Lett.*, 88(26), 261914-261914, 2006.
- [74] QU, J., WU, H. Y., CHENG, P. Thermal Performance of an Oscillating Heat Pipe with Al₂O₃–water Nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(2), 111–115, 2010.
- [75] JİA, H., JİA, L., TAN, Z. An Experimental Investigation on Heat Transfer Performance of Nanofluid Pulsating Heat Pipe. *Journal of Therm Sciences*, 22(5), 484–490, 2013.
- [76] GOSHAYESHİ, H., GOODARZİ, M., DAHARİ, M. Effect of Magnetic Field on the Heat Transfer Rate of Kerosene/Fe₂O₃ Nanofluid in a Copper Oscillating Heat Pipe”. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 68, 663–668, 2015.



[77] WILSON, C., A. *Experimental Investigation of Nanofluid Oscillating Heat Pipes*. Phd Thesis, University of Missouri, Columbia, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Fırat ÖZDEMİR

1989 Adana doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamlamıştır. 2013 yılında Nğide Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuş ve aynı yıl Şırnak Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. 2014 yılında Ege Üniversitesine görevlendirilmiş ve 2017 yılında master derecesini Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamlamıştır. Halen Ege Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalışmakta ve doktora öğrenimine devam etmektedir.

Özay AKDEMİR

1975 yılı Ankara doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve doktora eğitimini 2007 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 1998-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır.

Ali GÜNGÖR

1955 Elazığ doğumlu, evli ve iki kız çocuk babasıdır. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında Mühendis, 1978 yılında Yüksek Mühendis ve aynı Üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında Doktor Mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalında Doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesinde Profesör ünvanını aldı. 1997-2012 yılları arasında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı yaptı. 27 Mayıs 2022 tarihinde emekli oldu. Halen güneş enerjisi, iklimlendirme, soğutma teknolojileri, titreşimli ısı boruları, ısı ve madde transferi uygulamaları, termodinamik konularında çalışmalarına devam ediyor.



KARBONSUZ GELECEK

Carbon Neutral Future

Muammer Akgün
Barbaros Batur
Özlem Yurtsever
M. Cem Çelik

ÖZET

2015 Paris Anlaşması sonrasında, Avrupa Birliği karbonsuz enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ciddi bir çalışma içerisine girerek bu konuda hedefler belirledi. Genel olarak, iklim değişikliği ile mücadelede sera gazı emisyonlarının azaltılmasının etkisi belirgindir. Bu nedenle endüstride enerji tüketimi ve hammadde kullanımı ile ilgili sera gazı emisyonlarını azaltmak oldukça zor olmasına rağmen her geçen gün artan enerji ihtiyacını karbonsuz enerji kaynaklarından sağlamak oldukça önemlidir.

Özellikle Avrupa Birliği'nin gelişmiş ülkelerince, Avrupa Birliği endüstrisinin tutarlı ve sağlam bir enerji politikasına ve bu politikaları oluşturmak için yenilikçi ve sürdürülebilir teknolojilere ve bu teknolojilerle üretilen enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle mevcut politikalarda değişikliklerin yapılması için çözüm önerileri belirlenmektedir.

Avrupa Komisyonu, özellikle sanayi ve enerji sektörü arasında artan enerji talebine çözüm sağlamak amaçlı karbonsuz, güvenli ve küresel rekabete uygun enerji üretimi için yasal düzenlemelerle birlikte ticari bir çerçeveyi oluşturmaya çalışmaktadır. Son birkaç on yıllık periyot içinde, fosil yakıtların azaltılması yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada, karbonsuz geleceğe yönelik olası yollar ve çözümler için paralel olarak ele alınması gereken temalar açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Karbon nötr enerji, Yenilenebilir enerji elektrik üretimi, Yeni enerji kaynakları, Karbon tutumu ve depolama, Karbon tutumu ve kullanımı

ABSTRACT

Following the 2015 Paris Agreement, the European Union entered into a serious study on the use of carbon-free energy resources and set targets in this regard. Overall, the effect of reducing greenhouse gas emissions to combat climate change are evident. Therefore, although it is very difficult to reduce greenhouse gas emissions related to energy consumption and raw material use in the industry, it is very important to meet the increasing energy demand from carbon-free energy sources.

Especially developed countries of the European Union need a consistent and sound energy policy of the European Union industry and innovative and sustainable technologies and energy resources produced with these technologies to create these policies. Therefore, solution proposals are determined to make changes in existing policies.

The European Commission is trying to establish a commercial framework with legal regulations for carbon-free, reliable and globally competitive energy production to provide solutions to the increasing energy demand, especially between the industry and the energy sector. In the last few decades, the

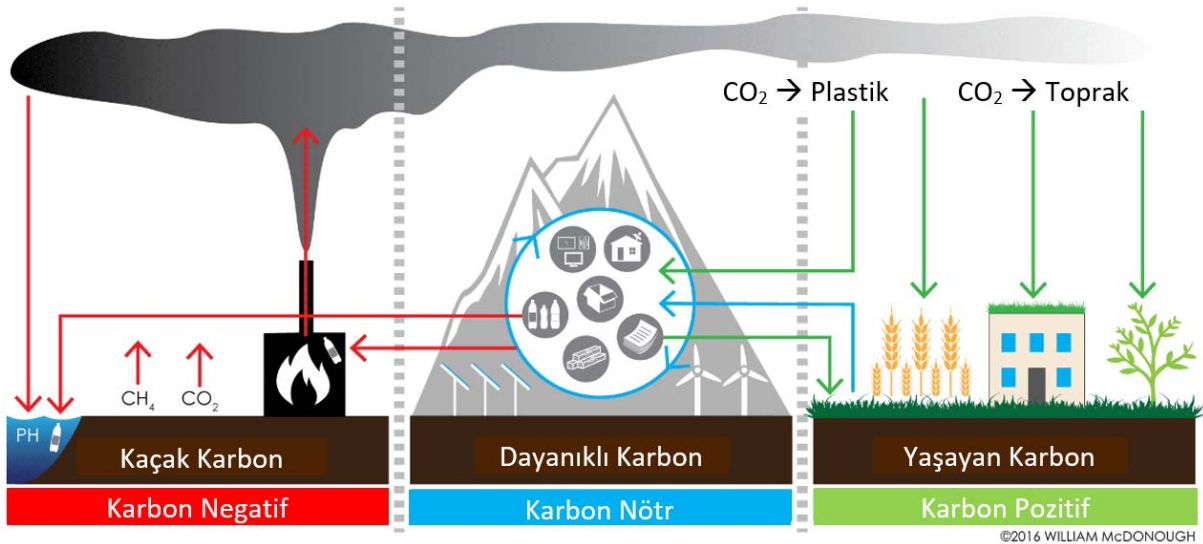
use of renewable energy sources has been increasing day by day, as well as the reduction of fossil fuels.

In this paper, issues that need to be addressed in parallel for possible ways and solutions for a carbon-free future are explained.

Keywords: Carbon Neutral Energy, Renewable Energy Electricity Production Carbon Capture And Storage, Carbon Efficiency, Carbon Economy

1. GİRİŞ

Karbon emisyonları ve küresel ısınma ile yapılan ve 1990' larda başlayan mücadelenin ilk evresi, karbon salımının sınırlandırılması ve çevre dostu uygulamalara dikkat çekmek olmuştur. Bu evreyi 2000' lerin ortalarında, hayat döngüsü ve karbon ayakizi hesaplamaları takip etti. İçinde bulunduğumuz üçüncü evrede artık görülüyor ki, iş modellerini sıfır karbon salımından çok daha ileriye taşımamız gerekiyor. Acilen çözüm bulunması gereken iki taraflı ve yaşamsal bir problem ile karşı karşıyayız. Hızla artan nüfusun belli bir hayat standardında yaşaması sağlanırken doğaya verdiğimiz zararında azaltılması gerekmektedir. Endüstri devriminden bu güne arttığı gözlenen küresel ısınmanın etkileri ve buna neden olan karbon salımının etkin bir şekilde azaltılması konusunda köklü değişikliklere gidilmesi gerekiyor [1]. Küresel ısınma ve iklim değişikliği küresel ölçekte ele alınması Birleşmiş Milletler bünyesinde yapılan çalışmalar başta olmak üzere pek çok uluslararası platformda bir problem olarak incelenmiştir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, sorunun doğru tanınması, çözüm yöntemleri ve iyileştirme taahhütleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılsa da, küresel kapsamlı bir çözüm stratejisi üretilmesinde başarısız olunmuştur. Son zamanlarda küresel ısınmanın verdiği zararları iyileştirirken aynı zamanda uzun vadeli farklı sorunlara yol açmadan ekonomik kalkınmayı sürdürebilmek adına umut verici çalışmalar ortaya çıkmaya başlamıştır. Söz konusu gelecek vadeden çalışmada, etkin olarak yeni kavramlarla problemin doğru tanımlanması ve çözümü için yapılan çalışmalar incelenmiştir [2]. Zorlu problemin çözümüne giden yola ışık tutacak, karşılaşılabilecek zorluklar ve olası çözüm yöntemleri tartışılarak güncel bir bakış açısı sunulmuştur.



Şekil 1. Karbonun yeni dili [3].

Kaçak karbon: Fosil yakıtların yakılmasıyla atmosfere salınan karbondioksiti, "atıktan enerji üreten" tesisleri, metan sızıntılarını, ormansızlaşmayı, büyük ölçüde endüstriyel tarımı ve kentsel gelişimi içerir. İstenmeyen bir noktaya gelmiştir ve insan sağlığı açısından zararlı olabilir.

Dayanıklı karbon: Kağıt ve kumaş gibi yeniden kullanılabilir elyaflardan, nesiller boyu dayanabilen ve daha sonra yeniden kullanılabilen bina ve altyapı öğelerine kadar uzanır. Kömür ve kireçtaşı gibi kararlı katı maddelerde kilitli veya kullanılan ve yeniden kullanılan geri dönüştürülebilir polimerlerdir.

Yaşayan karbon: Ekilen veya büyütülen organik, biyolojik çevrimle büyütülen taze gıdalar, sağlıklı ormanlar ve verimli topraklarda yetiştirilen bitkilerdir.

Problemin çözümünde atılacak ilk adım, kullanılan kavramların ve dolayısıyla temel anlayışın yeniden şekillendirilmesi olmalıdır. Küresel ısınma probleminin temelini oluşturan kavramlar ve karbon tanımların pozitif bir dille ifade edilmesi, kitlelerin algısında ve konuya dair psikolojik düzeyde farklılık yaratacaktır. Karbon ile ilgili türetilen tanımlar problemin ortaya konulmaya başlanmasından bu yana hep olumsuz kelime gruplarından oluşturulmuştur [3]. Bu bağlamda karbon mücadele edilmesi gereken bir düşman olarak hafızalarımızda yer etmiştir. Karbon elementi esasen düşmanımız değil bizzat hayatın yapıtaşıdır. Asıl sorun, gezegenin doğal karbon döngüsünün bizzat insan aktiviteleri sonucu bozulmasıdır. Karbonun yeni bir bakış açısıyla ele alınabilmesine olanak sağlayacak kavramsal yapı Şekil 1'de görülmektedir. Kavramların doğru bir bakış açısıyla ortaya konulmaması sonucu ortaya çıkan kafa karışıklığı, küresel ölçekte aynı dili konuşmamak ve olumsuz bir psikolojik yaklaşım bu konudaki çabaları sekteye uğratmaktadır.

Yenilikçi karbon yaklaşımlarında en önemli ifadelerden biri olan, karbon (iklim) pozitif tanımı, atmosferdeki karbon miktarını azaltan yapılar için kullanılmaktadır [2]. Yeni karbon ekonomisine geçişte, karbon (iklim) pozitif organizasyonlar, çevreye saldıklarından daha fazla karbonu (yok edileceklerdir) çevreden geri toplayacaklardır. Birbiri peşi sıra yaşanan dört endüstriyel devrim sürecinin doğal bir sonucu olarak karşımızda duran küresel çevre sorunları, sürdürülebilirlik ve çevre dengesinde bizleri bir çözüm bulmak zorunda bırakmıştır.

Dördüncü endüstri devriminin gelişim hızı, küresel ölçekte oluşu, karmaşıklığı ve değiştirme gücü açılarından daha önce yaşanmamış bir süreç olarak karşımızdadır [4]. Bu bağlamda, çağımız teknolojilerinin getirdiği yeniliklerin yanı sıra ortaya çıkan zorlukların da üstesinden gelinmesi aynı ölçüde karmaşık hale gelmiştir. İklim değişikliği acil ve kararlı adımlar atılarak çözülmesi gereken hayati bir tehdit olarak karşımızdadır. İnternet ve dördüncü endüstri devriminin sağladığı olanaklar sayesinde, kalkınma ve ekonomik büyüme sağlanırken, çevre üzerinde yarattığımız olumsuz etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir düzeye getirilmesi sağlanabilir [5, 6].

Kavramsal olarak karbon konusunda uluslararası düzeyde kabul görececek kavramlar ve pozitif algı yaratma konusunda, "Karbon Verimliliği" kavramı önemli bir değişim ögesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Küresel ölçekte yapılması zorunlu köklü değişiklikler konusunda, hızla dijitalleşen geleceğin boyutları, iş modelleri ve ürünleri üzerinden düşünülmek zorundadır [2]. Karbon verimliliği, temel olarak üç temel prensibe dayanmaktadır. Bunlardan ilki, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca, üretiminde kullanılan enerji kaynaklarından ürünün çalışma sürecine ve hatta atık-geri kazanım evrelerine kadar, tüm karbon etkileşiminin dikkate alınmasıdır. İkincil olarak, ürünün üretiminde salınan karbon miktarı, karbon salımından kaçınılan miktar ve bu süreçte atmosferden çekilen karbon miktarı olarak, toplam karbon bütçesi ele alınmalıdır. Üçüncü olarak, finansal değer ve karbon etkilerinin birlikte ele alınarak eş zamanlı olarak optimize edilmesine dayanır.

Ekonomik büyüme ve kentleşmenin motoru olan sanayileşme, küresel nüfus ve zenginliğin artmasıyla bağlantılı olarak farklı sektörlerin gelişimini hızlandırdı [7,8]. 2020 yılında 7,8 milyar olan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9,9 milyara çıkması ve buna göre yaşam standartlarındaki artış dikkate alındığında %80 daha fazla enerji ve %70 daha fazla gıdaya ihtiyaç duyması bekleniyor[9,10]. Son iki yüzyılda, dünya ekonomisi büyük ölçüde doğal kaynakların aşırı kullanımına ve biyosferdeki yaşamı destekleyen biyo-kimyasal döngülerin ve süreçlerin değiştirilmesine bağlı olmuştur [11]. Petrol kaynaklarının kullanımındaki mevcut artan talep ve ormansızlaşma, artan enerji, gıda ve diğer emtia talebini karşılama baskısına bir yanittir [12,13].

Temel olarak enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarında beklenen %70'lik artış nedeniyle, sera gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar %50 artması beklenmektedir [12,17].

Bu emisyonlar mevcut hızlarında artmaya devam ederse, karbon (C) döngüsünü dinamik dengesinin dışına itecek ve iklim sisteminde geri dönüşü olmayan değişikliklere yol açacaktır. Bu nedenle, çeşitli

sosyo-ekonomik ve teknolojik müdahaleler yoluyla karbon emisyonlarını azaltmak ve karbon tutumunu artırmak için uyumlu çabalar başlatılmalıdır [15, 16].

Sürekli artan küresel sera etkisine yanıt olarak, tüm ülkeler 12 Aralık 2015'te Paris'te sera gazı emisyonlarını ortaklaşa ele almak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için dönüm noktası niteliğindeki bir Birleşmiş Milletler iklim anlaşmasını imzaladı [17]. 2015 Paris anlaşması kapsamında, tüm ülkeler ısınmayı 2,0 °C' nin altında tutmayı ve 2050'ye kadar karbon nötrlüğüne ulaşarak küresel ısınmayı 1,5 °C' nin altında tutmak için çaba göstermeyi kabul etti. 2020'de küresel ortalama sıcaklık, sanayi devrimi öncesi sıcaklığa göre 1.2 °C daha sıcaktır. Bu ısınmanın etkileri küresel olarak hissedilmektedir [14, 15].

Mevcut iklim verilerine dayanarak, küresel iklim değişikliğini tersine çevirmek için atmosferik sera gazı konsantrasyonlarını azaltma çabalarımızı hızlandırmaya acil bir ihtiyaç vardır[18].

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, eğer dünya 2050 yılına kadar Karbon nötr hale gelecekse, yeni ham petrol, doğal gaz ve kömürün çıkarılması ve geliştirilmesi 2021'de durdurulmalıdır [20].

Net sıfır CO₂ emisyonu söylemi ve gerçekliği arasındaki uçurumu kapatmak için karbon içermeyen kaynaklardan (yani güneş ışığı, gelgit, rüzgar, su, dalga, yağmur ve jeotermal enerji]. ve biyokütleden (yani bitkilerden veya hayvanlardan elde edilen organik maddeler]. yenilenebilir enerjinin araştırılmasına ve benimsenmesine yatırım yapılması zorunludur.

Yenilenebilir kaynaklar, mevcut küresel enerji talebinin 3.000 katından fazlasını sağlayabilir [21].

Yenilenebilir enerjiye (elektrik, ısı ve biyoyakıt şeklinde) yönelik küresel talep son on yılda önemli ölçüde arttı ve yenilenebilir enerjinin küresel elektrik üretimindeki payı 2019'da %27'den 2020'de %29'a yükseldi [22].

Yenilenebilir enerji kullanımındaki bu ilerlemeye rağmen, geleneksel enerjiden yenilenebilir enerjiye geçiş yeterince hızlı değil ve dünya, 2050 yılına kadar karbon nötre ve sürdürülebilir kalkınmaya ulaşması zor görünüyor.

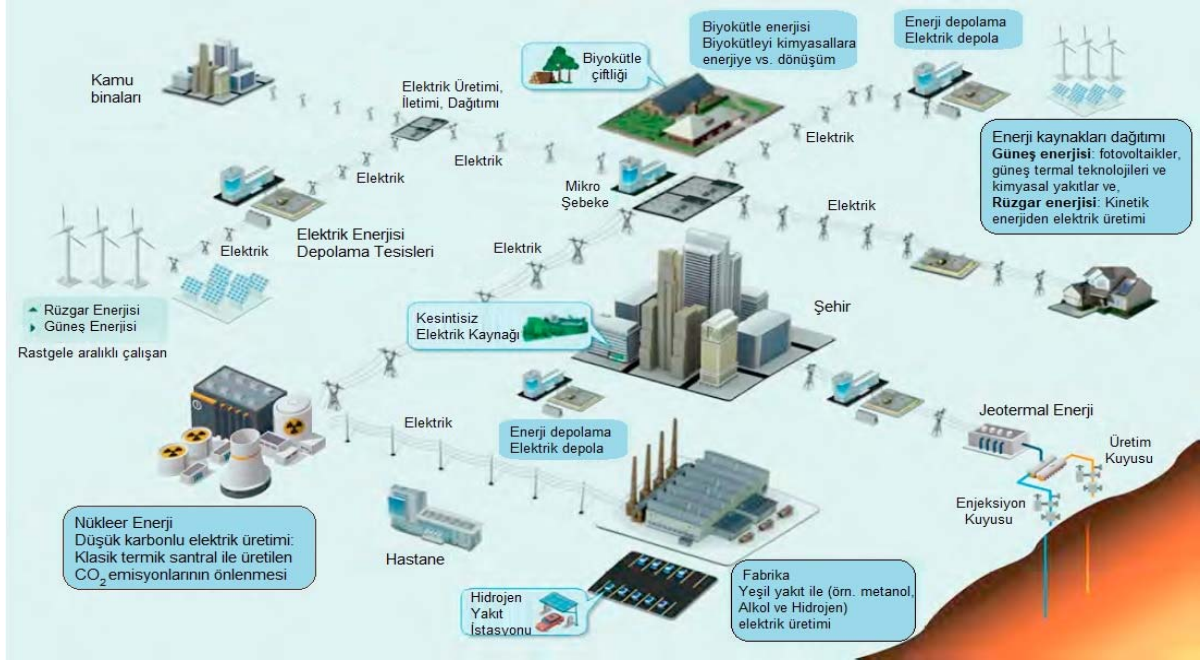
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

Yenilenemeyen kaynaklardan aşırı enerji tüketimi, enerji kıtlığını, sera gazı emisyonlarını, iklim değişikliğini ve çevresel bozulmayı artırarak insanlığı tehdit etmektedir.

Sonuç olarak, insanlığın ekolojik farkındalığı ve düşük karbonlu veya karbonsuz enerjiye geçiş, geçmişte olduğundan daha fazla endişe vericidir.

Temiz enerjiler arasında, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve okyanus enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, karbon nötr elde etmenin en önemli ve verimli yollarından bazıları olarak kabul edilmektedir. Düşük kaynak tüketimi ve düşük kirlilik riski avantajlarına sahip olan ve ulusal enerji güvenliğini sağlamak ve "Karbon nötr " hedefine ulaşmak için stratejik yaklaşım olarak tanımlanan nükleer ve H₂ enerjisi ya da H₂ den elde edilen metana ek olarak, biyoenerji de enerji arzı ve tüketiminin yapısını yeniden yapılanma için anahtardır.

Yenilenebilir enerji için temel teknolojiler (Şekil 2) ve bu teknolojilerin Karbon nötrü gerçekleştirme üzerindeki etkileri aşağıda tartışılmaktadır.



Şekil 2. Yenilenebilir enerji üretimi için temel teknolojiler

2.1. Güneş enerjisi:

Güneş enerjisi tükenmez bir kaynaktır. Temiz, yenilenebilir ve her yerde bulunabilen doğası nedeniyle güneş enerjisi, küresel yenilenebilir enerji arzında önemli bir rol oynayabilir [23].

Şu anda, fosil kaynaklar (örneğin, petrol, kömür ve doğal gaz) hala dünya çapında toplam enerji tüketimine hakimdir. Buna karşılık, Karbon emisyonu oluşturmayan güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgar enerjisi ve gelgit enerjisi, enerji tüketiminin yalnızca küçük bir bölümünü oluşturmaktadır.

Karbon nötrü elde etmek için, yenilenebilir enerji kullanımını artırmak esastır. Bu nedenle, geleneksel fosil yakıtlar yerine güneş ışığından elde edilen yenilenebilir enerji ile değiştirmek, CO₂ emisyonlarını azaltmak ve enerji sistemlerini karbon nötre doğru karbondan arındırmak için çok önemlidir.

Hızla gelişen fotovoltaik teknolojisi, güneş enerjisinden yararlanmak için güçlü bir yöntem olarak kabul edilmiştir [24].

Güneş enerjisi, düşük karbonlu ve karbonsuz bir toplumda enerji taleplerini karşılamak için ideal bir çözümü temsil eder.

Düşük işletme maliyetleri nedeniyle, güneş enerjisi tekniklerine dayalı bir dizi yararlı önlem, Karbon emisyonlarını azaltmak ve CO₂'yi temiz enerji depolamak için kullanmak için iyi adaylardır ve böylece Karbon nötrlüğünün gerçekleştirilmesinde yeri doldurulamaz bir rol oynar.

Önümüzdeki yıllarda gelişmiş enerji dönüştürme/depolama teknolojilerinin hızlandırılmış gelişimini ve Karbon-nötr enerji sistemlerine giden entegre yolları teşvik etmek için temiz kaynaklarla birlikte güneş enerjisinin büyük ölçekli dağıtımını gerektirecektir.

2.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar, Dünya yüzeyinin Güneş tarafından eşit olmayan şekilde ısınması nedeniyle havanın hareketinden kaynaklanır. Bu da, rüzgar enerjisinin dolaylı güneş enerjisi olarak kabul edilebileceği anlamına gelir [25].

Güneş enerjisi gibi, rüzgar enerjisi de "Karbon zirvesi ve Karbon nötrü" gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynayacaktır.

Dünya, çoğunlukla çayırardan, çöllerden, kıyı bölgelerinden ve adalardan dağıtılan bol miktarda rüzgar kaynağına sahiptir [26]. Uygulama sahasının konumunun rüzgar enerjisinin ekonomisi, teknik özellikleri ve uygulanması üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dünya rüzgar enerjisinin gelişimine büyük önem vermekte ve ciddi anlamda desteklemektedir.

Ancak rüzgar enerjisinden yararlanmayı engelleyen konulardan biri de rüzgar türbinlerinin ürettiği gürültüdür. Rüzgar türbinlerinin ürettiği gürültüyü azaltmak veya en aza indirmek için rüzgar kaynaklarından daha fazla faydalanmak için stratejilere acilen ihtiyaç vardır. Rüzgar enerjisinden faydanan alanlar karalardan denizlere doğru kaymaktadır.

Rüzgar enerjisi üretimiyle ilgili bir başka sorun da, rüzgar türbinlerinin uygun olmayan bir şekilde yerleştirilmeleri durumunda kuşların çarpmalarından kaynaklanan aksamalara veya habitat tahribatı gibi olumsuz bir etkilere sahip olabilmektedir.

Dünya üzerindeki rüzgar kaynağı bol olmasına rağmen, rüzgar kaynaklarının arazi boyunca eşit olmayan dağılımı, rüzgar türbinleri tarafından üretilen elektrik enerjisinin taşınması zorlaştırmaktadır. Rüzgarların hız ve yön açısından sürekli değişimi, elektrik üretimi için değişken ve kararsız bir faz, genlik ve frekans ile sonuçlanır ve bu da şebekeye entegre olmayı zorlaştırarak rüzgar enerjisinin boşa harcanmasına neden olabilecektir.

Bir rüzgar türbini kurmanın maliyeti şu anda oldukça yüksektir ve bu da bu teknolojinin yaygın olarak kullanımını engellemektedir.

2.3. Okyanus enerjisi

Okyanus enerjisi, okyanustaki su kütlelerinde bulunan ve hem yenilenebilir hem de temiz olan enerjiyi ifade eder. Okyanus enerji rezervi dünya çapında muazzamdır ve tüm dünyaya güç sağlamaya yeterlidir.

Okyanus enerjisinin tipik olarak beş farklı enerji formu vardır: gelgit enerjisi, dalga enerjisi, okyanus akıntısı enerjisi, termal enerji ve ozmotik enerji.

Gelgit, dalga ve akıntı enerjileri mekanik enerjidir. Okyanus enerjisinden yararlanma araştırması birkaç on yıl önce başladı. Coğrafi dağılım, farklı enerji formları için geniş ölçüde değişir ve uygulama teknolojileri de oldukça farklıdır. Gelgit enerjisi, su seviyesiyle ilgili potansiyel enerji ve gelgit akıntısının kinetik enerjisi de dahil olmak üzere gelgitte bulunan enerjidir.

Gelgit, denizlerin Ay veya Güneş ile yerçekimi etkileşiminden kaynaklanır. Gelgit enerjisinin potansiyeli yılda yaklaşık 1.200 TWh olduğu tahmin edilmektedir.

Dalga enerjisi, geniş bir dağılıma sahip olan su dalgalarındaki kinetik ve potansiyel enerjidir. Esas olarak, kinetik enerjisinin bir kısmını okyanus yüzeyindeki suyu ileten rüzgardan kaynaklanmaktadır.

Küresel olarak dalga enerjisinin potansiyeli yılda 29.500 TWh'dir [27].

Okyanus akıntısı enerjisi, küresel olarak deniz suyunun sirkülasyonlarında saklıdır. Enerjinin kaynağı, su akışındaki kinetik enerjidir. Bu enerji ile türbinler kullanılarak enerji üretilmektedir. Türbinler derin denizde ve kıyından uzakta konumlandırılması gerekmesi nedeni ile bu tür enerjiyi kullanmak için çok cazip değildir.

Termal enerji, deniz suyunun üst katmanını ısıtan ve sıcaklığını derin denizdeki sudan farklı kılan Güneş ışınlarından kaynaklanır. Bu tür sıcaklık farkları, esas olarak termal çevrimlere dayalı elektrik üretimi için kullanılabilir. Bu enerjinin potansiyelinin yılda 44.000 TWh olduğu tahmin edilmektedir [28]. Bu enerji formunun kullanımı üniversiteler ve araştırma enstitüleri tarafından halen araştırma aşamasındadır.

Tuzluluk gradyan enerjisi olarak da adlandırılan ozmotik enerji, farklı tuz konsantrasyonlarına sahip su kütleleri arasında var olan enerjidir. Deniz suyunun tuzluluğu dünya çapında homojen değildir; örneğin, tatlı suyun tuzlu suyla bulunduğu nehir ağızlarında bir tuzluluk gradyanı oluşur. Ozmotik enerji hala kavramsal bir enerji kaynağıdır ve ticarileştirmeye hazır değildir. Okyanus enerji rezervi dünya çapındadır ve tüm dünyaya güç sağlamaya yeterlidir.

Gelgit ve dalga enerjisini toplayan teknolojiler ticarileşmenin eşiğindedir. Okyanus akıntısı enerjisi, termal enerji ve ozmotik enerjiyi toplamaya yönelik teknolojiler henüz erken gelişim aşamasındadır.

Okyanus enerjisinden yararlanmanın başlıca zorlukları, şiddetli okyanus ortamlarında ekonomik maliyet-rekabetçilik ve teknolojik güvenilirlikte yatmaktadır. Okyanus enerjisi, bu zorlukların üstesinden gelerek dünyaya bol miktarda temiz enerji sağlayacaktır. Afrika, Avustralya gibi dünyada büyük enerji tüketmeyen buna karşı yüksek okyanus enerjisi potansiyeli olan yerler gibi potansiyel ve tüketimin uzak yerlerde olması okyanus enerjisi için sorun çıkartabilir.

2.4. Biyoenerji

Biyokütle, bitkilerden elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin en önemli kaynakları, tarım ve ormancılık kalıntıları, kentsel katı atıklardaki biyogenik maddeler, hayvan atıkları, insan kanalizasyonu ve endüstriyel atıklardır. Biyokütle, yıllık küresel enerji tüketiminin %13-%14'ünü sağlar [29].

Biyokütleyi enerjiye dönüştürmek için aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli işlemler kullanılır. Biyokütlenin termokimyasal dönüşümü gazlaştırma, piroliz ve yakmayı içerir.

Yakma, biyokütleden elde edilen toplam yenilenebilir enerjinin yaklaşık %90'ını üretir [30].

Piroliz, oksijen yokluğunda yaklaşık 400 °C –1.000 °C sıcaklıklarda termal ayrışma yoluyla biyokütleyi katı, sıvı veya gazlı ürünlere dönüştürerek asitler, esterler ve alkoller gibi bileşenler üretebilir. Gazlaştırma, karbon içeren malzemeleri, hava, oksijen veya buharı 500 °C'nin üzerinde, tercihen 700 °C'nin üzerinde bir sıcaklıkta reaksiyona sokarak H₂,CO ve CH₄ gibi gazlar vererek yanıcı veya sentetik gaza dönüştürür [31, 32].

Kimyasal dönüşüm, biyo-dizel üretmek için bitkisel ve hayvansal yağları esterleştirme ve/veya trans esterleştirme yoluyla yağ asidi esterlerine dönüştürür.

Biyokimyasal dönüşüm ile biyokütleyi sıvı yakıtlara (örneğin, alkoller ve alkanlar), doğal gaza (örneğin, hidrojen ve metan), farklı biyo ürünlere (örneğin, karotenoidler, omega-3 ve omega-6 yağ asitleri) ve ayrıca katalizör olarak mikropları ve enzimleri kullanan diğer kimyasal yapı taşlarına dönüştürülür. (örn. asetik asit ve laktik asit) [33].

Biyokütlenin çeşitli dönüştürme süreçleri yoluyla biyoenerji üretimi için sahaya taşınmasının yüksek maliyeti ve biyoenerji hammaddelerinin üretiminin sürdürülebilirliğidir.

2.5. Hidrojen enerjisi

Hidrojen, son iki yüz yıldır endüstriyel kullanılmaktadır. Hidrojen talebi (şu anda yılda >80 Mt) 1975'ten bu yana üç kattan fazla arttı ve artmaya devam etmektedir. Şimdiye kadar, H₂ neredeyse tamamen fosil yakıtlardan üretiliyor, küresel doğal gazın yaklaşık %6 'sını ve küresel kömürün %2 'sini tüketiyor ve yılda yaklaşık 830 Mt CO₂ emisyonuyla sonuçlanmaktadır [34].

Son zamanlarda hidrojen enerjisi büyük ilgi görmektedir çünkü yeşil enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Yenilenebilir bir enerji sisteminde hidrojen yakıt kullanımı mevcut elektrik şebeke sistemine entegre etmek ve son kullanıcıya karbonsuz enerji sağlamak mümkündür [35].

Hidrojen üretimi yapılarak yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanmak, hem teknolojik hem de ekonomik açıdan yakın gelecekte uygulanabilir olacaktır. Elektroliz yoluyla H₂ üretiminden sonra

güvenli ve düşük maliyetli hidrojen depolama ve taşıma teknolojisinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hidrojen gaz, ve sıvı halde depolanabilir [36, 37].

H₂ enerjisinin endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamak için enerji kullanımı/dönüşüm verimliliğini artırmamız ve kullanılan H₂ maliyetleri düşürmemiz gerekiyor.

2.6. Nükleer enerji

Nükleer enerji, dünya çapındaki düşük karbonlu elektrik üretiminin %40 'ını oluşturan temiz enerjiye önemli bir katkı sağlar ve dünya genelinde yılda yaklaşık 1,7 Gt CO₂ emisyonunu önler. Bu nedenle nükleer enerji, ulusal enerji güvenliğini sağlamak ve karbon nötrü sağlamak için stratejik bir yaklaşımdır.

Nükleer enerji, ağırlıklı olarak nükleer fisyon yoluyla üretilirken, nükleer füzyon teknolojisi halen Ar-Ge aşamasındadır. Bununla birlikte, nükleer fisyon enerjisinin gelecekteki gelişimi birkaç nedenden dolayı son derece belirsizdir: artan maliyetler, kullanılmış radyoaktif yakıtın bertaraf edilmesiyle ilgili zorluklar, tesis güvenliği ve nükleer silahların yayılması riskleri vardır. Üzerinde çalışılan Toryum yakıtlı reaktörlerin daha güvenilir olacağı iddia edilmektedir.

2.7. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, kararlılık, süreklilik ve yüksek kapasite avantajlarıyla birlikte, Dünya'nın iç kısımlarından sağlanan karbon bazlı olmayan ısı enerjisidir [38].

Gelecekteki enerji yapısında kararlı ve sürekli bir temel yükün sağlanmasında önemli rol oynayacaktır. Jeotermal enerjinin birincil kullanım şekli, jeotermal enerji üretimidir. Elektrik enerjisi üretmek üzere bir türbini çalıştırmak için doğal jeotermal buhar (veya jeotermal sıvı ile ısıtılan düşük kaynama noktalı çalışan sıvı buharı) kullanır[39].

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı, genellikle orta ila düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklara uygulanabilen termal enerji şeklinde gerçekleşir. Günümüzde, doğrudan jeotermal kullanım teknolojileri temel olarak yer kaynaklı ısı pompaları, jeotermal ısıtma, jeotermal soğutma, jeotermal seralar ve jeotermal kurutma proseslerini içermektedir [40].

Türkiye, 2020 itibarıyla 1.549 MW jeotermal enerji üretim kapasitesi ile jeotermal enerjide en hızlı büyüyen ülkelerden biridir [41].

2020 yılında, küresel jeotermal kullanımı yıllık yaklaşık 300 milyon ton CO₂ emisyon azaltılmasına katkı sağlamıştır.

2.8. Enerji depolama

Çoğu yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik, rastgele ve kesintili olması yenilenebilir enerjinin yaygın olarak uygulanmasını engellemektedir [41]. Bu nedenle, gelişen enerji depolama teknolojisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin güvenilirliğini ve istikrarını sağlaması açısından çok önemlidir [42].

Enerji depolama teknolojileri mekanik, elektromanyetik, elektrokimyasal ve faz değişimli enerji depolama olarak ayrılabilir.

Akışkanın pompalanması ve basınçlı hava enerji depolaması {gibi mekanik enerji depolama teknolojileri, şu anda elektrik enerjisi depolama için tercih edilen ana akım teknolojilerdir [43,44]. Akışkanın pompalanması, büyük ölçekli enerji depolama için en uygun teknoloji olmasına rağmen, kullanımı saha mevcudiyeti ve büyük ilk yatırım maliyetinden dolayı sınırlıdır [45,46].

Basınçlı hava enerji depolama, en düşük maliyetli depolama teknolojisi olarak kabul edilir, ancak genel proje maliyetlerini azaltmak için doğal olarak oluşmuş mağaraların varlığı önemlidir.

Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri, yüksek verimlilikleri ve esnek tasarımları nedeniyle en umut verici elektrik enerjisi depolama uygulamalarından biridir.

Farklı enerji depolama teknolojileri farklı güvenilirlik, maliyet, verimlilik, ölçek ve güvenliğe sahiptir. Bu teknolojiler birbirini tamamlar ve uygulamaları, enerji depolama süresi, saha gereksinimleri ve çevresel kaygılar gibi birçok hususa bağlıdır.

Yenilenebilir kaynaklarla birleştiğinde, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına ve karbon nötrlüğünün sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Daha önce bahsedilen H₂ ve H₂ den elde edilen metan depolama sistemleri de depolama sorununun çözümüne alternatif getirebilir.

3. KÜRESEL EKOSİSTEMLERDE GELİŞTİRİLMİŞ KARBON YUTAKLARI İÇİN TEKNOLOJİLER



Şekil 3. Küresel sera gazı akışına genel bakış (Gt CO₂ eş yıl⁻¹) ve küresel ekosistemlerde sera gazı azaltımını ve emilimini teşvik etmeye yönelik stratejiler

Küresel ekosistemler, CO₂, metan (CH₄) ve azot oksitini (N₂O) salınmasına ve tutulmasına katkıda bulunur (Şekil 3) ve atmosferik sera gazı bileşimini ve iklimi etkilemektedir. Son 50 yılda, sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte birinin azaltılması karasal ekosistemler tarafından sağlanmıştır [47].

Artan varlıklı bir nüfus için yüksek kaliteli ve büyük miktarda gıda üretme sürecine girmiştir. Küresel gıda sistemleri önemli sera gazı kaynaklarından biridir ve %71'i tarımsal ürünler ile hayvancılık üretim sistemleri ve arazi kullanım değişikliği faaliyetlerinden gelen küresel sera gazı emisyonlarının üçte birinden fazlasını oluşturmaktadır [48].

Orman ekosistemleri en önemli küresel karbon yutaklarından biridir ve orman ekosistemlerinde üretilen karasal biyokütlenin %85-90'ı ile antropojenik (insanların etkisiyle oluşan veya yapılan) sera gazı emisyonlarının %45'ini emer [49].

Okyanus, Dünya yüzeyinin %70'inden fazlasını kaplar ve atmosferden CO₂ tutulmasında önemli bir rol oynar. Şu anda, insan faaliyetlerinden yayılan yıllık CO₂'nin %22,7'si okyanus ekosisteminde tutulmaktadır [50].

Küresel iklim değişikliğinden geri dönüşü olmayan bozulmayı önlemek için biyosfer, biyokütle üretimini arttırmalı daha düşük sera gazı emisyonları ile gıda arzını azaltmalı, CO₂'yi atmosferden uzaklaştırmalı ve biyosferde organik karbon olarak depolamalı ve karbon nötre katkıda bulunmalıdır. Bu anlamda, bitkisel-hayvancılık üretim sistemlerini optimize etmeye, toprakta karbon tutma ile orman ekosistemi sağlığını geliştirmeye, toprak ve deniz ekosistemlerini doğal karbon yutakları olarak kullanmaya önem verilmelidir.

Bunlar, karasal ve deniz ekosistemlerinde (Şekil 3) karbon azaltma ve sabit tutmak için çığır açan teknolojiler sağlayabilir ve aşağıdaki alt bölümlerde daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

3.1. Tarımsal gıda üretim sistemlerinde karbon salınımının azaltılması

Tarımsal gıda üretim sistemlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları, son 20 yılda yaklaşık üçte bir oranında artmıştır.

Emisyonlar temel olarak bitkisel ve hayvansal üretimdeki artıştan kaynaklanmaktadır [51]. Fermantasyon, gübre ve mera yönetimi ve hayvancılık üretiminde yakıt kullanımından 4,2 Gt CO₂ yıl⁻¹, sentetik azotlu gübre uygulanarak insan yiyeceği ile hayvan yemi üretiminden 3,6 Gt CO₂ yıl⁻¹ ve tarımsal ürün-hayvancılık üretim sistemleri için arazi kullanımındaki değişikliklerden 3,3 Gt CO₂ yıl⁻¹ emisyon oluşmaktadır [52].

Gıda üretim sistemlerinde Karbon tutma ve depolama teknolojilerinin geniş ölçekli uygulanmasını çevreleyen belirsizlikler göz önüne alındığında, tarımsal üretim sistemlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü azaltmak için alternatif teknolojilere veya yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Örneğin, beslenme alışkanlıklarımızı daha az hayvansal, daha çok bitkisel ağırlıklı beslenmeye çevirmeliyiz [51].

3.2. Bitkisel üretim yönetimi.

Tarım arazilerinde gübre ve su kullanımının optimizasyonu, mahsul üretim sistemlerinde sera gazı emisyonlarını büyük ölçüde azaltabilir [53].

Azot kullanım verimliliğini artırmak için yavaş ve kontrollü azot gübre kullanımı ve üre ile azot inhibitörleri içeren azot gübreleri gibi yeni sentetik azot gübre türlerinin geliştirilmesi gerekir [54].

Çiftçilerin ekinleri, toprağı, gübrelemeyi ve sulamayı daha etkili ve hassas bir şekilde yönetmesine olanak tanıyan çok sensörlü drone teknolojisinin kullanımı, daha iyi ekin sistemleri, gübreleme ve sulama uygulamaları ve gelişmiş dijital tarım teknolojilerinin kullanılması, azotlu gübre girdisini azaltılarak ve N₂O emisyonları azaltılabilir [55, 56].

Örneğin, aralıklı sulama CH₄ üretimini önemli ölçüde azaltabilir ve CH₄ oksidasyonunu artırabilir ve bu nedenle piriç tarlalarından kaynaklanan CH₄ emisyonlarını azaltmak için bir yöntem olabilir [57, 58].

Diğer seçenekler arasında, mahsullerin azotu sabitlemesine yardımcı olmak için mikropların kullanılması, böylece azotlu gübrelerden tasarruf edilmesi ve azotlu gübre endüstrisinin ayak izinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır [49].

3.3. Hayvansal üretim yönetimi.

Fermentasyonun kontrol edilmesi ile geniş getiren hayvancılık üretim sistemlerinde CH₄ (Metan) emisyonlarını azaltmak mümkündür. Metan, fermentasyon sırasında hidrojenin doğal bir yan ürünüdür. Gübre yönetimi uygulamaları, otlak yönetimini optimize ederek, çiftliklerde enerji üreterek ve düşük emisyon faktörüne sahip organik gübreler üretmek suretiyle dolaylı sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir [59].

Karbon ve azot kayıplarını azaltmak için bir kap içerisinde kompostlaşma ve uzun mesafeli nakliye için sıvı gübreden azotu yoğunlaştırmak ve geri kazanmak için ters ozmoz gibi tüm gübre yönetim zincirini kapsayan teknolojilerin geliştirilmesi, gübreden karbon ve azotun geri dönüştürülmesi potansiyelini en üst düzeye çıkarabilir.

Böcek veya mantar proteinleri üretmek için gübre kullanmak, hayvan yemlerinde soya ve balık proteinlerinin yerini alabilecek ve yem üretimiyle ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltabilecek başka bir katma değerli teknolojidir [60].

Hayvan yetiştirme teknikleri, daha az sera gazı emisyon yoğunluğuna sahip yüksek verimli hayvanları genetik olarak seçmek ve Böylece aynı miktarda gıdayı üretmek için gereken hayvan sayısını azaltmaktır [61].

3.4. Tarımsal gıda üretimi için devrim niteliğinde teknolojiler.

Biyo-teknolojinin, otomatik kontrol teknolojisinin ve yapay zekanın gelişmesi, fabrika ortamında sebze, meyve ve et üretmeyi mümkün kıldı.

Bitki bazlı et ve hücre bazlı et, hayvansal olmayan kaynaklardan yapay olarak üretilebilir. Yeni bitki bazlı etler, bitkiler veya mantarlardan ekstrakte edilen, daha sonra formüle edilen ve et yerine geçecek şekilde işlenen proteinleri içerir [36].

Hücre bazlı et, kök hücre ve büyük ölçekli hücre kültürü teknolojilerinin geliştirilmesiyle üretilir ve bu nedenle gerçekte ete benzer tat ve dokuya sahiptir [62].

Bununla birlikte, hücre bazlı etin ticarileştirilmesinin önündeki engeller; ölçeğin nasıl büyütüleceği, yasal onay gerekliliği ve yüksek üretim maliyeti gibi etkenlerdir.

Biyoteknolojideki mevcut gelişmeler, mantar, alg, maya ve bakteri hücresi biyokütlesi şeklinde protein açısından zengin yem veya gıda katkı maddelerinin üretimi için güçlü bir platform sağlar [63].

Bununla birlikte, kamuoyu bilincini artırmak ve mikrobiyal proteinlerin yem veya gıda katkı maddeleri olarak düzenleyici onayını almak, düşük karbon emisyonlu sürdürülebilir gıda tedarikini iyileştirmek için yakın zamanda harekete geçmeyi gerektiren büyük zorluklar teşkil etmektedir.

Bitki fabrikası, mevsim değişikliklerinden ve hava koşullarından etkilenmeden yıl boyunca sürekli gıda üretimine izin veren kapalı bir dikey tarım sistemidir.

Işık seviyesi, sıcaklık, nem ve hava bileşimi gibi tüm çevresel parametreler kapalı bir sistemde akıllı bir şekilde kontrol edilir.

Birkaç pilot tesis, tarım arazisi gerektiren büyük ölçekli üretimin fizibilitesini göstermektedir [64]. Sebze, meyve ve şifalı bitkilerin ticari üretimi için fabrikalar inşa edilmiştir.

Bu tür sistemler, geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında arazi kullanımı değişikliği yapmadan son derece yüksek üretkenlik ve düşük sera gazı emisyonları elde edebilir [65, 66].



Yüksek ilk yatırım, işletmeden elde edilen yüksek geri dönüş oranı sayesinde hızla geri kazanılabilir ve tesis fabrikasını çalıştırmak için yenilenebilir enerji kullanılıyorsa, işletmeden kaynaklanan çevresel etki en aza indirilebilir.

3.5. Karasal ekosistemlerde karbon yutağı

Karasal ekosistemler, Dünya üzerindeki hayati derecede önemli karbon yutaklarıdır.

Küresel orman net karbon yutağının 10,7 Gt CO₂-eşdeğeri yıl⁻¹ olduğu tahmin edilmektedir ve esas olarak ılıman bölgelerde dağıtılmaktadır [67].

Otlaklar, dünya üzerindeki buzsuz arazilerin yaklaşık %26'sını kaplar ve küresel karasal karbonun yaklaşık %34'ünü depolar [68].

Bu otlakların toprakları yaklaşık 343 Gt karbon depolar, bu da orman topraklarında depolanan miktardan yaklaşık %50 daha fazladır ve yılda yaklaşık 1,83 Gt CO₂-eşdeğeri yıl⁻¹ için bir yutak görevi görür. Büyük karbon stok boyutuna rağmen, yıllık karbon girdi oranı ve devir süreleri önemli ölçüde belirsizliğe tabidir [69].

Tarımsal gıda üretimi sera gazı emisyonları ile ilgili olsa da, tarım toprakları önemli bir karbon havuzu olabilir ve karbon tutulmasına yaklaşık 3,30 Gt CO₂-eşdeğeri yıl⁻¹ katkıda bulunabilir [70].

Karasal ekosistemler, bitki örtüsünü eski haline getirerek ve organik toprak değişikliklerini dahil ederek karbon tutulmasını kolayca artırabilir [71, 72].

Bu karasal ekosistemlere ek olarak, iç sular da CO₂ kaçırma olarak bilinen atmosfere CO₂ yayar. Küresel iç sulardaki CO₂ kaçak oranının 7,70 Gt CO₂-eşd. yıl⁻¹ aştığı tahmin ediliyor [73].

3.6. Karasal karbon yutağına neden olan faktörler.

Sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu, bitki fotosentezini ve dolayısıyla karasal ekosistemlerin karbon yutak boyutunu etkileyen üç temel iklim faktörüdür [74].

İklim değişikliğinin ve insan müdahalesinin etkisiyle doğal ekosistemlerden büyük miktarda toprak karbonu kayboldu [75].

Atmosferik CO₂ konsantrasyonu ve büyüme mevsimi gibi diğer faktörler de CO₂'nin karasal ekosistemler tarafından emilmesini etkiler [76].

Karasal bitkilerin büyümesi, topraktaki Azot ve Fosfor mevcudiyeti ile büyük ölçüde sınırlıdır. Bu nedenle, bu besin maddelerinin toprağa eklenmesi, bitki üretimini ve ekosistem karbon tutumunu artırabilir [77].

Ancak ekosistem karbon depolaması, üretim ve ayrışma arasındaki dengeye bağlıdır. Ayrışmanın uyarılması, gübrelemenin neden olduğu üretimden daha fazlaysa, sonuçta ekosistemden net bir karbon kaybı olacaktır [78].

Çayırlar en büyük karasal ekosistemlerden biridir ve otlatma, küresel olarak otlakların birincil arazi kullanımındadır [79].

Dünya çapındaki meraların büyük bir yüzdesi, arazinin aşırı kullanımına maruz kalmaktadır. Bu tür otlaklar azalan canlı hayvan sayısının artmasını sağlarken bu otlaklar tarafından desteklenen topluluklarda ekonomik ve sosyal sorunlar yaratılır[80].

3.7. Karbon yutaklarını geliştirmeye yönelik teknolojiler.

Karadaki doğaya dayalı faaliyetler, yeniden ağaçlandırma ve ağaçlandırma, sürdürülebilir orman yönetimi, topraktan karbon tutma ve biyokömüre dönüşüm gibi süreçlerle biyokütle karbon tutulmasını sağlar [19, 81].

Yapılan bir araştırma, orman örtüsündeki artış nedeniyle küresel CO₂ emisyonunda önemli bir azalma olduğunu, 1991 ile 2000 yılları arasında ortalama 4.3 'ten, 2016 ile 2020 yılları arasında 2.9 Gt CO₂-eşdeğeri yıl⁻¹ olduğunu ifade etmektedir [82].

Bu nedenle, ormanlık alanların korunması, karasal ekosistemlerin karbon yutaklarını geliştirmenin temelidir. Orman ekosistemlerinde karbon tutulması için, uygun ağaç türlerinin seçimi, rotasyon uzunluğu ve gübreleme rejimleri gibi orman yönetim stratejilerini optimize etmek, ormanların karbon tutma miktarını artırmanın etkili yollarıdır [83].

Ormanlarda daha hızlı büyümesi ve daha fazla karbon tutulmasına yol açacaktır [84].

Orman ve otlaklarda atmosferik azotun birikimine bağlı toprak asitlenmesi ve ekili alanlarda aşırı azot gübre uygulamasından da topraktaki inorganik karbon kaybını azaltmak için kaçınılmalıdır [85]. Büyük ölçekli CO₂ giderimi için ezilmiş kalsiyum ve magnezyum açısından zengin silikat kayaların toprağa uygulanması önerilir [86].

Bu teknoloji, toprak alkalinitesini artıran geliştirilmiş kaya ayrışması adı verilen ve böylece atmosferik CO₂, sonunda depolanan karbonun kara yüzeyi akışı yoluyla uzun bir ömre sahip olduğu okyanusa taşınmak üzere çözülmüş inorganik karbona dönüştürülebilir.

Turbalıklar, dünyadaki sulak alanların %60'ını oluşturur ve karbon döngüsünde çok önemli bir rol oynar. Turbalıklarda depolanan hayati karbonu korumak için su seviyelerinin yükseltilmesi ve turbalıkların kurutulmasından kaçınılmalıdır [87].

3.8. Deniz ekosistemlerinde karbon yutağı

Okyanusta depolanan toplam karbon miktarı, atmosferdekinden yaklaşık 44 kat daha fazladır ve depolanan karbonun ortalama kalış süresi birkaç yüz yıldır [49, 88].

Bu deniz ekosistemlerinde sabitlenen ve depolanan atmosferik karbon, mavi karbon olarak adlandırılır [89].

Okyanus karbonu ve kıyı mavi karbonunu yutar. Birkaç fiziksel ve biyolojik süreç, okyanus karbon yutak boyutunu belirler.

"Çözünürlük karbon pompası", hava üst okyanusla karışıp burada çözünürken atmosferik CO₂'yi uzaklaştırır.

"Biyolojik karbon pompası", atmosferdeki CO₂'nin okyanus mikroorganizmaları tarafından fotosentetik absorpsiyonudur [88]. ve derin okyanusa batan biyojenik parçacıklar veya çözülmüş organik maddeler taşınarak okyanus derinliklerinde karbonun uzun vadeli olarak tutulması sağlanır [90].

Kıyı ekosistemleri, atmosferik CO₂'yi fotosentetik olarak tutmada oldukça verimlidir [91]. ve değişen bir karbon fraksiyonu, gelgitle sular altında kalan alt toksik ve anoksik çökeltilere gömülür ve böylece atmosfere geri dönmesi büyük ölçüde engellenir [92].

Küresel olarak gelgit bataklıkları ve kıyılardaki ağaçlar, okyanus tabanında biriken organik karbonun %30'u olan yılda 196,72 Tg CO₂ tutar. Bu kıyı ekosistemlerinde mavi karbon olarak depolanan karbon, deniz seviyesindeki yükselmenin yol açtığı sürekli toprak ve tortu organik karbon birikimi ile birlikte bin yıl boyunca korunabilir, deniz ekosistemlerinde karbon tutma etkinliği karasal ekosistemlerden çok daha yüksektir [93].

Deniz çayı ekosistemlerinin yılda 176–411 Tg CO₂-eşdeğeri yıl⁻¹ biriktirdiği tahmin edilmektedir [91].

3.9. Mavi karbon yönetimi için uygulama.

Bu deniz ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi, korunması ve restorasyonu, insanların bağımlı olduğu karbon tutma ve diğer ekosistem hizmetlerinin sağlanmasını desteklemek için hayati öneme sahiptir [94].

Mavi karbonu artırmanın olası bir yolu, karada kimyasal gübre uygulamasını azaltarak deniz ekosistemlerinde mikrobiyal karbon tutulmasını teşvik etmektir [95].

Bu, karbon depolama ve sürdürülebilir kalkınmayı başarmak için kara ve deniz entegre stratejilerinin benimsenmesi ihtiyacını akla getiriyor.

Artırılmı ş kanalizasyon akışını nehirlerle durdurmanın yanı sıra, tarımda kimyasal gübrelemenin azaltılması, deniz ekosistemlerine antropojenik besin akışını en aza indirebilir, böylece çözünmüş organik karbonun bozunma ve solunum için mobilizasyonunu azaltabilir [96].

Bu süreç, nehirlerde ve okyanuslarda ötrofikasyonu ve gelgitleri azaltabilir ve mikrobiyal karbon pompası yoluyla derin okyanus karbon tutulmasını artırabilir.

Kıyı ekosistemlerinin büyük miktarlarda karbon depolama ve diğer ekolojik işlevleri sağlamadaki önemi nedeniyle, kıyı ve açık su ekosistemlerini korumaya ve eski haline getirmeye yönelik politikaların güçlendirilmesi gerekmektedir [96, 97].

Bu ekosistemlerin başka arazi kullanımlarına dönüşmesini önlemek ve bozulmuş kıyı sulak alanlarını eski haline getirmek karbon tutulmasını artırabilir [98, 99].

Kıyı sulak alanları ve açık sular da dahil olmak üzere deniz ekosistemleri, Dünya üzerindeki en büyük karbon yutağı olarak kabul edilir. Mavi karbon üreten kıyı ekosistemleri, karbonu çökeltilere gömmek için en etkili doğal ekosistemlerden bazılarıdır. Bu deniz ekosistemlerinin karbon tutma veya negatif karbon emisyon kapasitesinin iyileştirilmesi, karbon nötre ulaşmak için temel bir fırsattır. Deniz ekosistemlerinin korunması ve restorasyonu, karbon tutulmasını artırmanın ilk adımı ve en hızlı yoludur.

3.10. Küresel atığın karbon ayak iziyle mücadele

Karbon nötr bir araç olarak sıfır atık biyokömürdür.

Gıda, kentsel ve endüstriyel sistemlerin geniş çapta genişlemesiyle, her yıl küresel olarak milyarlarca ton katı atık üretiliyor. 2050 yılına kadar dünyada her yıl üretilen atık miktarının 2016 yılındaki 2,01 milyar tondan 3,4 milyar tona çıkacağı tahmin ediliyor [100].

Dünya nüfusunun sadece %16'sına sahip olmasına rağmen, yüksek gelirli ülkeler dünyadaki atıkların %34'ünü üretmektedir. Atıkları arıtmanın en yaygın yolu, sera gazı, kanserojen bileşikler ve diğer toksik maddelerin emisyonunu artıran ve dolayısıyla çevre ve insan sağlığı için uzun vadeli tehditler oluşturan açık atık yakmadır [101].

Atık depolama alanları ve açık atık yakma ile ilgili bu sorunları ele almak, güvenli atık yönetim sistemleri oluşturup işletmekten çok daha pahalıdır. Bu nedenle, sürekli artan katı atık hacmiyle başa çıkmak için alternatif yöntemler bulmak ve geliştirmek önemlidir.

Bu nedenle, sürekli artan katı atık hacmiyle başa çıkmak için alternatif yöntemler bulmak ve geliştirmek önemlidir. Bu tür alternatifler, çevre dostu süreçlere dayalı, uygun maliyetli olmalı, iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunmalı, sürdürülebilir kalkınmayı desteklemeli ve ekonomik ve ekolojik faydalara yol açmalıdır. Bu şekilde, katı atığın biyokömüre termokimyasal dönüşümü, iklim değişikliğinin hafifletilmesi ve karbon tutulmasına ek olarak döngüsel ekonomiye çok işlevli faydalar sağlayabilir.

Hammaddelerin biyokömüre termo-kimyasal ayrışması, piroliz, hidrotermal karbonizasyon, kavurma, gazlaştırma ve geleneksel karbonizasyon gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir [102].

Bu yöntemler arasında piroliz, biyo-yağlar ve yoğunlaşmayan gazlar üretirken aynı zamanda kalıcı biyokömür ürünleri olarak hammaddelerin üçte birini koruduğu için biyokömür üretmek için yaygın olarak kullanılır [103].

Tarımsal ürün kalıntıları, orman kalıntıları, hayvan gübresi, gıda atıkları, endüstriyel ve kentsel biyolojik atıklar gibi çok sayıda organik kaynak, farklı amaçlar için biyokömür üretmek için kullanılabilen hammaddelerdir [104].

Bazı araştırmacılar kömür üretimi için plastik atığın pirolizini araştırarak büyük ilerleme kaydederken, diğerleri organik materyallerin ve plastiklerin birlikte pirolizini incelediler [103, 105].

Fosil yakıt türevli malzemelerden kömür üretimi, ne atmosferden karbondioksiti çekmek ne de toprak düzenleyici olarak nitelendirildiği için ancak inşaat malzemesi olarak kullanılabilir.

Biyokömür büyük endüstriyel ölçekten küçük ev ölçeğine kadar birçok farklı ölçekte üretilebilir ve ayrıca tarım arazilerinde de üretilebilir [106].

Bu nedenle, yaygın olarak dağıtılan atıklardan biyo(kömür) üretimi, karbon nötrü elde etme yarışında sosyo-ekonomik ve çevresel öneme sahiptir. Birden fazla işleve sahip biyokömürü sürdürülebilir bir şekilde üretme olasılığı, biyokömür endüstrisini tüm insanlar ve çevre için daha sürdürülebilir ve müreffeh bir gelecek yaratmak için uygun bir merkez olarak konumlandırıyor [107].

3.11. Sürdürülebilir kalkınma için Biyo-kömür.

Biyo-kömür, atıkların temizlenmesine ek olarak, döngüsel bir ekonominin ve sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesinde çeşitli insan faaliyetlerinde de önemli bir rol oynar (Şekil 3).

Yüksek oranda yüklü bir yüzey ve çoklu fonksiyonel gruplar veya hidrofobik yüzeyler oluşturma olasılığından hareketle biyokömür, CO₂'yi yakalayabilen ve çeşitli organik kirleticileri (örn., poliklorlu bifeniller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar) ve katı, sulu ve/veya gazlı ortamlardan inorganik kirleticiler (örn. fosfat, amonyak, sülfat ve ağır metaller) [108, 109].

Bir toprak düzenleyici olarak, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek bitki üretkenliğini ve fotosentez oranını artırabilir, böylece karasal ekosistemlerde karbon tutulmasına katkıda bulunur ve iklim değişikliğini hafifletir [110].

İnşaat ve inşaat malzemelerinin imalatında düşük maliyetli karbon bazlı bir katkı maddesi olarak biyokömür kullanılarak atık değerlendirme üzerine yapılan araştırmalar ümit verici sonuçlar vermiştir [111].

Biyo-kömür, ultra yüksek performanslı betonda çimentonun yerini alabilir ve çimento matrisi ile polipropilen elyaf arasındaki arayüz bağına güçlendirebilir [111].

Karbon negatif üretim sürecinin yardımıyla biyo-kömür, yeşil çimento ve beton üretiminde özel bir konuma sahiptir.

İnsan uygarlığının ilerlemesi için daha iyi bir dünya inşa etmek için önemli bir araç haline gelebilir.

Biyo-kömürün özellikleri ve uygulanabilirliği, farklı piroliz koşulları ve ham madde türleri nedeniyle önemli ölçüde farklı olduğundan, biyo-kömür optimizasyonunda gelecekteki gelişmeler, hammadde ön işleme, piroliz işleme, çalışma faktörlerine ve ürün verimine odaklanmalıdır.

Son olarak, biyo-kömür üretimi, karakterizasyonu ile yaşam döngüsü analizi sürecini optimize etmesi, ekolojik stratejileri entegre etmesi politika yapımcıların, biyo-kömür üreticilerinin, kullanıcıların ve diğer ilgili paydaşların birlikte çalışması karbon nötre doğru gidişi hızlandıracaktır.

3.12. Biyo bazlı ürünlerde karbon tutumu.

Tekrar kullanarak ve geri dönüştürerek Biyo-kütle kullanımı ile CO₂'yi dönüştürmek, iklim değişikliğini azaltmanın ve döngüsel bir biyoekonomiyi teşvik etmenin sürdürülebilir bir yoludur.

Potansiyel olarak, tüm fosil yakıt ürünleri biyo-kütleden üretilebilir. Biyoenerji sağlamanın yanı sıra yenmeyen biyo-kütle, plastik, yağlayıcı, tıbbi cihaz, boya ve diğer değerli ürünlerin endüstriyel üretiminde yenilenemeyen fosil yakıt kaynaklarının yerini alabilir [112].

Biyoteknoloji, Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji dahil olmak üzere çeşitli alanlardaki son bilimsel ve teknolojik gelişmeler, küresel üretim sistemlerinin gerçekten sürdürülebilir gelişimi için biyo-kütle kullanımının yolunu açmıştır. Örneğin, mikroorganizmalar, özellikle bakteriler, besin kaynağı olarak nişasta, yağ asitleri, selüloz, şekerler, proteinler ve diğer organik maddeler gibi çoğu biyolojik kaynağı kullanabilir ve bunları biyopolimer üretimi için uygun çeşitli monomerlere dönüştürebilir [113].

Fosil yakıtlardan elde edilen geleneksel polimerlerin aksine, biyopolimerler, doğrudan veya dolaylı olarak atmosferden CO₂ yakalayan fotosentetik bitkilerden üretildiklerinden, karbon nötre ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerimizle uyumludur.

Nişasta bazlı polimerler, biyobozunurlukları, biyouyumlulukları, gerilme mukavemetleri ve termal verimlilikleri nedeniyle en yaygın kullanılan ve uygun maliyetli biyomalzemelerdir ve küresel biyoplastik ve biyopolimer pazarının %50 ila %80'ini oluşturur [114].

Farklı biyokütle hammaddelerinden elde edilen plastikler, bunların kullanımları ve petrokimyasal plastiklerle karşılaştırıldığında çevresel etkileri kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir [115].

Kuşkusuz, biyomalzemelerin gücünden yararlanmak, petrol bazlı polimerlerin karbon ayak izini ve çevresel etkisini azaltabilir ve geleneksel polimerlerden daha geniş bir uygulama yelpazesi sunar.

Ahşap bazlı malzemeler, enerji depolama, güneş-buhar destekli tuzdan arındırma, su arıtma ve hafif yapısal malzemeler, plastik, elektronik, cam ve iyonik cihazlar üretimi dahil olmak üzere çeşitli ileri teknolojilerdeki büyük ölçekli uygulamalarda nanomalzemeler kullanılabilir [116].

Döngüsel bir biyoekonominin geliştirilmesi ile karbon biyo-bazlı ürünlerde depolanması sonucu, karbon nötre doğru umut verici bir yoldur.

4. CO₂ YAKALAMA, KULLANMA VE DEPOLAMA İÇİN TEKNOLOJİLER

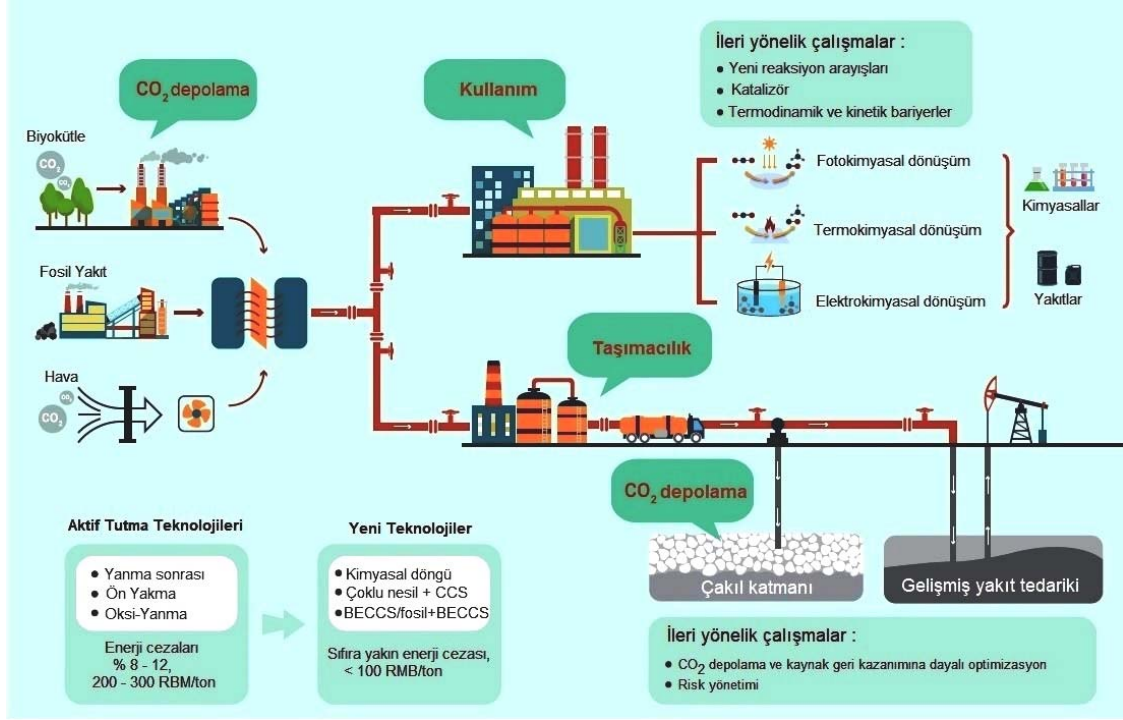
CO₂ yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) teknolojisi üç farklı süreçten oluşur:

Bunlar: CO₂'yi emisyon kaynaklarından ayırma, CO₂ dönüşümü ve kullanımı, taşıma ve atmosferden uzun süreli izolasyonla yeraltında depolama.

CCUS, CO₂ emisyon azaltma hedefini gerçekleştirmek için gerekli bir teknolojidir [117].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), emisyonları azaltma görevinin yalnızca enerji kullanım verimliliğini artırarak ve enerji yapısını ayarlayarak gerçekleştirilemeyeceğini, aynı zamanda küresel sıcaklık artışını 2050 ye kadar 2 °C'nin altında tutmak için CO₂ emisyonlarının %19'unun yakalanması ve depolanması gerektiğini ifade etmektedir. CCUS olmadan, CO₂ azaltmanın toplam maliyeti 2050'ye kadar %70 artacaktır [118].

Karbon yakalama ve kullanma teknolojileri Şekil 4'te özetlenmiştir.



Şekil 4. Endüstride CO₂ tutma teknolojisini geliştirmeye yönelik yol haritası

4.1. CO₂ tutma ve depolama

CO₂ tutma ve depolama (CCS) kavramı ilk olarak 1977'de geliştirildi ve şimdiye kadar üç geliştirme aşamasından geçti. 1977'den 1996'ya kadar olan ilk aşama, teknoloji geliştirme aşamasıydı. 1989'da Massachusetts Teknoloji Enstitüsü ilk CCS teknoloji projesini başlattı [119].

Norveç hükümeti, CCS projelerini mali olarak desteklerken, ülkenin iklim hedeflerine ulaşabilmesini sağlamak için 1991 yılında bir karbondioksit vergisi koydu. 1997'den 2018'e kadar olan ikinci aşama, teknolojinin büyük ölçekli tanıtım aşamasıydı. Üçüncü aşama 2018'de başladı ve CCS teknolojisi ticarileştirmenin ilk aşamalarına girdi.

CCS projeleri için 50 \$/ton CO₂'ye kadar bir vergi kredisi sağlayan ABD vergi değişikliğinden sonra büyük ölçekli ticari CCS projelerinin sayısı giderek arttı.

4.2. Karbon tutma teknolojilerinin mevcut durumu.

Günümüzde, CO₂ tutma teknik yolları, temel olarak yanma sonrası yakalama, yanma öncesi yakalama ve oksijen-yakıt yanmasını içerir. Yanma sonrası CO₂'i egzoz gazından ayırmak ve enerji sistemlerinde CO₂ geri kazanımının en basit yollarından biridir.

Yanma sonrası yakalama teknolojisinde kullanılan gaz ayırma teknolojileri, fiziksel absorpsiyon, kimyasal absorpsiyon, membran ayırma vb. oluşmaktadır.

Büyük miktarda yanma sonrası, baca gazı arıtılması ve kimyasal absorpsiyon yöntemi ile düşük CO₂ konsantrasyonu elde edilmesi, yanma sonrası CO₂ yakalama için en uygun ayırma teknolojisidir.

Yanma sonrası yakalamanın avantajı, kolayca çalıştırılabilmesi ve güç üretim sistemini çok fazla değiştirmeye gerek olmamasıdır.

Azotun seyreltilmesi nedeniyle, bir enerji sisteminin atık gazındaki CO₂ konsantrasyonu genellikle çok düşüktür (genellikle, kömürle çalışan elektrik santrallerinin atık gazındaki CO₂ konsantrasyonu %10-



15 ve doğal gazınki enerji santralleri daha da düşüktür, yaklaşık %3-%5) ve atık gaz arıtma miktarı fazladır.

Kömür yakıtlı enerji santrallerinin egzoz gazından CO₂ 'yi ayırmak için kimyasal absorpsiyon yöntemini kullanırken, enerji tüketimi yaklaşık 0,37–0,51 MWh/t CO₂'dir, bu da %90 CO₂ ayırımı anlamına gelirken enerji sisteminin verimliliğini yüzde 11,0–15,0 oranında azaltacaktır ve bir santralin yatırım maliyetini %50-%80 arasında artmaktadır.

Yakma sonrası ayırmanın mevcut araştırma odağı, verimli emiciler bulmak ve CO₂ ayırmanın enerji tüketimini azaltmak için ayırma sürecini optimize etmektir.

Ancak yakma sonrası ayırmanın yüksek enerji tüketiminin temel nedeni, bacadan atılan gazdaki düşük CO₂ konsantrasyonudur.

Yanmadan önce CO₂'yi ayırma yöntemine ön yakma denir.

Yakıt, sentez gazından (esas olarak CO ve H₂'den oluşur) gazlaştırılır. Ardından sentez gazda bulunan CO, CO₂ ve hidrojene dönüştürülür ve ardından CO₂, H₂'den ayrılır.

Kömür Gazlaştırılmalı Kombine Çevrim santralinde, ön yakma ile %90 oranında CO₂ tutulması durumunda net güç verimini yüzde 8,0-10,0 oranında azaltabileceğini göstermektedir [120].

Kömür Gazlaştırılmalı Kombine Çevrim santralinde, ön yakma için, hidrojen açısından zengin gazla çalışan gaz türbinleri ile daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

Yakıt, oksijen ve CO₂ ortamında yakılır ve baca gazının bir kısmı sirkülasyon için sisteme geri döndürülmesi durumunda baca gazındaki CO₂ konsantrasyonu %95'ten fazla olabilir.

Oksijen ile yakmanın avantajı, bacadan atılan duman gazının esas olarak CO₂ ve su buhardan oluşması nedeniyle CO₂ ayırmanın enerji tüketimi sifıra yakın olmasıdır.

Bununla birlikte, oksijen üretimi ihtiyacının artması, hava ayırma ünitesinin güç tüketimi yükseltir ve sistemin güç değerini %10-%25 civarında azalmaktadır. Ayrıca hava ayırma ünitesi kapasite artacağından ek yatırım maliyeti artacaktır.

Oksijen yanması ile %90 CO₂ tutulması durumunda net güç verimliliği yüzde 10,0–12,0 oranında azalacaktır. Oksijen ile yakma sisteminin verimliliğini artırmanın yolu, hava ayırma teknolojisinin verimini arttırmaktan geçmektedir [120].

4.3. CO₂ taşımacılığının mevcut durumu.

CO₂ nakliyesi, tutulan CO₂'nin kullanılmak üzere veya depolama alanına taşınması işlemi anlamına gelir.

CO₂ taşımacılığı, boru hatları, gemiler, demiryolları, yollar vb. içeren petrol veya gaz taşımacılığına benzer ve boru hattı taşımacılığı teknolojisinin uygulama potansiyeli yüksektir. Son yıllarda, dünya çapında CO₂ boru hattı taşımacılığı için birçok uygulama yapılmıştır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri 5.000 km'den fazla bir boru hattı ağı inşa etti.

Şu anda, Çin'de CO₂ taşımacılığı esas olarak karayolu taşımacılığı ile düşük sıcaklıkta depolama tanklarına dayanmaktadır.

Düşük basınçlı CO₂ taşımacılığı alanında, ham petrol ve doğal gaz boru hattı taşımacılığı deneyiminden öğrenebiliriz; bu arada, yüksek basınçlı, düşük sıcaklıkta ve kritik üstü CO₂ taşınmasına ilişkin araştırmalar daha yeni başlamıştır.

4.4. CO₂ depolamanın mevcut durumu.

CO₂ depolama, tutulan CO₂'nin mühendislik ve teknik yollarla jeolojik yapılarda depolanmasını ifade eder. CO₂ 'in atmosferden uzun vadeli izolasyonu sağlayabilir.

Farklı depolama jeolojik oluşumları temel olarak karadaki tuzlu çakıl katmanlarında depolanmasını, tuzlu çakıl katmanlarının deniz tabanında depolanmasını ve tükenmiş petrol ve gaz sahaları depolamasını ve diğer teknolojileri içerir.

CO₂ jeolojik depolama teknolojisi geliştirilmesinin önündeki ana engeller, uzun vadeli güvenlik ve güvenilirliktir.

4.5. Zorluklar ve gelecekteki teknoloji geliştirme yönergeleri.

Dünya çapında görülen ve ticarileştirilmekte olan CO₂ tutma teknolojileri, esas olarak yakma sonrası ayırma teknolojileridir. Ancak, bu tür teknolojilerin enerji tüketimi ve maliyeti yüksektir ve azaltma potansiyeli sınırlıdır.

CCS teknolojisi tanıtımının ilk aşamasında, yakma sonrası teknolojisi nispeten basittir ve teknik zorluğu düşüktür. Bu tür teknoloji genellikle CCS gösteri projelerinde kullanılır. Kısa vadede CO₂ emisyonu azaltma etkileri elde edebilir.

Ancak uzun vadede, bu tür teknolojilerin doğası CO₂ emisyon azaltımı karşılığında daha fazla enerji kullanması nedeniyle, uzun vadeli CO₂ emisyon azaltımı için bu ülkelerin daha fazla enerji maliyetine maruz kalacaktır.

Bu nedenle, CCS teknolojisinin uygulanmasının geniş ölçekte teşvik edilmesi gerekiyorsa, ülkeler yeni çoklu üretim teknolojisi gibi kömürün temiz kullanımı için geliştirmekte olan ülkelere uygun düşük enerjili, düşük maliyetli CCS teknolojileri geliştirmelidir. Kimyasal güç ile çoklu üretim teknolojisi, CO₂ tutma için düşük enerji tüketimine sahiptir.

Kimyasal güç ile çoklu üretimi, hem sentetik yakıtlar/kimyasal ürünler (metanol, dimetil eter ve diğer alternatif yakıtlar gibi) hem de elektrik üretme teknolojilerini ifade eder.

Kimyasal güç çoklu üretim teknolojisi, yalnızca kimya ve enerji endüstrilerinde önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz. Aynı zamanda fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmak ve CO₂ emisyonlarını düşük maliyetle sağlamak için kömür bazlı alternatif yakıtlar da üretebilir [121, 122]

4.6. Alevsiz kimyasal döngülü yanma teknolojisi.

"Alevsiz" kimyasal döngülü yanma, geleneksel "alevli" yanmadan temel olarak farklıdır: Bu süreçte yakıt ve hava arasında hiçbir temas gerçekleşmez.

İşlem sonrasında, gaz ürünleri yüksek konsantrasyonda CO₂ ve H₂O'dur ve CO₂ ayırma işlemi olmadan geri kazanılabilir. Sıfır enerji tüketimi ile CO₂ ayrıştırılabilir.

"Alevsiz kimyasal döngülü yanma" kullanımı ile sera gazlarını kontrol etmek için yeni bir yoldur.

IPCC tarafından CO₂'nin yakalanması ve depolanmasına yönelik hazırladığı raporda, "Kimyasal döngülü yakma, CO₂'nin %100 tutulmasını sağlamanın bir yolu olduğunu ifade etmiştir [120].

1990'larda Çinli bilim adamları, kimyasal döngülü yanma ile yüksek konsantrasyonlu CO₂ zenginleştirmesini gerçekleştirmişlerdir [123].

Uluslararası Enerji Ajansı, gelecekte sıfır fosil enerji emisyonu için kimyasal döngülü yanmanın ilk sırayı alacağını ifade etmiştir.

4.7. Negatif emisyon teknolojisi

Biyokütle ve güneş enerjisi ile birleştirilmiş fosil enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Fosil enerji kullanımındaki kademeli düşüş ve yenilenebilir enerji tüketimi kullanımındaki artışla birlikte, CCS teknolojisi fosil enerji ve biyokütle-güneş enerjisi ile birleştiğinde negatif emisyonlar sağlayabilir.

4.8. CO₂ depolamanın güvenlik ve güvenilirlik değerlendirmesi.

CO₂ jeolojik depolama teknolojisinin önündeki ana engelleri, depolama potansiyeli ve uzun vadeli güvenlidir.

Çakıl taşı katmanlarının ve CO₂ depolamaya uygun petrol sahalarının mekansal dağılımları, teknolojilerin ve yorumların sınırlamaları nedeniyle ayrıntılı jeolojik veriler elde etmek için yeterli teknolojiden yoksundur ve ardından, CO₂ depolama kapasitelerinin değerlendirilmesi aşırı zorluklarla karşı karşıyadır.

Uzun vadeli risk ve güvenlik sorunları, mevcut anlayışların ve teknolojik zorluklarla karşı karşıyadır.

4.9. CO₂ kullanımı

CO₂ kimyasal kullanımı, belirli sıcaklık, basınç ve bir katalizör yardımıyla CO₂'yi diğer yüksek değerli kimyasal maddelere dönüştürmesini sağlar. CO₂ kimyasal kullanımı, CO₂'nin dönüşümünü ve kullanımını doğrudan gerçekleştirebilir ve belirli bir doğrudan emisyon azaltma etkisine sahiptir [124].

Bu teknolojik uygulama, fosil yakıtların veya ham maddelerin kullanımının yerini alacak yeni bir kimyasal sentez yolunu oluşturabilir.

Litosferden atmosfere karbon akışı ile dolaylı emisyon azaltma etkisine nedeniyle gelecekteki karbon nötr senaryolarına önemli bir katkı sağlayacaktır.

CO₂ dönüşümünü kolaylaştırmak için termokimyasal kataliz, fotokimyasal kataliz, elektrokimyasal kataliz ve diğerleri (enzimatik kataliz ve organometalik kataliz) gibi çeşitli prosesler geliştirilmiştir ve son yıllarda önemli ilerlemeler kaydedildi.

4.10. Gelecekteki zorluklar ve CO₂ katalizinin temel teknolojileri.

CO₂'nin yakıtlara ve kimyasallara dönüştürülmesi, hem termodinamik hem de kinetik engellerin aşılmasında hala bir takım zorluklar vardır.

Fotokimyasal ve elektrokimyasal kataliz için CO₂ dönüşümünün büyük ölçekli uygulaması gerçekleştirilmemiştir.

Yenilenebilir enerjilere geçiş, mevcut fosil yakıtla dayalı enerji üretim, iletim ve tedarik sistemlerinin tamamen yeniden inşa edilmesi veya yenilenmesi gerektiği anlamına gelebilir ve bu çok büyük bir maliyettir.

CCUS, fosil yakıtlardan hidrojen üretimi gelecekte temiz yakıt üretimi için önemli bir rol oynayacaktır. Düşük maliyetli kimyasal döngülü yakma, yenilenebilir enerji çoklu üretimi ve hibrit yenilenebilir fosil yakıtlı enerji sistemleri, karbon nötr bir dünya inşa etmeye yardımcı olabilecek umut verici teknolojilerdir.

5. UYDU GÖZLEMİNE VE DİJİTAL DÜNYAYA DAYALI KARBON NÖTR

Uydu gözlemi ve Dijital Dünya teknolojisi alanında, karbon nötrleştirme desteği, küresel sera gazı konsantrasyonunun hızlı izlenmesini, toprak örtüsü değişikliğini ve küresel doğal karbon yutağının mekansal analizini içerir.

Bu, karbon emisyonlarının zirvesine ne zaman ulaşılacağına ve doğal bir karbon yutak potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir destekleyici rol oynar.

5.1. CO₂ emisyonlarının uydu gözlemleri

Sera gazı gözlem yöntemleri yer tabanlı izleme ve uydu uzaktan algılamayı içermektedir.

Doğru sera gazı konsantrasyon verileri sağlamak için erken aşamada küresel bir sera gazı gözlem istasyonları ağı kuruldu [125].

Bununla birlikte, saha sayısındaki sınırlama nedeniyle, mekansal çözünürlük genellikle küresel karbon akısı hesaplama ihtiyaçlarını karşılamak için yeterli değildir.

Japonya tarafından 2009'da fırlatılan GOSAT, ABD tarafından 2014'te fırlatılan OCO-2 ve 2016'da Çin tarafından fırlatılan TANSAT dahil olmak üzere üç CO₂ uydusu arka arkaya fırlatıldı ve bu da karbon akışı gözlemi yeteneğini önemli ölçüde geliştirdi [126].

5.2. Karbon nötr için Dijital Dünya

Dijital Dünya, esas olarak uydu gözlemlerinden elde edilen büyük miktarda veriyi entegre edecek ve modeller geliştirecek, mevcut veya gelecekteki küresel ekosistemleri uzay ve zamanda çoklu çözünürlüklerde simülasyon yapacak veya tahmin edecek ve ardından sonuçları görselleştirecek.

Bu yeni teknolojiler, karbon döngüsü birçok doğal ve beşeri faktörden dolayı karbon nötrü ve karbon ticareti için çok güçlü faydalar sağlayacaktır [127].

SONUÇLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Karbon, Dünya'da yaşamın varlığına katkıda bulunan en önemli elementlerden biridir.

Sanayi Devrimi'nden bu yana, karbon bazlı kaynaklar; enerji, gıda ve diğer emtiaları üretmek için kullanıldı ve küresel ekosistemleri ciddi anlamda etkiledi.

Fosil yakıtların yaygın kullanımı ve ormansızlaşma, kentleşmenin teşvik edilmesi atmosferik CO₂ 'in artmasına ve sera etkisinden kaynaklanan küresel iklim değişikliğini tetiklemektedir.

Uluslararası topluluklar, karbon emisyonlarını en aza indirmek ve karbon tutulmasını teşvik etmek ve uygun maliyetli sürdürülebilir yöntemler geliştirmekle karşı karşıyadır.

İnsan sağlığını ve çevreyi korumak için yenilenemeyen kaynaklardan mevcut üretim sistemlerini sürdüren ve iklim değişikliğinin getirdiği zorunluluklar yenilenebilir kaynaklara geçmek zorunlu hale gelmiştir.

Enerji, gıda ve endüstriyel üretim sistemlerinde yenilenebilir kaynakların gücünden yararlanmak ve karasal ve deniz ekosistemlerinde karbon tutulmasını teşvik etmek, karbon nötre ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaya yönelik olası yollar olarak görülmektedir.

Mevcut küresel üretim sistemlerinde sera gazı emisyonlarını azaltan uygulamaları benimsemek için bilimsel, sosyo-ekonomik ve teknolojik çözümler gerekiyor. Bunlar şunları içerir:

1. Küresel yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin küresel enerji talebini aştığı göz önüne alındığında, sürdürülebilir kalkınmadaki en acil araştırma ihtiyaçları, fosil yakıtların kullanımını aşamalı olarak ortadan kaldırmak için mevcut yenilenebilir enerji üretim eğilimini geliştirmektir.
2. Kimyasal gübrelerin üretimi ve uygulanmasından atık depolama ve yakmaya kadar uzanan gıda sistemlerindeki sürdürülemez yönetim uygulamalarının sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü açıklamaya devam ettiği göz önüne alındığında, gıda sistemlerinden kaynaklanan emisyonları azaltmak ve yutakları iyileştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.
3. CCUS yaklaşımının karbon nötrü arayışımızda çok önemli bir rolü olmasına rağmen, mevcut CCUS teknolojilerinin benimsenmesi, yüksek enerji tüketimleri ve maliyetleri nedeniyle engellenmektedir. Enerji endüstrisinde karbon yakalama ve depolama, düşük ve hatta net sıfır enerji kullanımı elde etmek için bilimsel ve teknolojik yenilikler gerektirir.
4. Dünyanın iklim değişikliğini azaltma hedeflerini karşılama yolunda olduğundan emin olmak için uzaydan sera gazı emisyonlarını izlemenin son derece ilgili olduğu göz önüne alındığında, sera gazı emisyonunu izlemek için uydulardan sera gazı emisyonlarını izlemenin doğruluğu ve uzay-zamansal çözünürlüğü daha da güçlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] “Europe’s Energy Intensive Industries contribution to the EU Strategy for long-term EU greenhouse gas emissions reductions”
- [2] “OUR CARBON FUTURE Reversing global warming while delivering shared prosperity”
- [3] <https://www.nature.com/news/carbon-is-not-the-enemy-1.20976>
- [4] “The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges”
- [5] <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/its-time-for-the-first-green-industrial-revolution/>
- [6] XPRIZE, Carbon Conversion Landscape Analysis, <https://bit.ly/2KJKLgF>
- [7] AVTAR, R., TRIPATHI, S., AGGARWAL, A.K., AND KUMAR, P. (2019). Population–urbanization–energy nexus: a review. Resources 8, 136.
- [8] SARKODIE, S.A., OWUSU, P.A., AND LEIRVIK, T. (2020). Global effect of urban sprawl, industrialization, trade and economic development on carbon dioxide emissions. Environ. Res. Lett. 15, 034049.
- [9] IISD (2020). International institute for sustainable development: world population to reach 9.9 billion by 2050. <https://sdg.iisd.org/news/world-population-to-reach-9-9-billion-by-2050/>.
- [10] RABAEY, K., AND RAGAUSKAS, A.J. (2014). Editorial overview: energy biotechnology. Curr. Opin. Biotech. 27,V–VI.
- [11] LAMPERT, A. (2019). Over-exploitation of natural resources is followed by inevitable declines in economic growth and discount rate. Nat. Commun. 10, 1419.
- [12] RABAEY, K., AND RAGAUSKAS, A.J. (2014). Editorial overview: energy biotechnology. Curr. Opin. Biotech. 27,V–VI.
- [13] HOANG, N.T., AND KANEMOTO, K. (2021). Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. Nat. Ecol. Evol. 5, 845–853.
- [14] TILMAN, D., BALZER, C., HILL, J., and BEFORT, B.L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. U S A 108, 20260–20264.
- [15] MATHUR, M., AND AWASTHI, S. (2016). Carbon neutral village/cluster: a conceptual framework for envisioning. Curr. Sci. 110, 1208–1215.
- [16] WANG, R., XIONG, Y., XING, X., et al. (2020). Daily CO₂ emission reduction indicates the control of activities to contain COVID-19 in China. Innovation 1, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100062>.
- [17] ANDERSON, K., AND PETERS, G. (2016). The trouble with negative emissions. Science 354, 182–183.
- [18] UNFCCC (2015). Paris Agreement (United Nations Climate Change). <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.
- [19] CHEN, J.M. (2021). Carbon neutrality: toward a sustainable future. Innovation 2, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100127>.
- [20] World Meteorological Organization (2020). The state of the global climate 2020. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>.

- [21] IEA (2021). About CCUS (IEA). <https://www.iea.org/reports/about-ccus>
- [22] IEA (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector (IEA). <https://www.iea.org/events/net-zero-by-2050-a-roadmap-for-the-global-energy-system>.
- [23] DUTTA, A., FAROOQ, S., KARIMI, I.A., AND KHAN, S.A. (2017). Assessing the potential of CO₂ utilization with an integrated framework for producing power and chemicals. *J. CO₂ Util.* 19,49–57.
- [24] KILKIS, S., KRAJACIC, G., DUIC, N., et al. (2020). Advances in integration of energy, water and environment systems towards climate neutrality for sustainable development. *Energ. Convers. Manag.* 225, 113410.
- [25] OLABI, A.G., WILBERFORCE, T., ELSAID, K., et al. (2021). Selection guidelines for wind energy technologies. *Energies* 14, 3244.
- [26] REN, K.P., TANG, X., WANG, P., et al. (2021). Bridging energy and metal sustainability: insights from China's wind power development up to 2050. *Energy* 227, 120524.
- [27] IRENA (2020). Innovation Outlook: Ocean Energy Technologies (International Renewable Energy Agency). <https://irena.org/publications/2020/Dec/Innovation-Outlook-Ocean-Energy-Technologies>.
- [28] NIHOUS, G.C. (2007). A preliminary assessment of ocean thermal energy conversion resources. *J. Energ. Resour.-Asme* 129,10–17.
- [29] STATISTICS, G.B. (2020). World bioenergy association. <http://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>.
- [30] TURSI, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *BRJ* 6, 962–979.
- [31] ALPER, K., TEKIN, K., KARAGOZ, S., AND RAGAUSKAS, A.J. (2020). Sustainable energy and fuels from biomass: a review focusing on hydrothermal biomass processing. *Sustain. Energ. Fuels* 4, 4390–4414.
- [32] SIVABALAN, K., HASSAN, S., YA, H., AND PASUPULETI, J. (2021). A review on the character-istic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply. *J. Phys.* 1831, 012033
- [33] LIU, Y., WANG, H., JIANG, Z., et al. (2021). Genomic basis of geographical adaptation to soil nitrogen in rice. *Nature* 590, 600–605.
- [34] IEA (2019). The future of hydrogen. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
- [35] COUNCIL, H. (2017). How hydrogen empowers the energy transition. <https://hydrogencouncil.com/en/study-how-hydrogen-empowers/>.
- [36] HE, Z., QIAN, Q., MA, J., et al. (2016). Water-enhanced synthesis of higher alcohols from CO₂ hydrogenation over a Pt/Co₃O₄ catalyst under milder conditions. *Angew. Chem. Int. Edit.* 55, 737–741.
- [37] HE, Z., QIAN, Q., MA, J., et al. (2016). Water-enhanced synthesis of higher alcohols from CO₂ hydrogenation over a Pt/Co₃O₄ catalyst under milder conditions. *Angew. Chem. Int. Edit.* 55, 737–741.
- [38] WU, Y., AND LI, P. (2020). The potential of coupled carbon storage and geothermal extraction in a CO₂-enhanced geothermal system: a review. *Geotherm. Energy* 8,19.
- [39] LUND, J.W., AND TOTH, A.N. (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 world-wide review. *Geothermics* 90, 101915.
- [40] GOLDBRUNNER, J. (2020). Austria—country update. In *Proceedings World Geothermal Congress (Reykjavik, Iceland: EGEC)*, pp. 1–19.
- [41] LU, W.J., YUAN, Z.Z., ZHAO, Y.Y., et al. (2017). Porous membranes in secondary battery technologies. *Chem. Soc. Rev.* 46, 2199–2236.
- [42] YUAN, Z., YIN, Y., XIE, C., et al. (2019). Advanced materials for zinc-based flow battery: development and challenge. *Adv. Mater.* 31, 1902025.
- [43] BUENO, C., and CARTA, J.A. (2006). Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 10, 312–340.
- [44] REHMAN, S., AL-HADHRAMI, L.M., and ALAM, M.M. (2015). Pumped hydro energy stor-age system: a technological review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 44, 586–598.
- [45] BUDT, M., WOLF, D., SPAN, R., AND YAN, J. (2016). A review on compressed air energy storage: basic principles, past milestones and recent developments. *Appl. Energ.* 170, 250–268.

- [46] SWIDER, D.J. (2007). Compressed air energy storage in an electricity system with significant wind power generation. *IEEE Trans. Energy Conver.* 22,95–102.
- [47] BALLANTYNE, A.P., ALDEN, C.B., MILLER, J.B., et al. (2012). Increase in observed net carbon dioxide uptake by land and oceans during the past 50 years. *Nature* 488,70–72.
- [48] CRIPPA, M., SOLAZZO, E., GUIZZARDI, D., et al. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat. Food* 2,1–12.
- [49] WANG, X.J., BEI, Q.C., YANG, W., et al. (2020). Unveiling of active diazotrophs in a flooded rice soil by combination of NanoSIMS and $^{15}\text{N}_2$ -DNA-stable isotope probing. *Biol. Fert. Soils* 56, 1189–1199.
- [50] FRIEDLINGSTEIN, P., O'SULLIVAN, M., JONES, M.W., et al. (2020). Global carbon budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 3269–3340.
- [51] FRANK, S., HAVLIK, P., STEHFEST, E., et al. (2019). Agricultural non- CO_2 emission reduction potential in the context of the 1.5 degrees C target. *Nat. Clim. Change* 9,66–72.
- [52] POORE, J., AND NEMECEK, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992.
- [53] SHANG, Z., ABDALLA, M., XIA, L., et al. (2021). Can cropland management practices lower net greenhouse emissions without compromising yield? *Glob. Chang. Biol.* 27, 4657–4670.
- [54] DAWAR, K., KHAN, A., SARDAR, K., et al. (2021). Effects of the nitrification inhibitor nitrapyrin and mulch on N_2O emission and fertilizer use efficiency using N-15 tracing techniques. *Sci. Total Environ.* 757, 143739.
- [55] MARESMA, A., LLOVERAS, J., AND MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A. (2018). Use of multispectral airborne images to improve in-season nitrogen management, predict grain yield and estimate economic return of maize in irrigated high yielding environments. *Remote Sens.* 10, 543. *Remote Sens.* 10, 543.
- [56] SA, I., POPOVIC, M., KHANNA, R., et al. (2018). WeedMap: a large-scale semantic weed mapping framework using aerial multispectral imaging and deep neural network for precision farming. *Remote Sens.* 10, 1423.
- [57] ALI, M. (2020). Effect of water saving irrigation management practices on rice productivity and methane emission during rice cultivation. *J. Geosci. Environ. Prot.* 8, 182–196.
- [58] HIYA, H., ALI, M., BATEN, S., AND BARMAN, S. (2020). Effect of water saving irrigation management practices on rice productivity and methane emission from paddy field. *J. Geosci. Environ. Prot.* 8, 182–196.
- [59] HARINDINTWALI, J.D., ZHOU, J.L., MUHOZA, B., et al. (2021). Integrated eco-strategies towards sustainable carbon and nitrogen cycling in agriculture. *J. Environ. Manage.* 293, 112856.
- [60] BAI, Z., WANG, X., WU, X., et al. (2021). China requires region-specific manure treatment and recycling technologies. *Circular Agr. Syst.* 1,1–8.
- [61] KNAPP, J.R., LAUR, G.L., VADAS, P.A., et al. (2014). Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.* 97, 3231–3261.
- [62] LEE, H.J., YONG, H.I., KIM, M., et al. (2020). Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market - a review. *Asian Austral. J. Anim.* 33, 1533–1543.
- [63] MATASSA, S., BOON, N., PIKAAR, I., AND VERSTRAETE, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microb. Biotechnol.* 9, 568–575.
- [64] BAI, Z., SCHMIDT-TRAUB, G., XU, J., et al. (2020). A food system revolution for China in the post-pandemic world. *Res. Environ. Sustain.* 2, 100013.
- [65] PIKAAR, I., MATASSA, S., RABAEY, K., et al. (2017). Microbes and the next nitrogen revolution. *Environ. Sci. Technol.* 51, 7297–7303.
- [66] PIKAAR, I., MATASSA, S., BODIRSKY, B.L., et al. (2018). Decoupling livestock from land use through industrial feed production pathways. *Environ. Sci. Technol.* 52, 7351–7359.
- [67] PAN, Y., BIRDSEY RICHARD, A., FANG, J., et al. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333, 988–993.
- [68] FAO (2010). Food and Agriculture Organization: Global Forest Resources Assessment 2010 (FAO Forestry Paper).
- [69] MAHANTA, S.K., GARCIA, S.C., AND ISLAM, M.R. (2020). Forage based feeding systems of dairy animals: issues, limitations and strategies. *Range Manag. Agrofor.* 41, 188–199.

- [70] ZOMER, R.J., BOSSIO, D.A., SOMMER, R., AND VERCHOT, L.V. (2017). Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Sci. Rep.* 7, 15554.
- [71] FANG, J.Y., YU, G.R., LIU, L.L., et al. (2018). Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 115, 4015–4020.
- [72] SIEDT, M., SCHAEFFER, A., SMITH, K.E.C., et al. (2021). Comparing straw, compost, and biochar regarding their suitability as agricultural soil amendments to affect soil structure, nutrient leaching, microbial communities, and the fate of pesticides. *Sci. Total Environ.* 751, 141607.
- [73] RAYMOND, P.A., HARTMANN, J., LAUERWALD, R., et al. (2013). Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature* 503, 355–359.
- [74] ZHAO, J., MA, J., AND ZHU, Y. (2019). Evaluating impacts of climate change on net ecosystem productivity (NEP) of global different forest types based on an individual tree-based model FORCCHN and remote sensing. *Glob. Planet. Change* 182, 103010.
- [75] CROWTHER, T.W., TODD-BROWN, K.E.O., ROWE, C.W., et al. (2016). Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540, 104–108.
- [76] MCMAHON, S.M., PARKER, G.G., AND MILLER, D.R. (2010). Evidence for a recent increase in forest growth. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 136, 3611–3615. 200912376. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912376107>.
- [77] CHOWDHURY, S., BOLAN, N., FARRELL, M., et al. (2021). Role of cultural and nutrient management practices in carbon sequestration in agricultural soil. In *Advances in Agronomy*, D.L. Sparks, ed. (Academic Press), pp. 131–196.
- [78] MACK, M., SCHUUR, E.G., BRET-HARTE, M., et al. (2004). Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature* 431, 440–443.
- [79] LI, Y., NIE, C., LIU, Y.H., et al. (2019). Soil microbial community composition closely associates with specific enzyme activities and soil carbon chemistry in a long-term nitrogen fertilized grassland. *Sci. Total Environ.* 654, 264–274.
- [80] DENG, L., SWEENEY, S., AND SHANGGUAN, Z.P. (2014). Grassland responses to grazing disturbance: plant diversity changes with grazing intensity in a desert steppe. *Grass Forage Sci.* 69, 524–533.
- [81] GOLL, D.S., CIAIS, P., AMANN, T., et al. (2021). Potential CO₂ removal from enhanced weathering by ecosystem responses to powdered rock. *Nat. Geosci.* 14, 545–549.
- [82] TUBIELLO, F.N., CONCHEDDA, G., WANNER, N., et al. (2021). Carbon emissions and removals from forests: new estimates, 1990–2020. *Earth Syst. Sci. Data* 13, 1681–1691.
- [83] DIOCHON, A., KELLMAN, L., AND BELTRAMI, H. (2009). Looking deeper: an investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *For. Ecol. Manag.* 257, 413–420.
- [84] ALI, A. (2019). Forest stand structure and functioning: current knowledge and future challenges. *Ecol. Indic.* 98, 665–677.
- [85] WANG, Y.Q., BAI, R., DI, H.J., et al. (2018). Differentiated mechanisms of biochar mitigating straw-induced greenhouse gas emissions in two contrasting paddy soils.
- [86] BEERLING, D.J., KANTZAS, E.P., LOMAS, M.R., et al. (2020). Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature* 583, 242–248.
- [87] ZHONG, Y., JIANG, M., AND MIDDLETON, B.A. (2020). Effects of water level alteration on carbon cycling in peatlands. *Ecosyst. Health Sust.* 6, 1806113.
- [88] FARQUHAR, G.D., FASHAM, M.J.R., GOULDEN, M.L., et al. (2001). The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J.T. Houghton, Y. Ding, and D.J. Griggs, et al., eds. (Cambridge University Press), pp. 1–56.
- [89] MACREADIE, P.I., ANTON, A., RAVEN, J.A., et al. (2019). The future of blue carbon science. *Nat. Commun.* 10, 3998.
- [90] JIAO, N., HERNDL, G.J., HANSELL, D.A., et al. (2010). Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. *Nat. Rev. Microbiol.* 8, 593–599.
- [91] DUARTE, C.M., LOSADA, I.J., HENDRIKS, I.E., et al. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nat. Clim. Change* 3, 961–968.
- [92] BREITHAUPT, J.L., SMOAK, J.M., SMITH, T.J., et al. (2012). Organic carbon burial rates in mangrove sediments: strengthening the global budget. *Glob. Biogeochem. Cy.* 26, Gb3011.
- [93] WANG, F.M., SANDERS, C.J., SANTOS, I.R., et al. (2021). Global blue carbon accumulation in tidal wetlands increases with climate change. *Natl. Sci. Rev.* 8, nwa296.

- [94] WEI, F. (2021). Towards post-2020 global biodiversity conservation: footprint and direction in China. *Innovation* 2, 100175. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100175>.
- [95] JIAO, N.Z., TANG, K., CAI, H.Y., AND MAO, Y.J. (2011). Increasing the microbial carbon sink in the sea by reducing chemical fertilization on the land. *Nat. Rev. Microbiol.* 9,75.
- [96] CHEN, C.-T.A., AND BORGES, A.V. (2009). Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂. *Deep-sea Res. Pt. 56*, 578–590.
- [97] WANG, F.M., EAGLE, M., KROEGER, K.D., et al. (2021). Plant biomass and rates of carbon dioxide uptake are enhanced by successful restoration of tidal connectivity in salt marshes. *Sci. Total Environ.* 750, 141566.
- [98] BOSSIO, D.A., COOK-PATTON, S.C., ELLIS, P.W., et al. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nat. Sustain.* 3, 391–398.
- [99] BROWN, M.A., DWIVEDI, P., MANI, S., et al. (2021). A framework for localizing global climate solutions and their carbon reduction potential. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 118, e2100008118.
- [100] KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P., AND WOERDEN, F.V. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* (The World Bank).
- [101] YADAV, I.C., AND DEVI, N.L. (2019). Biomass Burning, Regional Air Quality, and Climate Change.
- [102] WANG, J.L., AND WANG, S.Z. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: a review. *J. Clean. Prod.* 227, 1002–1022.
- [103] SONI, B., AND KARMEE, S.K. (2020). Towards a continuous pilot scale pyrolysis based biorefinery for production of biooil and biochar from sawdust. *Fuel* 271, 117570.
- [104] BOLAN, N., HOANG, S.A., BEIYUAN, J.Z., et al. (2021). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *Int. Mater. Rev.* <https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1922047>.
- [105] OH, S.Y., AND SEO, T.C. (2019). Upgrading biochar via co-pyrolyzation of agricultural biomass and polyethylene terephthalate wastes. *RSC Adv.* 9, 28284–28290.
- [106] GHODAKE, G.S., SHINDE, S.K., KADAM, A.A., et al. (2021). Review on biomass feedstocks, pyrolysis mechanism and physicochemical properties of biochar: state-of-the-art framework to speed up vision of circular bioeconomy. *J. Clean. Prod.* 297, 126645.
- [107] CHEN, W.F., MENG, J., HAN, X.R., et al. (2019). Past, present, and future of biochar. *Biochar* 1,75–87.
- [108] DISSANAYAKE, P.D., YOU, S.M., IGALAVITHANA, A.D., et al. (2020). Biochar-based adsorbents for carbon dioxide capture: a critical review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 119, 109582.
- [109] SHAHEEN, S.M., NIAZI, N.K., HASSAN, N.E.E., et al. (2019). Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *Int. Mater. Rev.* 64, 216–247.
- [110] WOOLF, D., AMONETTE, J.E., STREET-PERROTT, F.A., et al. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nat. Commun.* 1,56.
- [111] CHEN, L., WANG, L., ZHANG, Y., et al. (2021). Roles of biochar in cement-based stabilization/solidification of municipal solid waste incineration fly ash. *Chem. Eng. J.* 132972.
- [112] DIXIT, A., GUPTA, S., PANG, S.D., AND KUA, H.W. (2020). Cement replacement and improved hydration in ultra-high performance concrete using biochar. In *3rd International Conference on the Application of Superabsorbent Polymers*, W.P. Boshoff, R. Combrinck, and V. Mechtcherine, et al., eds. (Springer, Cham), pp. 222–229.
- [113] FINNEGAN, G. (2015). All Products Based on Fossil Fuels Could Be Made from Biomass – Dr Philippe Mengal. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/all-products-based-fossil-fuels-could-be-made-biomass-dr-philippe-mengal>.
- [114] JIANG, T., DUAN, Q., ZHU, J., et al. (2020). Starch-based biodegradable materials: challenges and opportunities. *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 3,8–18.
- [115] CHONG, J.W.R., KHOO, K.S., YEW, G.Y., et al. (2021). Advances in production of bio plastics by microalgae using food waste hydrolysate and wastewater: a review. *Bioresour. Technol.* 342, 125947.
- [116] BERGLUND, L.A., AND BURGERT, I. (2018). Bioinspired wood nanotechnology for functional materials. *Adv. Mater.* 30, e1704285.
- [117] ZHANG, L., DANG, Y., ZHOU, X., et al. (2021). Direct conversion of CO₂ to a jet fuel over CoFe alloy catalysts. *Innovation* 2, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100170>

- [118] EA (2013). Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage (OECD/IEA). <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-carbon-capture-and-storage-2013>
- [119] MARCHETTI, C. (1977). On geoengineering and the CO₂ problem. Climatic change 1,59–68.
- [120] METZ, B., DAVIDSON, O., DE CONINCK, H., et al. (2005). IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Cambridge University Press). <https://www.ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage/>
- [121] GAO, L., JIN, H., LIU, Z., AND ZHENG, D. (2004). Exergy analysis of coal-based polygeneration system for power and chemical production. Energy 29, 2359–2371.
- [122] LI, S., GAO, L., AND JIN, H. (2017). Realizing low life cycle energy use and GHG emissions in coal based polygeneration with CO₂ capture. Appl. Energ. 194, 161–171.
- [123] HONGGUANG, J., TOSHIHIRO, O., AND ISHIDA, M. (1998). Development of a novel chemical-looping combustion: synthesis of a looping material with a double metal oxide of CoO-NiO. Energ. Fuel. 12, 1272–1277.
- [124] LÓPEZ-PACHECO, I.Y., RODAS-ZULUAGA, L.I., FUENTES-TRISTAN, S., et al. (2021) Phycocapture of CO₂ as an option to reduce greenhouse gases in cities: carbon sinks in urban spaces. J. CO₂ Util. 53, 101704. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101704>
- [125] TANS, P.P., FUNG, I.Y., AND TAKAHASHI, T. (1990). Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. Science 247, 1431–1438.
- [126] BUTZ, A., GUERLET, S., HASEKAMP, O., et al. (2011). Toward accurate CO₂ and CH₄ observations from GOSAT. Geophys. Res. Lett. 38, L14812.
- [127] PENG, D.L., ZHANG, B., WU, C.Y., ET AL. (2017). Country-level net primary production distribution and response to drought and land cover change. Sci. Total Environ. 574,65–7

ÖZGEÇMİŞ

Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından mezun olmuştur. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi olarak, 1998-2013 yılları arasında kazan ve basınçlı kap sektöründe Ar&Ge, Tasarım, Üretim ve Şantiye montaj alanlarında çeşitli projelerde çalışmıştır. 2013-2022 yılları arasında, Bacader Genel Koordinatörü olarak görev yapmıştır. Halen MMO İstanbul Şubesinde Kazan ve Basınçlı Kaplar komisyon başkanlığı yapmaktadır. MMO İstanbul Şubesi bünyesinde yayınlanan “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sistemleri” kitabının altı bölümünün yazarı ve son üç baskısının da editörü, ISKAV bünyesinde yayınlanan “Endüstri Kazanları” kitabının bir bölümünün yazarı ve “Sıcak Su Kazanları” kitabının üç bölümün yazarı ve kitabın son baskısının editörüdür. IMSAD Yapı Malzemeleri Komisyonu ile birlikte “Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Rehber Kitap” ve Çevre Dostu Malzemeler Komisyonu ile “Sürdürülebilir İnşaat Malzemeleri Sözlüğü” çalışmalarına katkı sağlamıştır. Yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazıları bulunmaktadır.

Barbaros BATUR

1966 İstanbul doğumludur. 1990 yılında İTÜ Makine Fakültesini Makine Mühendisi olarak bitirmiştir. 1995 yılında Marmara Üniversitesinden Endüstri Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2002 yılında YTÜ’de Makine Mühendisliği, Isı Proses Dalında doktorasını tamamlamıştır. 2005 yılından beri YTÜ, Makine Bölümünde Öğretim Görevlisi Dr. olarak ders vermektedir. Proses, enerji, ısıtma-havalandırma tesisat konularında çalışmaktadır.

Özlem Yurtsever

1983 İstanbul doğumludur. 2006 yılında Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 2019 yılında Endüstri Mühendisliği alanında Doktor ünvanını almıştır. 2011-2022 yılları arasında Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi olarak görev yapmış olup 2022 yılından itibaren Dr. Öğretim Üyesi



olarak görevine devam etmektedir. Sürdürülebilirlik, karbon ayakizi, enerji, iş güvenliği konularında çalışmaktadır.

Mustafa Cem Çelik

1973 yılı Edirne doğumludur. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Yüksek Lisans derecesi olarak yüksek mühendis olmuştur. 2014 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Doktor unvanını almıştır. 1999 Yılından bu güne Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi / Öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır. Yenilenebilir enerji, hidroelektrik santraller, iç hava kalitesi, karbon ayak izi hesaplamaları konularında çalışmaktadır.

%100 YENİLENEBİLİR ENERJİLİ KENTLER ve HİDROJEN EKONOMİSİ

100% Renewable Energy Cities and Hydrogen Economy

Birol Kılıç

ÖZET

Bu makalede, iklimsel ısınmaya karşı bugüne değin değerlendirilemez denilen atık ısıların ve düşük entalpili yenilenebilir enerji kaynaklarının çok düşük sıcaklıkta konfor ısıtmasına ve oldukça yüksek sıcaklıklarda konfor soğutmasına olanak verecek bölge enerji sistemleri üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla %100 Yenilenebilir Enerjili Kent tanımlamaları ve ekserji tabanlı tasarım ve değerlendirme ölçütleri geliştirilmiştir. Bu tür düşük ekserjili kaynakların akılcı kullanımında binaların da düşük ekserjili sistem ve cihazlarla donatılmaları veya mevcut sistem ve cihazların büyütülmeleri ve veya ısı pompaları ile sıcaklık piklemesi gerekmektedir ki bu son iki ara çözüm esas amacı bozmakta, CO₂ salımlarının yeterli düzeyde azaltılmasına engel teşkil etmektedirler. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kesikli ve değişken olmaları da enerji depolamasının ön plana çıkarmaktadır. Tüm bu sorunlar göz önüne alındığında hidrojen ekonomisi, yenilenebilir enerji kaynaklı optimum çözümler üretmek kaydı ile önem kazanmıştır. Bu bağlamda ekserji tabanlı optimum bölge enerji sistemi tasarım modeli ve algoritması geliştirilerek Karadeniz'deki H₂S gazından elde edilecek hidrojen gazına bağlı, Sinop kenti için hidrojen kent ön tasarımı geliştirilmiştir. Bu önerinin teknik verileri sunulurken doğal gaz ile hidrojenin karıştırılması ile alt yapıyı bozmadan Sinop kentinin enerji sorununun çözülebileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: %100 Yenilenebilir Enerji Kenti, Ekserji, Hidrojen ekonomisi, Karadeniz H₂S gazı

ABSTRACT

This article focuses on the district energy systems that satisfy comfort heating at very low temperatures and comfort cooling at high temperatures by utilizing low-exergy waste heat and low-enthalpy renewable energy sources, which were considered useless until the recent climate crisis. To facilitate this transition, 100% Renewable Energy City definitions and exergy-based design and evaluation metrics are developed. In the rational utilization of such low exergy sources, buildings should also be equipped with low exergy systems and equipment, or the existing systems and equipment should be oversized or the temperatures are peaked with heat pumps, which defy the main purpose and constitutes an obstacle to the sustainable reduction of CO₂ emissions. Also, the fact that renewable energy sources are intermittent and variable makes energy storage a must. Considering all these problems, the hydrogen economy has gained importance by producing optimum solutions based on renewable energy. In this context, an exergy-based optimum district energy system design model and algorithm have been developed and a preliminary design about a hydrogen city has been completed for the city of Sinop. The concept design is based on hydrogen to be obtained from the H₂S gas available in the Black Sea. By presenting the technical data of this proposal, it has been observed that by mixing natural gas and hydrogen, the energy and environment nexus of the city of Sinop can be solved without a need to retrofit the existing natural gas infrastructure.

Keywords: 100% Renewable Energy City, Exergy, Hydrogen economy, H₂S gas in the Black Sea

1. GİRİŞ

Sürekli artmakta olan küresel ısınma sorunu yanında uluslararası çatışmaların ana nedenlerinden olan tükenir türdeki fosil yakıt rezervlerine olan eğilim ve doğal gaz furyasına karşın yöneticiler ve enerji stratejistleri isteseler de istemeseler de, düşük enerji yoğunluk ve kaliteleri (Ekserji) nedeni ile daha önceleri yüzüne bile bakmadıkları ve göz ardı etmeye alıştıkları ama aslında çok bol ve hasadı çok kolay olan yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarını geleceğimizin en önemli çıkış yolu olarak görmeye başladılar. Ekserji herhangi bir enerji kaynağının yararlı iş üretme potansiyelidir ve günümüzde enerjinin niteliğini betimleyen ekserji, enerjinin niceliğinden çok daha önemli konuma gelmiştir. Bu bağlamda, hidrojenin ekserjisi doğal gazdan bile fazladır. Bununla birlikte, endüstri, ulaşım ve tarım sektörleri, alternatif ve düşük nitelikli kaynaklarla çelişkili biçimde fosil yakıtlara dayanan yüksek nitelikli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyar. İşte hidrojen burada da önem kazanmaktadır ve bu çelişkiyi çözebilecek yeni teknolojilerden en önemlisi yenilenebilir enerjiye dayalı hidrojen ekonomisidir. Sudan veya denizden hidrojen üretmek için güneş enerjisi gibi daha düşük nitelikli yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak, doğal gazdan daha kaliteli olan sıfır karbon salımlı bir yakıt sağlanmış olur. Karadeniz ülkeleri bu açıdan çok özel bir şansa sahiptirler, çünkü, düşük tuzluluk oranına sahip deniz suyunun yanı sıra, rüzgâr, dalga ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikteliği ve bolluğuna ek olarak zaten denizde eriyik durumda çok miktarda ve artık tehlikeli boyutlara ulaşmış bollukta H₂S gazı mevcuttur. Tüm bu zenginliklerin yan yana geldiği başka bir deniz veya karasal ortam Dünyada mevcut değildir. Karadeniz'deki bu özel avantaj rahatlıkla denizdeki yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılarak hidrojen, oksijen ve kükürt gazlarına dönüştürülebilir. Karada denizde, hatta havada kullanılabilir (sanayi atıkları ve hidrojenden jet yakıtı üretimi gibi). Türkiye'nin karasularındaki hidrojen potansiyeli şu anda tespit edilen doğal gaz rezervinin en az kırk katıdır. Daha da önemlisi, Karadeniz'de endişe verici derecede yüksek olan yanıcı, patlayıcı ve zehirli H₂S içeriğinin zaten bertaraf edilmesi gerekmektedir. Şu andaki balıkçılıkta ve diğer çevre zararlarında bunu görmekteyiz. Dolayısı ile kazan-kazan-kazan söz konusudur. Hidrojen üretimi hem ekonomik katkı hem Karadeniz ülkeleri arasında iş birliğini ve dostluğunu pekiştirici, aynı zamanda sıfır salımlı yüksek kaliteli enerji kaynağı olan hidrojen ve ticari değeri olan sülfür ve oksijen eldesi yönleri ile Karadeniz bulunmaz bir kaynaktır, dünyada bir benzeri yoktur. Bu yazıda deniz üzerinde dalga, güneş, rüzgâr enerjili ve bizzat kendisi hidrojenle çalışır bir gemide hidrojen gazı üretimi ve karaya nakli, Sinop kentinde ve sanayide doğal gaz, bölgedeki kömür ve jeotermal enerji kaynaklarını da kullanan hidrojen kenti projesinin ana hatları yanı sıra ekonomik, çevresel ve politik avantajları anlatılmaktadır.

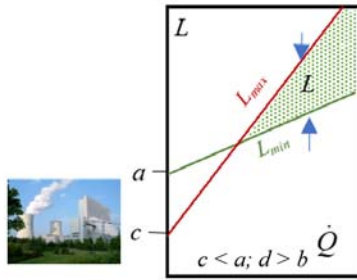
2. HİDROJEN KENTLERİ

2.1. Hidrojen Eldesi

Hidrojenin elde edilmesindeki esas, yenilenebilir enerji kaynaklarının talep fazlalarından yararlanmak ve H₂S gazı gibi kaynakları kullanmaktır. Fosil yakıtlardan hidrojen eldesinin anlamı yoktur. Ancak mevcut doğal gaz alt yapısının kullanılmasını teminen doğal gaz ile ve biyogaz ile karışım akılcı gözükmektedir.

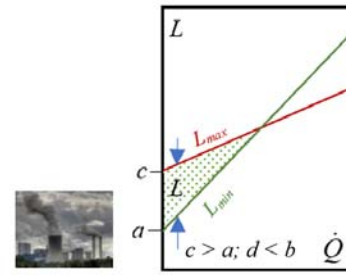
2.1.1 Jeotermal den

Jeotermal kaynak ve veya ORC atık ısılarının yakın çevrede değerlendirilmesi için ısı ekserjinin en akılcı ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi gerekir. Isının taşınacağı en uzak mesafe, L_{max} için termo-mekanik kısıtlar göz önünde tutulmalıdır. Jeotermal işletme ne kadar çevreci olursa L_{max} o denli uzar ve pazar payı o oranda değerlendirilir ve artar. Çevreye saygı göstermenin önemli bir özendirici boyutu da bu doğrusal ilişkidir. Bir jeotermal işletme çevreyi çok kirletiyorsa L_{max} kısalmır (Şekil 3 ve 4).



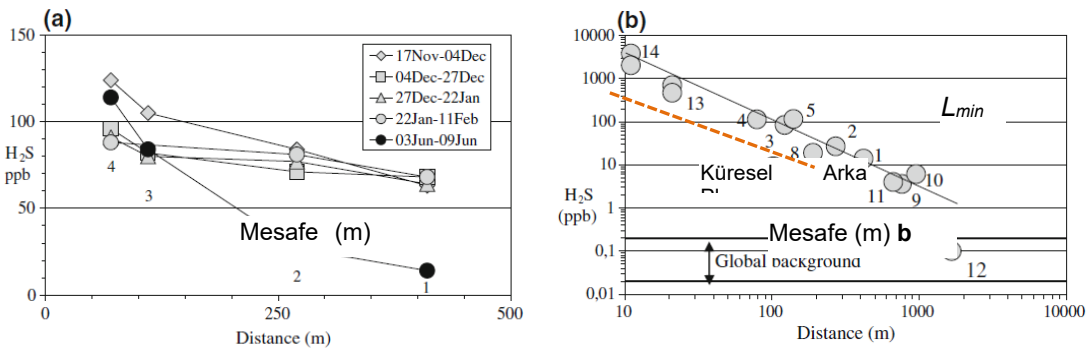
$$L_{\min} \geq a + bQ$$

$$L_{\max} \leq c + dQ$$

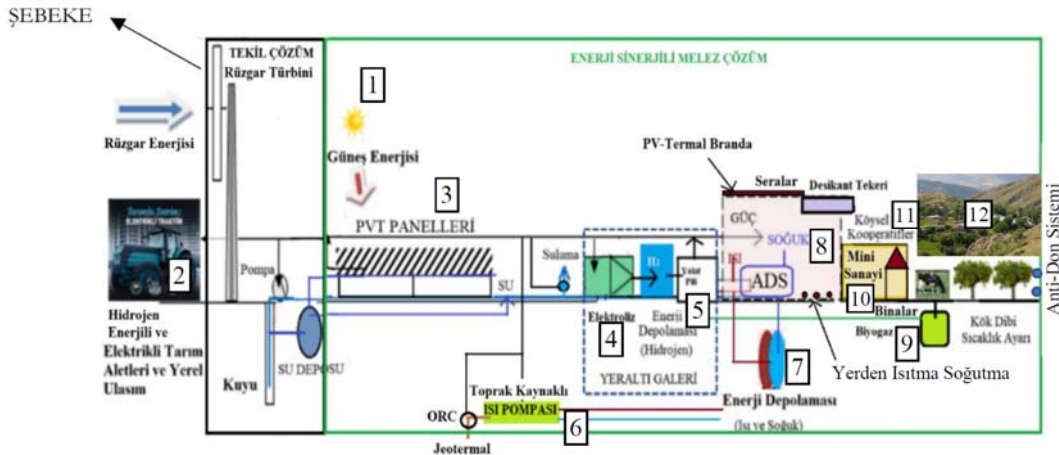

 Şekil 3. Çevre Duyarlı Tesiste L_{\max} ve L_{\min}

 Şekil 4. Çevre Duyarsız Tesiste L_{\max} ve L_{\min}

Şekil 3, H_2S gaz atımının yoğunluğuna bağlı olarak merkezden olan mesafeye bağlı değişimini farklı gün ve mevsimlerde göstermektedir. Şekil 4 ise küresel arka plan yoğunluğunun altına inilebilecek L_{\min} değerinin en az 4000 m olabileceği görülmektedir. Bu alanda tarım ve yerleşimin olabilmesi için H_2S gazının tamamına yakınının tutulması gerekmektedir (Kesikli çizgi, L_{\min} : 300 m).


 Şekil 5. H_2S Yoğunluğunun Değişik Mevsim ve Günlerde Mesafeye Göre Örnek Değişimi (D'Alessandro, W., Brusca, K., 2009)

2.1.2 Rüzgâr Güneş artı su. Neredeyse-sıfır karbondioksit salımlı bir köy kooperatif tasarımı Şekil 6 da özetlenmiştir. Bu model akıllı kentler için de temel itibarı ile geçerlidir. Bu proje her ne kadar çok karmaşık gözükse de çözümlerin en uç noktasını beyan eder ve AR GE çalışmaları bir zincir halinde zaman içerisinde yayılı biçimde kademeli olarak gerçekleştirilir.



Şekil 6. Sıfır Karbon Salımına En Yakın Kombine Tarım Çiftliği ©Birol Kılış, 21

- Bu öneride 12 adet zincir-çözüm kademesi bulunmaktadır. Bunlar sırası ile:
- 1- Melez Rüzgâr ve Güneş Enerji Sistemi,
 - 2- Elektrikli Hareketlilik (Mobilite) ve Tarım,
 - 3- Güneş PV panellerinin çekilen kuyu suyu ile soğutulmuş verim artışı (Kendinden PCM Malzemesinde Enerji Depolamalı PVT Paneller),

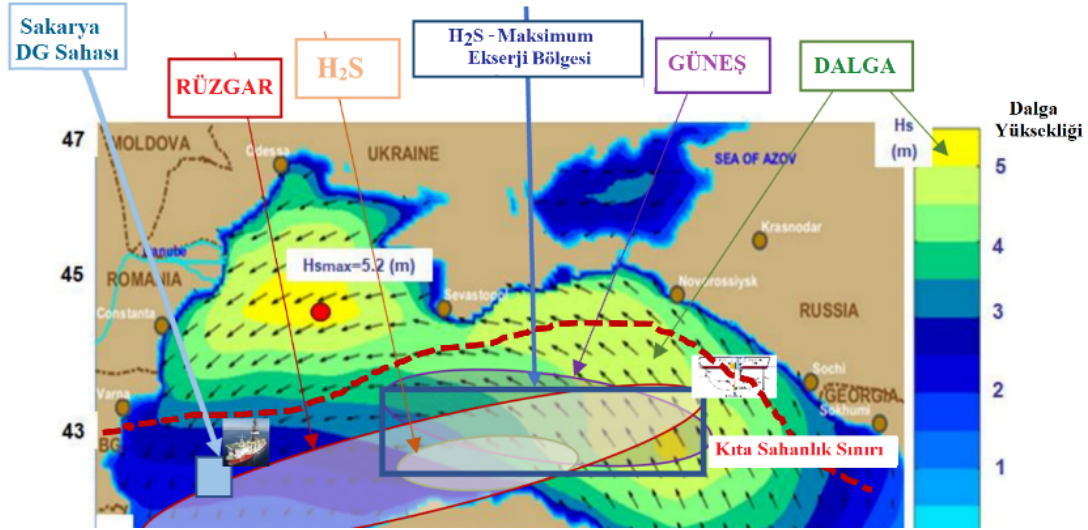
- 4-Hidrojen Elektroliz Ünitesi (Kapalı devre su),
- 5- Yakıt Pili Elektrik ve Isı (Kojenerasyon),
- 6- Toprak Kaynaklı Isı Pompası (Isıtma ve Soğutma, mekanik tahrikli),
- 7- Enerji Depolaması,
- 8-Sera,
- 9-Biyogaz,
- 10-Küçük Tarımsal Sanayi (Tarımsal kurutma, paketleme ürün işleme, süt endüstrisi, vs.)
- 11-Köy Kooperatifi,
- 12- Köy Yerleşim Alanları,

olup her biri ayrı veya bütünlük AR GE ve inovasyon konusu niteliğindedir. Yavaş Kentler giderek yerel tarım ve hayvancılıkla buluşuyor. Şekilde 6'da gösterildiği üzere bu tür bir tarımsal kompleks ve hayvancılık sinerjisi şebeke elektriğine de gerek duymayabilmekte bilakis -eğer şebekeye bağlı ise- şebekeye elektrik bile satabilmekte, böylelikle kendi sigorta havuzunu kooperatif bünyesinde imece usulü ile de oluşturabilmektedir. Su gereksinimini de kendisi yenilenebilir enerji kaynaklarından kapalı döngü içerisinde karşılayabilmektedir. Bu proje önerisinde karbondioksit salım sorumlulukları sıfıra yaklaşmakta, hayvansal atıklardan biyogaz üretilmektedir. Enerji niteliğinin akılcı değerlendirme katsayısı %80 dolayındadır. Bugünün yapılı çevre ortalaması ise sadece 0.20 dolayındadır. Toprak kaynaklı ısı pompasının güç talebi organik Rankine çevrimli mini türbin tarafından mekanik olarak doğrudan bağlanarak sağlanmaktadır. Elektrik gücü, şebeke alışverişi dışında, doğru akımlı olup evirici verim kayıpları bertaraf edilmiştir.

2.1.3. Karadeniz'den

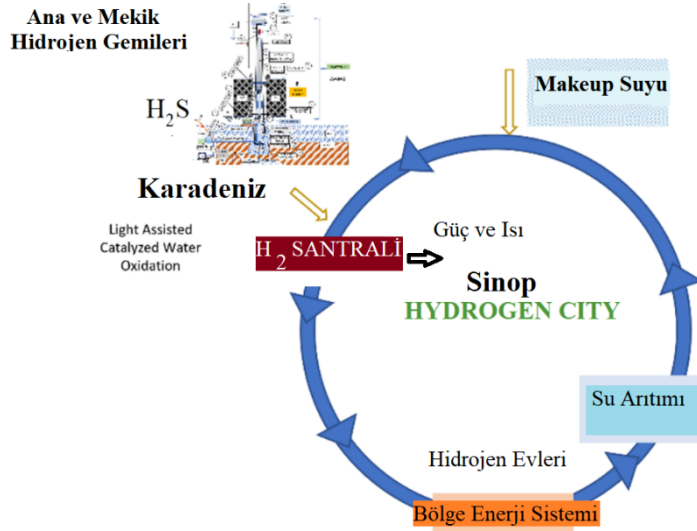
Karadeniz, 432000 km² yüzey alanı, maksimum 2200 m su derinliği ve yaklaşık 534000 km³ su hacmi ile en büyük iç denizlerden birisidir. *Karadeniz'in Kirliliğe Karşı Korunması Komisyonu*, Karadeniz'i altıdan fazla su yakalama oranıyla Dünya Okyanuslarının tümüne göre en yararlı kapalı deniz olarak tanımlayarak, Karadeniz'i oldukça iyi bir şekilde dramatize etmektedir. Bu kadar yüksek bir yakalama oranı, onu kıyıdaş ve kıyıdaş olmayan ülkeler için çok kritik hale getiriyor. Olağanüstü yüksek H₂S yoğunluğuna sahip karakteristik jeomorfolojisi, deniz yaşamını desteklemek için sadece yaklaşık 150 metrelik çok ince bir üst katmanın kalması ile sonuçlanmıştır [1, 2]. Bu sorunlar diğer yanlışlarla, örneğin İstanbul kanalizasyonunun bir kısmının İstanbul Boğazının alt akıntısı ile Karadeniz'e deşarjı ile daha da ciddiyet ve önem kazanmaktadır. Doğal gazın atmosfere açık ortamda yanması sırasında her bir kW-h enerjiye karşılık 0.2 kg CO₂ salınır. Bu oran hidrojenle yenilenebilir enerji kaynaklarında elde edilme koşulu ile sıfırdır.

Karadeniz, dünyanın en büyük H₂S doğal rezervidir. Bu rezerv 28 ila 63 milyar ton (41x10¹² ile 92 x10¹² m³ arasında). Geri kazanım oranının sadece %50 olduğu varsayıldığında ve Karadeniz'de kıta sahanlığı olan altı ülke olduğu düşünülürken, Türkiye'nin payının yaklaşık 7 ila 15 x 10¹² m³ hidrojen olduğu tahmin edilebilir. Hidrojenin ekserji bazlı ısı değeri, doğal gazdan yaklaşık üç kat daha fazladır [2]. Bu nedenle, bir doğal gaz eşdeğerlik karşılaştırmasında, Türkiye için doğalgaz eşdeğeri net rezerv yaklaşık 21 ila 45 x 10¹² m³ eşdeğer doğal gaz olacaktır. Bu, en kötümser bir tahminle yeni keşfedilen Tuna-1 (Sakarya) doğalgaz rezervinin neredeyse 65 katına karşılık gelmektedir. Ayrıca, Karadeniz'de H₂S gaz rezervinin yıllık artışı yıllık 4-9 milyon ton dolayındadır. Bu artışın bile Türkiye payı Tuna-1 doğal gaz rezervinin yaklaşık 9 katıdır. Diğer bir deyişle, H₂S gazı Karadeniz üzerinde mevcut yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen üretiminde kullanılmazsa, Türkiye her yıl 9 doğalgaz rezervine eşdeğer enerji rezervini o yıl değerlendirmemiş olacaktır. Kaldı ki sıfır karbon salımlı hidrojenin H₂S gazından yerinde üretilmesi doğal gaza oranla daha ucuz ve daha çevrecidir. Daha da önemlisi, 505 K (232°C) sıcaklıkta kendiliğinden tutuşabilen, son derecede uçucu ve yanıcı olan H₂S gazı Karadeniz stokundan çıkarılmazsa, topluma ve çevreye, deniz yaşamına, ekonomiye, özellikle balıkçılığa ve insanlığa yönelik büyük ve geri dönüşü olmayan tehditler giderek artmaya devam edecektir. A. Veziroğlu ve Tsitskishvili tarafından yayınlanan bir NATO ASI Kitabında, M., Karadeniz, deniz suyundaki yüksek H₂S içeriği nedeniyle önemli ve potansiyel olarak karbonsuz bir enerji rezervi olarak birkaç yazar tarafından zaten tanımlanmış bulunmaktadır [3]. Hatta, Prof. Dr. Veziroğlu ve çalışma arkadaşları tarafından H₂S gazının hasadının, hizmet dışı bırakılmış bir denizaltı kullanılarak bir derin deniz platformu oluşturulduğunda değerlendirilebileceği projelendirilmiştir [4]. Karadeniz Hidrojen Sülfür Çalışmayı ise (BSHSW) çevre, enerji, ekonomi ve genel fizibilite dahil olmak üzere uyumlu araştırma için ortak bir platformun pilot sistemle kıyıdaş ülkeler tarafından oluşturulması gerektiği sonucuna varmıştır [4, 5].

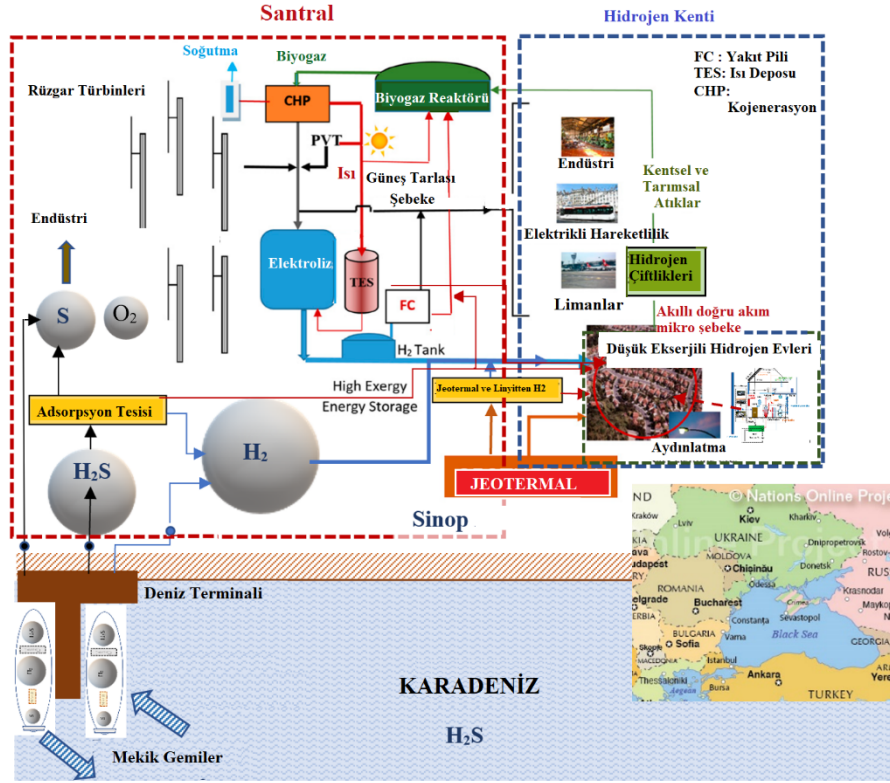


Şekil 7. Karadeniz Kıta Sahanlığımız, Hidrojen Ekonomi Bölğemiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarımızın Toplu Yerel Haritası

5.2. Kara Tarafı: Biyogaz tesisi, karasal rüzgâr türbinleri ve güneş tarlaları ile birlikte yerel linyit ve jeotermal kaynaklar da kullanılarak ilave hidrojen de elde edilecektir. Ana hidrojen gemisinde hidrojene dönüştürülmeyen fazla H₂S gazı da karada işlem görebilecektir. Böylelikle kara ve deniz hidrojen döngüsü tamamlanmış olmaktadır.



Şekil 8. Su Çevriminde Kara ve Deniz İş Birliği [2]



Şekil 9: Hidrojen Ekonomisinde Kara ve Deniz İş birliği [2]

6. SONUÇ

- Hidrojen ve hidrokarbon ekonomileri aynı anda optimum bir bileşimle gerçekleştirilirse, hiçbir uluslararası çatışma olmaksızın çok daha fazla ulusal enerji ve politik alanda ulusal gurur elde edilebilir.
- Karadeniz'deki hidrojen ekonomisi, hidrojen ekonomisine önemli bir katkı olarak bu yanıcı ve yanıcı H_2S gazının potansiyel risklerini de hiçbir masrafa gerek olmadan azaltacaktır.
- Petrol platformu maliyetleri ve işletme masrafları, sondaj ve sismik keşif masrafları olmaksızın bir çözüm önümüzde hazır beklemektedir.
- Neredeyse-sıfır karbon salımına sahip çok daha temiz kentler, ulaşım ve tarım mümkün olacaktır.
- Hidrojen aynı miktar enerjiyi taşımak için doğal gaz altyapı kapasitesinin yaklaşık üçte-birini kullanacağından daha az bakım ve onarım maliyeti sağlayacaktır. Mevcut doğal gaz hatlarına hacimce %20 hidrojen karışımı, yaklaşık %60 doğal gaz ve işletim ve bakım maliyetlerinde orantılı tasarruf sağlarken, doğal gaza kıyasla aynı ekserji talebi enerji arzından ödün vermeden karşılanacaktır.
- Politikacıların ve iktisatçıların gündeminde kâğıt para hala ilk sırada yer almaya devam edecek olursa, şu argüman geçerlidir: Hidrojen ekonomisi, özellikle Karadeniz Ülkeleri için en sürdürülebilir, ucuz ve çevre açısından güvenli seçenektir. Hidrojeni ihraç etseniz doğal gazın yaklaşık üç kat fiyatına satarsınız. Doğal gazın rezerv ömrü de uzar. Bu iki seçenek rakip değil tamamlayıcı unsurlardır.
- H_2S gazının ayrıştırılmasında plazma teknolojisi gibi daha yenilikçi yöntemler de araştırılmalı ve net enerji kazanımı, en fazla hidrojen eldesi ve ekonomik-çevresel konular dikkatle karşılaştırılmalıdır [6].

7. KAYNAKÇA

- [1] Ertan, S. 2020. Hydrocarbon Reserves in the Seas Surrounding Turkey, Information Note (In Turkish), 18 pages, September 20, 2020.
- [2] Kilkis, B. 2020. Exergy-Based Hydrogen Economy With 100% On-Board Renewables, H₂S Reserves, and Coastal Hydrogen Cities in the Black Sea Region, Special Report to Turkish Ministry of Energy and Resources (MENR), 79 Pages, August 30, 2020, Ankara, Turkey.
- [3] NATO. 2013. Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems, NATO Science for Peace and Security Series Sub-Series C. Environmental Security, A. Veziroğlu, and M. Tsitskishvili (Eds.), Springer, ISSN: 1874-6519.
- [4] K. Petrov, S. Z. Baykara, D. Ebrasu, M. Gulin, A. Veziroğlu. 2011. An Assessment of Electrolytic Hydrogen Production from H₂S in Black Sea Waters, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 36, pp: 8936-8942.
- [5] Yazici, S. M. 2013. Chapter 2, in: Conclusions from First Black Sea Hydrogen Sulfide Workshop (BSHSWS), in Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems, NATO Science for Peace and Security Series Sub-Series C. Environmental Security, A. Veziroğlu and M. Tsitskishvili (Eds.), Springer, ISSN: 1874-6519.
- [6] Haklıdır, M. and Kapkin, Ş. 2005. Black Sea, a Hydrogen Source, Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition, IHEC 2005, Istanbul, Turkey, 13-15 July 2005.

8. ÖZGEÇMİŞ

BİROL KILKIŞ

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltildi Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.

TÜRKİYE'DE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ İÇİN ÖNCELİKLİ SORUNLAR

Problems For Building Energy Efficiency In Turkey

A. Zerrin Yılmaz

ÖZET

Bilindiği gibi dünyadaki en önemli sorunların başında, sınırlı kaynaklardan elde edilebilen enerjinin verimli kullanılması ve enerji tüketiminin neden olduğu karbon salımının azaltılması gelmektedir. Büyük ölçüde dışa bağımlı olduğumuz enerjinin verimli kullanımı ve karbon salımı azaltımı ülkemizin de en önemli sorunlarının başında yer almaktadır. Sektörlerin enerji kullanım oranlarına bakıldığında, ülkemizin toplam enerji tüketiminin %40-50 arasındaki paya sahip olan binalarda enerji tüketiminin konfordan ödün vermeden azaltılması ve tüm binaların enerji verimli hale dönüştürülmesi hem ülkemizin ekonomisi, hem de konforlu sağlıklı yerleşmelerin yaratılabilmesi açısından öncelikli ülke sorunlarının arasında yer almaktadır.

Bina enerji verimliliği konusunda tüm dünyada ciddi adımlar atılmış ve bu konuda zorunluluklar getiren AB Direktifleri (EPBD-Energy Performance of Buildings Directive) yayınlanmıştır. Tüm binaların enerji kimlik belgesi olmasını zorunlu kılan ilk direktif 2002 de yayınlandıktan sonra yıllar içinde (2010, 2012, 2018) geliştirilmiş ve en son 2018 direktifinde maliyetler de hesaba katılmak kaydıyla tüm binaların yenilenebilir enerji kaynaklarını da kullanarak yaklaşık sıfır enerjili ve karbon nötr olması öngörülmüştür. Ülkemizde de bu konuda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Alt Yapı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Enerji Verimliliği dairesinde bazı çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Ancak bu çalışmalar, binaların sıfır enerji ve sıfır karbon olabilmesine yönelik sonuç alınabilecek seviyede değildir. Sonuç odaklı yöntemlerin ve örnek uygulamaların ilgili Bakanlık tarafından hızla oluşturulması ve uygulamaya geçirilmesi hem ülke ekonomisinin gözetilmesi ve hem de sağlıklı yaşam alanlarının tasarlanabilmesi için mutlaka öncelikli çalışmalar arasında yer almalıdır.

Bu konuda öncelikli çalışmaların başında, AB direktifinin de zorunlu tuttuğu gibi beş farklı iklim bölgemizde farklı bina tipolojileri (konut, ofis, sağlık binası..vs) için referans mimari parametre değerlerinin, ısıtma soğutma havalandırma, aydınlatma sistemlerine ait parametre değerlerinin mevcut bina stoku için belirlenmesi gerekmektedir. İkinci adım olarak da her iklim bölgesinde farklı bina tipleri için iyileştirme önlemlerinin neler olabileceğinin saptanması gerekir. Çünkü bilinmektedir ki; ülkemizdeki standart uygulamaların aksine- ki bu uygulamalar çoğunlukla bina enerji verimliliğini iyileştirmek yerine kötüleştirilmektedir- bina enerji verimliliği için alınacak önlemler binanın bulunduğu ilklime ve fonksiyonuna göre büyük farklılık gösterebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bina enerji performansı, Türkiye'deki sorunlar

ABSTRACT

As it is known one of the most important problem of the modern life is to use the limited energy sources of the world very efficiently and to reduce the emissions based on energy consumptions. Almost half of the total energy consumption is belong to buildings in Turkey. Therefore improvement of the energy efficiency level of buildings will make a serious contribution to reducing total energy consumption and Co2 emission of the country.

Because of the importance of the subject, the serious studies have been carried out in EU countries/ In 2002, 2010, 2012, 2018 EPBD-Energy Performance of Buildings Directives have been published to be used by every country including Turkey. The last version of the directive brings Nearly Zero Energy Building concept together with cost calculations. There are some studies in our country but they are not sufficient to reach the goal of EPBD

The most important step of improvement energy efficiency level of buildings is to define reference values of architectural, mechanical and electrical systems parameters for five different climatic zones of Turkey for every building typologies, Then the second important step should be to define energy efficiency improvement actions for every building typology in the five climatic zones,

Key Words: Improvement building energy efficiency, Problems in Turkey

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi binalar bir ülkedeki toplam enerji tüketiminin önemli bir yüzdesini kullanmaktadır. Tüm binaların enerji kimlik belgesi olmasını zorunlu kılan ilk AB direktif 2002 de yayınlandıktan sonra yıllar içerisinde (2010, 2012, 2018) geliştirilmiş ve en son 2018 direktifinde maliyetler de hesaba katılmak kaydıyla tüm binaların yenilenebilir enerji kaynaklarını da kullanarak yaklaşık sıfır enerjili ve karbon sıfır olması öngörülmüştür [1]. Ülkemizde bu konuda çalışmalar sürmekle birlikte henüz önemli sonuç alınabilecek yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Bu konuda öncelikli çalışmaların başında, AB direktifinin de zorunlu tuttuğu gibi; ılımlı kuru, ılımlı nemli, sıcak kuru, sıcak nemli ve soğuk bölge olmak üzere beş farklı iklim bölgemizde farklı bina tipolojileri (konut, ofis, sağlık binası..vs) için referans mimari parametre değerlerinin, ısıtma soğutma havalandırma, aydınlatma sistemlerine ait parametre değerlerinin mevcut bina stoku için belirlenmesi gerekmektedir. Bu referans değerler binaların yapım yılına bağlı olarak uymak zorunda oldukları standartların önerdiği kurallara dayalı olarak belirlenebilir. İkinci adım olarak da her iklim bölgesinde farklı bina tipleri için iyileştirme önlemlerinin neler olabileceğinin saptanması gerekir. Çünkü bilinmektedir ki; ülkemizdeki standart uygulamaların aksine- ki bu uygulamalar çoğunlukla bina enerji verimliliğini iyileştirmek yerine kötüleştirmektedir- bina enerji verimliliği için alınacak önlemler binanın bulunduğu ilklime ve fonksiyonuna göre büyük farklılık gösterebilmektedir.

Bu çalışmada, Eskişehir Kocakır Bölgesi için gerçekleştirilen sıfır enerjili ve sıfır atıklı olması öngörülen “Ekolojik Kent Projesi” ve enerji verimlilik düzeyini iyileştirmek için bina fonksiyonuna bağlı olarak belirlenen iyileştirme önlemleri örnek alınarak tüm iklim bölgelerimizde yapılması gereken çalışmalara kısaca değinilmiştir [2].

2. SIFIR ENERJİ BİNALARA ULAŞMAK İÇİN ATILMASI GEREKEN ADIMLAR

Yukarıda açıklandığı gibi ilgili son AB direktifinde öngörüldüğü üzere tüm ülkelerde mevcut ve yeni binaların yaşam dönemi maliyetleri de hesaba katılarak sıfır enerjili olabilmeleri için çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde de T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Alt Yapı Hizmetleri ve Kentsel Dönüşüm Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen Eskişehir-Kocakır Örnek Ekolojik Kent Projesi’nde farklı bina tipolojileri için çalışmalar yapılmıştır. Seçilen tüm binaların AB direktifine uygun olarak sıfır enerjili olabilmeleri için öncelikle her örnek bina için referans değerler saptanmış ve daha sonra bina fonksiyonuna bağlı olarak değişebilecek iyileştirme önlemleri belirlenmiştir. Aşağıdaki Şekil1.de Kocakır genel yerleşme planı görülmektedir.

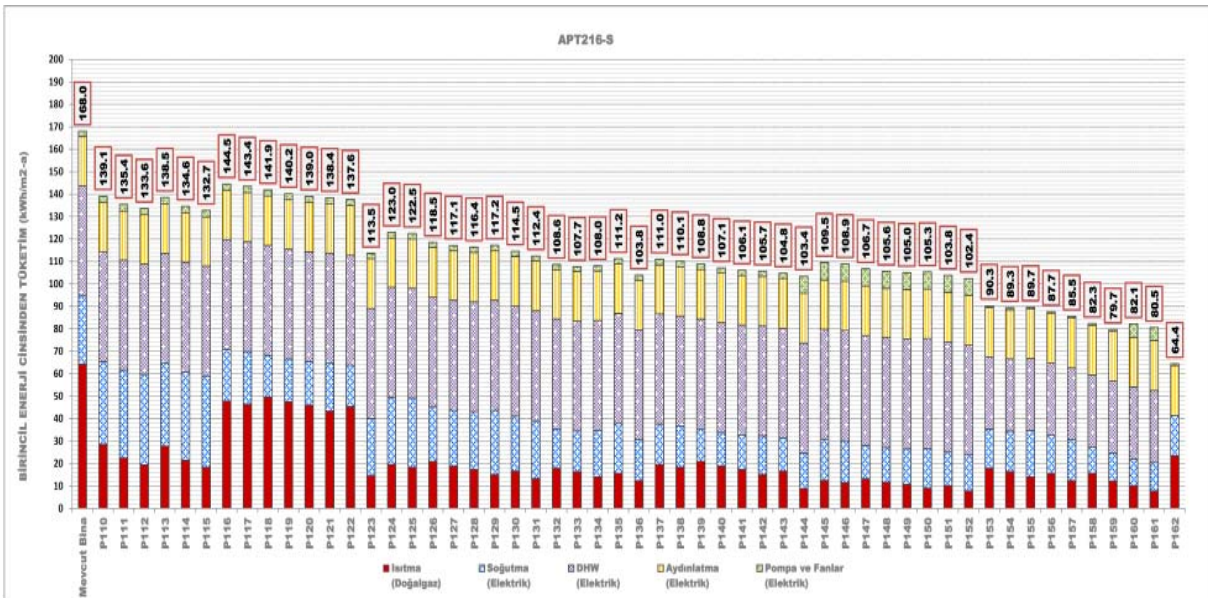


Şekil 1. Eskişehir Kocakır Ekolojik Yerleşme Planı

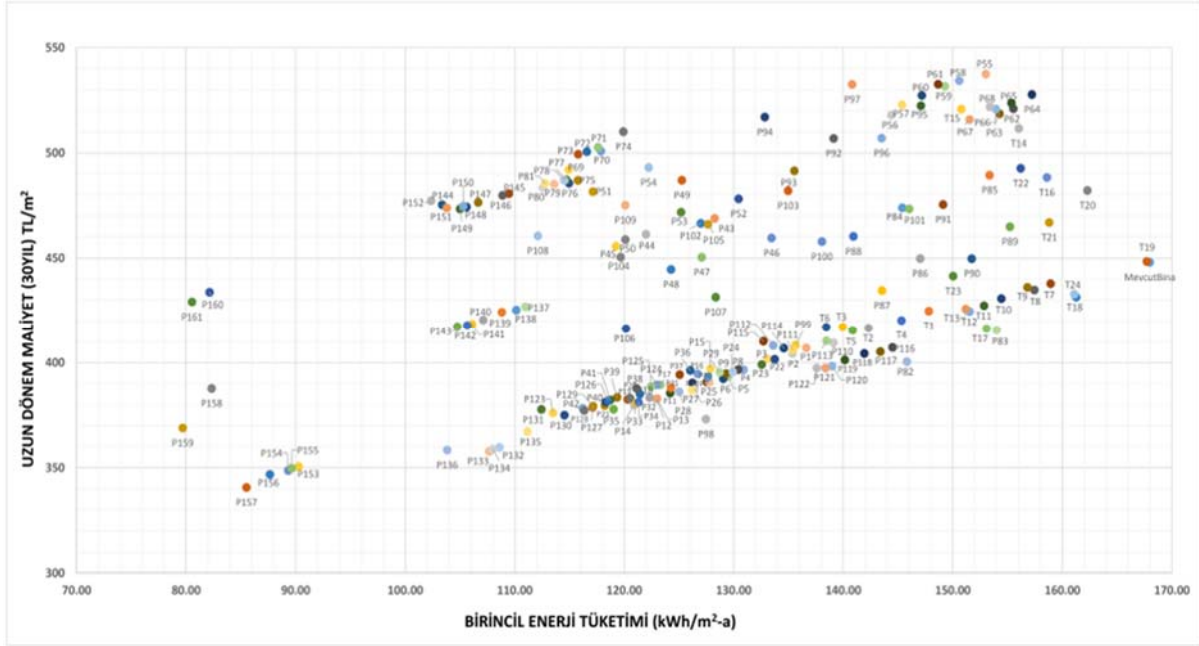
Eskişehir Kocakır yerleşmesindeki seçilen 9 bina tipi için bu binaların mimari, mekanik ve aydınlatma sistemlerinin;

- mevcut bina standartlarına ve yapı geleneklerine uygun olarak yapılması (referans durum),
- binanın ekonomik yaşam dönemi boyunca en düşük toplam maliyeti sağlayacak şekilde yapılması (maliyet optimum durum),
- yaklaşık sıfır enerji seviyesini sağlayacak şekilde yapılması (yaklaşık sıfır enerji durumu)

durumları için enerji tüketim seviyeleri, karbon salım miktarları, ilk yatırım ve toplam maliyetleri hesaplanmış ve örnek olarak bazı binaların sonuçları aşağıdaki şekil ve tablolarda verilmiştir.



Şekil 2. Bir Apartman Binası için Enerji Verimliliği İyileştirme Önlemlerinin Sonucu Enerji Tüketimleri



Şekil 2. Örnek Apartman Binası için Enerji Verimliliği İyileştirme Önlemleri ve Yaşam Dönemi Maliyetleri

Şekil 1 ve 2’de verilen örnek çalışmalar tüm bina tipolojileri için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bazı binalar için aşağıdaki Tablo1. de özetlenmiştir.

Tablo 1. Katta Dört Daireli Apartman Binası Enerji Tüketim, Karbon Salım ve Maliyet Değerleri

A. Referans Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	106.55
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	26.12
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	700.00
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	913.88 (575.87* + 338.01**)

B. Maliyet Optimum Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	55.55
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	13.77
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	710.85
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	831.16 (575.87* + 255.29**)

C. Yaklaşık Sıfır Enerji Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	27.62
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	6.67
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	792.13
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	856.39 (575.87* + 280.52**)

Tablo 2. Eğitim Binası Enerji Tüketim, Karbon Salım ve Maliyet Değerleri**A. Referans Bina Durumu**

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	92.31
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	23.68
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	750.00
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	919.37 (649.89* + 269.48**)

B. Maliyet Optimum Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	73.16
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	18.61
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	750.00
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	884.16 (649.89* + 234.27**)

C. Yaklaşık Sıfır Enerji Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	25.00
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	6.01
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	750.00
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	898.65 (649.89* + 248.76**)

Tablo 3. Ofis Binası Enerji Tüketim, Karbon Salım ve Maliyet Değerleri**A. Referans Bina Durumu**

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	172.65
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	44.39
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	700.00
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	1043.25 (561.22* + 482.03**)

B. Maliyet Optimum Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	96.65
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	24.89
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	681.50
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	877.72 (561.22* + 316.50**)

C. Yaklaşık Sıfır Enerji Bina Durumu

Birincil Enerji Tüketimi (kWh/m ² .yıl)	72.45
Karbon Salımı (Kg CO ₂ /m ² .yıl)	18.57
Yapım Maliyeti (TL/m ²)	729.78
Y.D. Toplam Maliyet (TL/m ²)	928.83 (561.22* + 367.61**)

Bu tablolarda * işaretli değerler;

*Bina enerji verimliliğini etkilemeyen inşaat kalemleri için sabit olan maliyet ve

**Bina enerji verimliliğini etkileyen inşaat kalemleri için yaşam dönemi toplam maliyettir.

Bu tablolardan görüldüğü gibi binanın fonksiyonuna bağlı olarak birim alan başına enerji tüketim seviyeleri değişmektedir. Enerji verimliliği iyileştirme çalışmaları göstermektedir ki; her bina tipi için iyileştirme önlemleri de farklılık göstermektedir. Yaklaşık sıfır enerji seviyesi için diğer iyileştirme önlemlerinin yanı sıra bina entegre güneş enerjisi sistemleri de önerilmiştir. Konut binaları için termal güneş panelleri ve elektrik üreten PV paneller önerilmiş, konut dışı binalar için ise sadece PV panel kullanımı öngörülmüştür. Bunun nedeni, termal panellerin bu bina tiplerinde enerji/ekonomi dengesindeki katkısının yetersiz olmasıdır.

Bu çalışmaların sonuçları göstermiştir ki; ekolojik yerleşme birimindeki binaların, şu an Türkiye'deki yapı gelenekleri ve standartlarına göre yapılması (referans bina) yerine, maliyet optimum ve yaklaşık sıfır enerji seviyelerini sağlayacak şekilde yapılması durumunda, yerleşme ölçeğinde bina kaynaklı karbon salımında çok önemli ölçüde azaltma yapılabilmektedir. Kentsel tasarım çalışmalarında belirlenmiş olan farklı bina tipleri için yaklaşık toplam inşaat alanının 3,350,000.- m² olacağı düşünülerek, tüm Kocakır Mevkii yerleşmesinin bina kaynaklı karbon salımı miktarları detaylı, dinamik enerji simülasyonlarının sonuçları olarak aşağıda verilmiştir.

- **Binaların referans bina standardında yapılması durumunda** yerleşmenin bina kaynaklı karbon salımı: **103,347,500.- kgCO₂/yıl olup m² başına “30.85 kgCO₂/m²-yıl”**dır.
- **Binaların maliyet optimum enerji verimliliği seviyesini sağlayacak şekilde yapılması durumunda** yerleşmenin bina kaynaklı karbon salımı: **66,363,500.- kgCO₂/yıl olup m² başına “19.81 kgCO₂/m²-yıl”**dır.
- **Binaların yaklaşık sıfır enerji seviyesini sağlayacak şekilde yapılması durumunda** yerleşmenin bina kaynaklı karbon salımı: **36,749,500.- kgCO₂/yıl olup m² başına “10.97 kgCO₂/m²-yıl”**dır.

Bu sonuçlar göstermektedir ki; ilk yatırım maliyetini çok artırmadan binaların çok daha enerji verimli olması ve **bölge bazında %35 ve %66 arası** çok önemli ölçüde bina kaynaklı karbon salımı azaltılması yapılabilmektedir. **Bu azaltma oranları, yerleşmenin tümünde sırasıyla yaklaşık olarak 36984 ton ve 66598 ton bina kaynaklı yıllık karbondioksit salımı azaltılmasına karşılık gelmektedir.**

Her bina için bina bazında yapılan bu enerji verimliliği çalışmalarından sonra, bölgesel ölçekte yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanılması için olası potansiyel irdelenmiş ve bölgesel ısıtma soğutma sistemlerinin de uygulanabilirlik açısından ön analizleri yapılmıştır. Öngörülen uygun yenilenebilir enerji (PV tarlası) ve bölgesel sistemlerin (birleşik ısı-güç sistemleri) kullanılması durumundaki bina enerji tüketim ve karbon salım seviyeleri yeniden hesaplanmıştır. Bölgenin enerji ihtiyacının bölgesel enerji sistemler ile karşılanması durumunda, enerji verimliliğinin ciddi oranda artmasıyla birlikte bina bazındaki iyileştirme oranlarının en az %20 kadar daha iyileşebileceği öngörülmektedir. Ayrıca bölgesel sistemlerin yenilenebilir kaynaklı yakıt kullanması durumunda karbon salımlarını neredeyse sıfırlamak da mümkün olabilecektir. Bu tür çalışmaların ülke bazında her iklim bölgesi için yapılması durumunda ülkenin enerjide dışarıya bağlı olmasından kaynaklanan cari açığın ciddi ölçüde azaltılması ve karbon salımındaki azalma nedeniyle de yerleşmelerdeki çevresel kalitenin de artması mümkün olacaktır.

Kocakır örnek yerleşmesinde, yukarıda özetlenen, kapsamlı bina enerji verimliliği çalışmalarının yanısıra her bina için, malzeme, su ve atıklar başta olmak üzere sosyo-ekonomik sürdürülebilirlik dahil tüm sürdürülebilirlik ölçütlerinin yerine getirilmiş olması için de çalışmalar yapılmıştır.

Yukarıdaki örnek çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, bina enerji performansını iyileştirmek için öncelikle referans binaların ve bu binalara ait mimari, mekanik, elektrik sistemi

referans değerlerinin belirlenmiş olması gerekir. Bu referans değerler iklim bölgesine göre değişebileceği gibi bina tipolojisine bağlı olarak da değişkenlik gösterebilir. Bina fonksiyonuna bağlı olarak da uygulanabilecek iyileştirme önlemleri binanın ısıtma/soğutma/aydınlatma enerjisi gereksinimlerinden hangisinin ağırlıklı olduğuna göre de farklı olacaktır

KAYNAKLAR

- [1] EPBD 2018. EU Energy Performance Directive for Buildings, 2018
- [2] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kentsel Dönüşüm ve Altyapı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun Kapsamında Ortak Hizmet Uygulaması- Eskişehir Kocakır Ekolojik Kent Projesi

ÖZGEÇMİŞ

A. Zerrin YILMAZ

1979 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi'nde görev yapmakta olan, 1983-1984 yılları arasında "Lawrence Berkeley Laboratory Passive Solar Group" ile çalışan ve 1993 yılından beri İTÜ de aynı birimde görevini profesör olarak sürdüren A. Zerrin Yılmaz Şubat 2019'da İTÜ'den emekli olmuştur. Enerji etkin tasarım, bina fiziği, yeşil bina, bina enerji simülasyonu ve enerji modelleme, iklimsel konfor, binalarda güneş enerjisi kullanımı ve yoğunlaşma kontrolü konularında ulusal ve uluslararası 100 den fazla yayını, ikisi halen devam etmekte olan ulusal ve uluslararası araştırmaları, yürüttüğü yüksek lisans ve doktora tezleri ve bu alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Binalarda enerji verimliliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı, bina enerji modelleme ve enerji etkin iyileştirme gibi alanlarda çeşitli ulusal ve AB projeleri dahil uluslararası projelerde çoğunlukla yönetici olarak yer almıştır. Bu alandaki CITYNET AB projesi Avrupa Komisyonu tarafından star projeler arasına alınmıştır. Binalarda Enerji Performansı hesaplama yöntemi araştırmasında BEP-TR hesaplama yönteminin net enerji hesaplama modülünü geliştiren grubun koordinatörlüğünü yapmıştır. Ayrıca, Türkiye için konutlara yönelik yeşil bina sertifikalandırma sisteminin oluşturulmasında, enerji verimliliği kredilerinin belirlenmesi ve farklı konut tipolojileri için referans binaların tanımlanması konusunda görev yapmıştır. EPBD-Recast kapsamında AB ülkelerinde Referans Bina çalışmaları yapmak üzere kurulmuş TASK-FORCE1 ekibinin Türkiye'den davetli üyesi olarak görev yapmıştır.



AKILLI EVLER

Smart Homes

Seçil Kızanlık İskender

ÖZET

Yeni dünya düzeninde ağırlıklı dijitalleşmeyi, teknolojik gelişmeleri konuşurken artık gündemimizde deprem, afet ve salgın üçlüsünden Covid-19 pandemisi en ön planda. Tüm düzenimizi alt üst eden pandemi, bütün dünyanın yaşam tarzını değiştirdi. Evden çalışma oranı yüksek seviyelere ulaştı, çocuklar evlerinde eğitim almaya başladılar. Halihazırda akıllı ev teknolojilerinin yaşamlarımızı değiştirecek teknolojilerin başında geldiği düşünülmekte iken talep eğrisi daha hızlı bir şekilde artmaya başladı.

Bu çalışmada, evlerimizi nasıl daha yaşanılır kılınabileceği ve bunun bize maliyeti incelenmiştir. İlk kısımda akıllı ev teknolojisinin ne olduğuna, bileşenlerine, teknolojik boyutuna ve üretim aşamalarına değindim. İkinci kısımda, bu teknolojilerin ve uygulamada tercih edilen yöntemlerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Örnek evler üzerinden maliyet analizleri yapılarak sayısal sonuçlar elde ettim. Son olarak, yapılan yatırımın tasarruf anlamında bize sağladıkları analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ev, Dijitalleşme, Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti, İletişim teknolojileri, Enerjinin Etkin Kullanımı

ABSTRACT

We have been discussing digitalism and the new technological developments in the new world scenario; pandemic Covid-19 has got the priority inbetween epidemics, earthquakes and disasters. All the world's lifestyle has been changed. Most of the people have started to work from home, home schooling is preferred in most of the countries. Smart home technologies have already been a trend, with the effect of pandemic, acceleration rate has been increased impetuously.

In this paper, ways to increase our home lifes' quality and its cost have been investigated. In the first part; I try to explain what smart home technology is and its components, technological extend, and manufacturing steps. In the second part; comparison of the technologies and manufacturing methods are analyzed. Cost analysis based on two different homes are included. Savings and earnings based on the smart home investment is the last part in the paper.

Key Words: Smart Homes, Digitalism, Artificial Intelligence, Internet of Things (IOT), Communication Technologies, Efficient Usage of Energy

1.GİRİŞ

Akıllı ev kavramı ilk defa resmi olarak 1984 yılında Amerikan Ev İnşacıları Derneği (American Association of House Builders) tarafından kullanılmıştır. Ama biraz daha geriye gidersek 1960'ların

başından itibaren meraklıları tarafından akıllı evlerin ilk temelleri olan “kablolu evler (wired homes)” geliştirilmeye başlanmıştır (Harper, 2003). [1]

Akıllı ev için zamanla değişen birçok farklı tanım getirilmiştir. Bu tanımlardan yararlanarak akıllı ev için bilgisayar ve iletişim teknolojilerini kullanarak bir merkezden kontrol edilebilen, birbirleriyle haberleşebilen, ilişki kurabilen ve kişilere daha tasarruflu, daha güvenli, daha konforlu, ihtiyaçlara cevap verebilen ve hayatı kolaylaştıran imkanlar sunan evler diyebiliriz.

Ülkemize ve tüm dünyaya bakarsak birçok kişi tarafından uzaktan erişilerek çeşitli aygıtların açılıp kapatılabildiği evler “akıllı” olarak nitelendirilmektedir. Bu, en basit bir kontrole sahip evin pazarlama amaçlı olarak müşterilere akıllı diye sunulmasında ileri gelmektedir. Araştırmacılar ise kişilere duyarlı ve onlara sofistike yollarla çözümler sunan, örneğin öğrenme algoritmaları kullanarak kişi davranışlarını öğrenen ve otomatik olarak ısıtma ve aydınlatma sistemini kontrol eden evleri “akıllı” olarak nitelendirmiştir (Mennicken, Vermeulen, & Huang, 2014). Son yıllarda akademik çalışmalarda geliştirilen akıllı evlerde kullanıcı davranışlarını takip ederek öğrenebilen ve zaman içerisinde otonom hareket edebilen, bu sayede evdeki konforu artırarak enerji tasarrufu da sağlayabilen sistemler ortaya çıkarılmıştır (Alam, Reaz, & Mohd Ali, 2012). [1]

Örnek olarak evimin kapısına vardığımda kapının benim müdahalem olmadan açıldığını, ortamın sıcaklığının ve aydınlatmasının halihazırda benim konfor seviyemde olduğunu hayal ediyorum. Hatta daha da ileri giderek evde o anda tercih edeceğim müziğin çalmasını, buzdolabımın ise tercih ettiğim beslenme şekline göre dolu olmasını bekleyebilirim. Güvenlik ihtiyaçlarımı da giderdiğini düşünüyorum tabii ki. Son kullanıcıya değen kısımlardan söz ettik; buna göre bu evi akıllı ev sınıfına sokabiliriz. Özetle, bilimsel açıdan yaklaşırsak akıllı evi akıllı yapan beş farklı özelliğidir: Ağ bağlı olma, algılama (ses, görüntü), değerlendirebilme (analiz), uygulama (karar alma), öğrenebilme. Yani akıllı ev veri analizi yapar, ev sakinlerinin ihtiyaçları doğrultusunda çıkarımlar yapar ve çıkarımlara dayanarak karar alır.

2.AKILLI EV TEKNOLOJİSİ

Akıllı ev çözümlerinde, istediğimiz sonuçlara aslında otomatik kontrol devrelerinde bulunan temel bileşenler sayesinde ulaşır, devremizi tamamlarız. Evi kontrol ederken, sensörler ortam bilgisini kontrole iletir. Kontrolör programlandığı üzere aktüatörler aracılığı ile komut olur ve talebi karşılar.



Şekil 1 Akıllı Ev Bileşenleri [16]

2.1 Güvenlik & Kontrol

Maslow'un ihtiyaçlar piramidinde temel fizyolojik ihtiyaçlardan sonra güvenlik ihtiyacı gelir zira her insan kendi evinde kendini güvende hissetmek ister. Dolayısıyla bir akıllı evin olmazsa olmazı akıllı güvenlik sistemidir. Akıllı güvenlik sistemi; akıllı jalu ve panjurlar, alarm sistemi, kapı ve pencere



hareket sensörü, akıllı dedektörler, IP kamera, giriş kontrolü (dijital anahtar), akıllı kapı zili, duman alarmı ve hava kalitesi sensörünü kapsar. Fonksiyonlar ise:

- Dışarıdan eve müdahalelerin tespit edilmesi ve uyarı verilmesi, caydırmak için harekete geçilebilmesi
- Ev içerisinde yaşanan sorunları takip ederek tesisatçı vb. servis hizmetlerini doğrudan haberdar edebilmesi
- Bebeklerin gece ve gündüz takip edilmesi, çocukların okul sonrası çalışmalarına destek olması

2.2 İklimlendirme ve Aydınlatma, Enerji Kontrolü

Evimizde, konforumuz üzerinde en etkili olan iki faktör evin ısı ve aydınlatmasıdır. Ayrıca bu taleplerde kişilerin konfor tercihine göre çeşitlendirme yapılmak zorundadır. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan çözümler akıllı termostat, enerji yöneticisi, akıllı ısıtma ve soğutma kontrolü, akıllı sayaç, ısı kaynağı uzaktan izleme, akıllı aydınlatma olabilir. Örnek fonksiyonlar:

- Isıtma, aydınlatma, güç (elektrik) ve su sistemlerinin kontrol edilebilmesi ve takip edilebilmesi
- Bahçede bitkilerin sulama ve havuzun su seviyesini kontrol edebilmesi

2.3 Akıllı Eğlence & Bağlantı

Evimizde eğlenceli vakit geçirip, stresimizi atmak için teknolojiye bağımlı oldukça fazla seçenek var. Dolayısıyla akıllı bir evde eğlenceye dair de birçok opsiyon bulunmaktadır. Örneğin; odalara göre farklı ses yayını, akıllı TV sistemi, akıllı alıcı/yükseltici, akıllı priz, yönlendirici, amplifikatör, W-LAN çubukları. Örnek fonksiyonlar:

- Kişisel hesaplarınıza erişerek, e-posta ve sosyal ağlara ulaşabilmemiz sağlanır.
- Ev içerisinde TV ve ses sistemlerini kontrol edebiliriz.

2.4 Akıllı Sağlık

Zamanımızı çoğunu evde geçirdiğimiz düşünülürse hem önleyici tıp hem de iyileştirici tıp ve fiziksel aktivite anlamında başvurabileceğimizi akıllı sağlık çözümleri; kişisel bakım, kan basıncı izleme, fitness ve aktivite kaydedici, akıllı bebek monitörü, ilaç hatırlatıcı, hastalık aktivite izleme olabilir. Örnek fonksiyonlar:

- Bebekler ve çocuklar ile yaşlı ve özürli bireylerin takibini sağlayan sağlık sistemlerini,
- Sağlık durumu takip ederek acil durumlarda acil servise ulaşması
- Fitness aktivitelerinin takibi ve raporlanması

2.5 Akıllı Cihazlar

Beyaz eşya kapsamına giren kullandığımız her türlü makineyi de akıllı hale getirip en basitinden uzaktan kontrol edebiliriz: Akıllı diş macunu, akıllı çay ve kahve makinesi, akıllı klima, akıllı beyaz eşya, akıllı süpürge gibi. Örnek fonksiyonlar:

- Buzdolabı eksikleri takip ederek alışveriş yapabilir.
- Pişirme işlemlerine otomatize edilebilir
- Temizliği robotlara yaptırabiliriz.

3. AKILLI EV BİLGİSAYAR VE İLETİŞİM TEKNOLOJİLERİ [1]

Akıllı ev sistemlerinde; bileşenlerin birbirleri ile iletişim kurabilmesi ve uzaktan erişilebilir olması için farklı yöntemler ve teknolojiler kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze akıllı evlerin ev dışarısından da kontrol edilebilmesi için GPRS, SMS, internet teknolojileri kullanılmıştır. Emniyet olması açısından internet bağlantısının çökmesi durumunda ise alternatif olarak SMS ile sisteme müdahale edilebilmektedir.

Zaman zaman dünya çapındaki üreticiler ve hizmet sağlayıcılar (örneğin Apple, Amazon, Google, Samsung, Zigbee) bir araya gelip IP tabanlı açık bir protokol üzerinde karar vermeye çalışıyorlar. Bu amacın arkasındaki neden yeni akıllı ev cihazlarını kolayca kendi ağınıza bağlamak ve son kullanıcıların yeni alacakları ürünlerin akıllı ev sistemleri ile uyumlu mu kontrolüne gerek kalmamasıdır. Örneğin akıllı evinizde bir su kaçağı problemi var. Tüm boru ya da bağlantı parçası üreten hiçbir firma bağlantılı değil dolayısıyla birbirleri ile haberleşemiyor. Bağlantı parçalarının da farklı farklı firmaların üretimi olduğunu varsayalım. Şu durumda arıza için tek bir firma ile görüşmek zorundasınız ve doğru parçayı bulabilmek için belki defalarca mağazaya gitmek zorundasınız. Aynı şey akıllı ampulünüzü değiştirirken ya da akıllı termostatınıza kablo çekerken de başınıza gelebilir [2].

3.1 İletişim Teknolojileri

İnternet kullanımının artmasıyla birlikte tercih edilen değişik teknolojilerden kısaca bahsederseniz:

- Kablolü teknolojiler
- KNX, Ethernet, X10

KNX, ev ve bina otomasyonlarında kullanılan açık sistem bir standarttır. 2002 yılında Avrupa'da üç farklı protokol kullanan üreticilerin bunu standartlaştırma istemiyle ortaya çıkmıştır. KNX, bir yazılım ile bir akıllı ev otomasyon sistemi tasarlanmasına, görselleştirilmesine ve çalıştırılmasına olanak verir.

Ethernet, bilgisayar ağları (LAN) için kullanılan bir teknolojidir. Ethernet IEEE 802.3 olarak standartlaştırılmıştır. Özellikle bilgisayar kontrollü akıllı ev otomasyonlarında, yüksek bant genişliği gerektiren noktalarda kullanılmaktadır.

X10, akıllı evlerde kullanılan en popüler teknolojilerden biridir (Das, Cook, Bhattacharya, Heierman III, & Lin, 2003). Bu teknolojinin en büyük avantajı binada yer alan mevcut elektrik altyapısını kullanmasıdır. Ancak veri iletişim hızı 20bit/s'dir. Bu yüzden ancak çok düşük bant genişliği gerektiren işlemler için kullanılabilir.

- Kablosuz teknolojiler

Akıllı bina sistemlerinde bileşenlerin birbirleriyle kablosuz olarak iletişimi için mevcut duruma göre farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Wi-fi yüksek bant genişliğine sahip ancak yüksek enerji tüketen, genellikle binalarda ve açık alanlarda bireylerin internete bağlanmak için kullandığı bir iletişim teknolojisidir. Wi-fi IEEE 802.11 protokolüne bağlı olarak standartlaştırılmıştır.

- Wi-fi, bluetooth, low energy, ZigBee, Z-Wave, Ant

Tamamen wi-fi tabanlı bir akıllı ev geliştirilebilirken, wi-fi bağlantısı sadece belirli görevler için kullanılabilir. Örneğin cep telefonu ile wi-fi üzerinden evin kontrolünü sağlamak gibi.

Bluetooth, Ericsson firması tarafından 1994 yılında mobil cihazları birbirine kablosuz olarak bağlamak için RS-232'ye alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak Bluetooth geliştiricileri en son sürümünde bant genişliğini artırmak yerine enerji verimliliğine yönelmiş ve bağlantı hızını düşürerek (0,3 Mbps) güç tüketimini olabildiğince aşağıya çekmiştir. Bu Bluetooth sürümünün ismi Bluetooth Low Energy (BLE) olarak adlandırılmıştır.

Ev içerisinde yer alan ve sıcaklık, ışıklandırma vs. bileşenleri kontrol eden merkez bir kontrol aygıtı ile diğer birimler arasında kablolü iletişim sağlanabilir, merkez kontrol aygıtının dışarıdan (cep telefonu) kontrolünü ise kablosuz Bluetooth teknolojisiyle gerçekleştirilebilir.

ZigBee, küçük boyutlarda veri alışverişini gerçekleştiren, iletim hızı yavaş, maliyeti düşük, uygulanabilirliği ve genişletilmesi kolay, az güç tüketen bir kablosuz haberleşme teknolojisidir. ZigBee 802.15.4 protokolüne bağlı olarak standartlaştırılmıştır. Günümüzde akıllı bina otomasyon sistemlerinde kullanılan en popüler kablosuz iletişim teknolojisidir

Zigbee sağladığı avantajlar sayesinde aydınlatma, klimalar, prizler, elektrikli perdeler, ısıtma sistemleri, bahçe sulama ve güvenlik sistemlerini tek bir yerden birbirleri ile kablolar olmadan iletişime geçer ve tek bir yerden hepsini aynı anda kontrol edebilir ve uzaktan enerji izleme yöntemi ile elektrikten tasarruf edebilirsiniz. Ayrıca bu teknoloji evlerde kablo yığınlarının da önüne geçmektedir.

Z-Wave binalardaki elektrik/ elektronik cihazların birbirleri ve kullanıcılarla kablosuz ve kolayca haberleşmesine olanak sağlayan bir otomasyon standardıdır. Zigbee ve Z-Wave birbirine çok benzer özelliklere sahip olsa da Z-Wave kullanan tüm bileşenler aynı firma tarafından üretilen çipi kullandıkları için ZigBee'de karşılaşılan uyumluluk sorunları Z-Wave de yaşanmamaktadır.

Ant, ZigBee ve Bluetooth gibi 2.4 GHz ISM frekans bandında çalışmakta (birçok ülkede telsiz iletişimi için sertifika veya lisansa gerek olmadan belirli bir çıkış gücü sınırlamasına uyarak, üzerinden yayın yapılabilen banttır) olan bir sensör ağı teknolojisidir. Ticari akıllı ev sistemlerinde kullanılan teknolojilerden biridir.

3.2 Kullanıcı Kontrolü

Kullanıcılar, akıllı ev sistemlerini çok farklı şekillerde kontrol edilebilmektedir. İnternet üzerinden kontrol edilen sistemler, mobil aygıtlardan veya bilgisayarlardan takip edilmektedir. Kontrol işlemi için mobil aygıtlara yönelik özel yazılımlar geliştirilmekte veya web tabanlı ara yüzler hazırlanmaktadır. Bunların yanında ev içerisinde kontrol için çeşitli dokunmatik ekranlar ve uzaktan kumandalar geliştirilmektedir.

3.3 Yapay Zeka ve Algoritmalar

Son yıllardaki akademik çalışmalar sonucunda akıllı evler sadece kullanıcı kontrolüne göre işlem yapan sistemler olmaktan çıkarak kullanıcı davranışlarını öğrenen ve bu davranışlara göre otonom hareket eden sistemler haline gelmiştir.

Yapay sinir ağları (neural network), bulanık mantık (fuzzy logic), destek vektör makinaları (support vector machines) ve saklı markov model (hidden markov model) akademik çalışmalarda kullanılan yapay zeka algoritmalarıdır. Bu algoritmalar ile kullanıcının bir sonraki adımı tahmin edilebilmekte, ev içerisinde kullanıcı konumları takip edilmekte ve buna göre enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

4. Akıllı Ev Üretim Aşamaları [3]

Baştan sonra akıllı bir evin ortaya çıkış adımlarını sıralarsak:

- Mimari aşamada evin kontrol ve yazılım altyapısı hazırlanır.
- Evin yönetilebilir tüm alanları mimarlar ve akıllı yazılım uzmanları tarafından belirlenir.
- Evin yönetilebilir tüm alanlarına yazılım altyapısı entegre edilebilecek şekilde hazırlanır.
- Akıllı ev hizmetleri sunan şirket, altyapı entegrasyonlarını tamamlar.
- Evin sahiplerine özel API kodları ile hazırlanmış yönetilebilir bir uygulama hazırlar.
- Uygulama içerisinde olmayan ancak evde yönetilebilir olan tüm sistemler uygulamaya aktarılır.
- Evin içerisine tüm alanları akıllı olarak yönetebileceğiniz bir ekran yerleştirilir.
- Akıllı evlerde özellikle klimalar, beyaz eşyalar, perdeler, ışıklandırmalar, ısıtma ve soğutma sistemleri, uyumlu televizyonlar ve bilgisayarlar gibi tüm birimler uzaktan yönetilebilir.

5. Akıllı Ev Maliyet Analizi [4]

Akıllı evlerin geleceği de her alanda olduğu gibi maliyetlere ve talep edenlerin alım gücüne bağlı. Akıllı ev için yola çıktığında tercih edebileceğiniz beş farklı yol var ve bunların herbirinin kişiye maliyeti

farklıdır. İşçilik ve teknoloji maliyetine bağlı olarak ülkeden ülkeye de değişken olan bu yöntemlerden kısaca bahsedelim.

DIY (Do it yourself) Kendin Üret

Özellikle bazı raf ürünleri parça olarak monte edilir ve özel bir uygulama ile kontrol edilir. Kablosuz kameralar gibi örneklendirebileceğimiz bu ürünler son kullanıcı tarafından kurulabilse bile bu her zaman tahmin edildiği kadar kolay olmaz ve belli bir mertebeye kadar otomasyon bilgisine ihtiyaç duyulur.

DIFM (Do it for me) Benim için Üret

Piyasa bulunan bazı ürünleri, son kullanıcının monte etmesi mümkündür ama bir uzmandan destek alınması daha iyi sonuç verir. Örneğin akıllı evde en çok karşılaşılan akıllı termostatın çalışma garantisi için profesyonel montaj yapılması tavsiye edilmektedir.

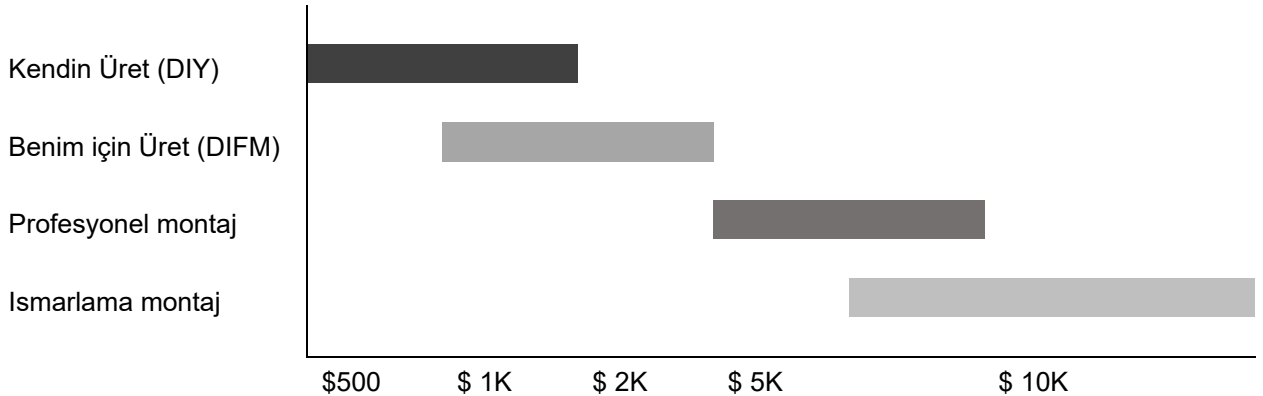
Profesyonel montaj

Tam entegre klima kontrolü veya akıllı bir güvenlik sistemini gibi özelliklere sahip birkaç sistemin kurulumu için kalifiye birinden hizmet alınmaktadır. Bir akıllı ev uzmanı size bütün proses boyunca rehberlik edecek ve evinize en uygun sistemi önerecektir.

İsmarlama montaj

Değişik iklim özelliklerine ya da özel teknolojik gereksinimlere sahip mülkler için, derin tecrübeye sahip akıllı ev firması seçilirse hem inşaatla hem iç dizayna uygun projeye özel çözümlere ulaşılabılır.

Aşağıda, referans olması için bu dört yöntemin maliyet karşılaştırmasını bulabilirsiniz. Maliyetlerin sonraki bölümde bahsedilen apartman dairesine daha yakın olduğunu iletmek elzemdir. Çünkü, özellikle bazı kalemler, örneğin tercih edilecek akıllı eğlence sistemi tüm hesaplamaları alt üst edecek büyüklükte olabilir.



Şekil 2 Tek katlı bir apartman dairesi örneğinin tercih edilen yöntemlere göre yaklaşık ortalama maliyeti

5.1 Proje Maliyet Dağılımı

Tasarım

Akıllı ev tasarlanırken bu konuda tecrübeli bir tasarımcıdan destek alınmalıdır. Kaçınılmaması gereken bu maliyet, kurulum aşamasında ve proje bittikten sonra çıkabilecek kritik problemleri engeller.

Montaj

İşçilik maliyeti ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişmekle beraber proje maliyetinin yaklaşık %20-%50 si arasında olur. Profesyonel olarak yapılan bir montaj geleceğe hazır verimli, güvenli ve

uzun ömürlüdür. Bu maliyet sadece fiziksel montajı kapsamaz, montaj öncesi maliyetler ve mühendislik hizmetleri bu tutara dahildir. Birçok inşaat projesinde olduğu gibi, büyük bir akıllı evin montaj maliyeti malzeme maliyetine göre göreceli olarak düşük kalacaktır.

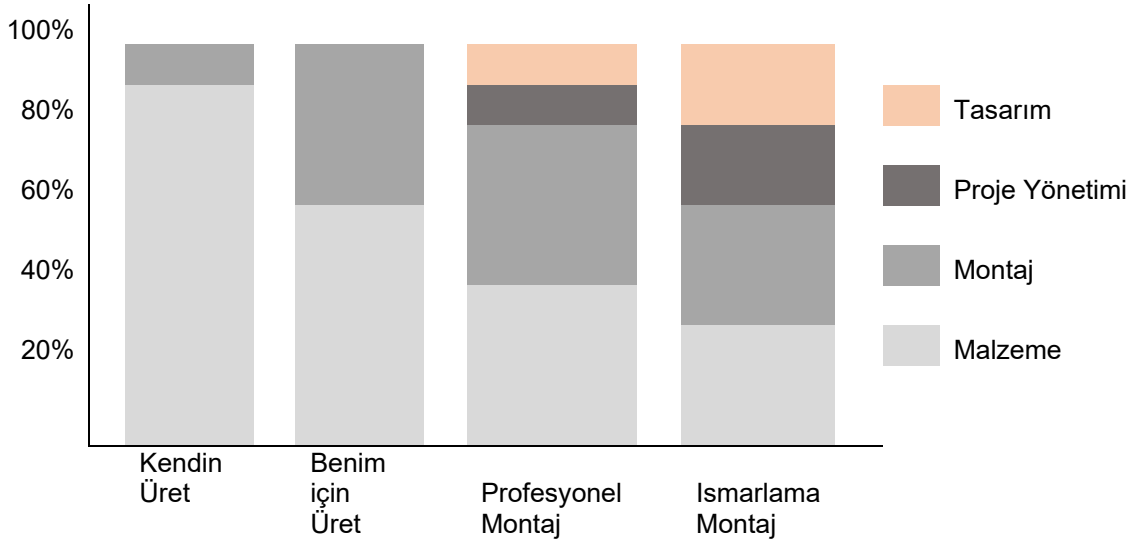
Malzeme

Küçük akıllı ev projelerinde, özellikle kendin üret (DIY) yöntemi tercih edilirse, ekipmanların maliyeti en yüksek kalem olacaktır. Projenin kapsamı büyüdükçe, ekipman maliyeti en büyük değişken olur. Örneğin kabloları çoklu pakette sipariş etmek mümkündür, dolayısıyla birim maliyet düşer ama maliyetin tümü tasarım aşamasında tanımlanan ürüne ve onun fonksiyonelliğine bağlıdır.

Proje Yönetimi

Profesyonel montajda, proje müdürü prosesin tamamını öngörür ve herşeyin yolunda gitmesini sağlar. Büyük ya da ismarlama montaj olan akıllı ev projelerinde özellikle çok fazla çözüm ortağı varsa proje müdürünün konuya her gün müdahale emesi gerekebilir. Bu tarz projelerde sıklıkla daha tecrübeli bir ekip bulunur ve montajın yolunda gitmesini garantiler.

Projenizin büyüklüğüne ve ne kadar üçüncü parti ihtiyacı olacağına bağlı olarak, maliyetler çok fazla değişkenlik gösterir. Aşağıda fikir vermesi adına yapılmış bir bütçe rehberi bulunmaktadır:



Şekil 3 Maliyet kalemlerin toplam bütçedeki yaklaşık yüzdesi

5.2 Maliyet Analizi Örneği

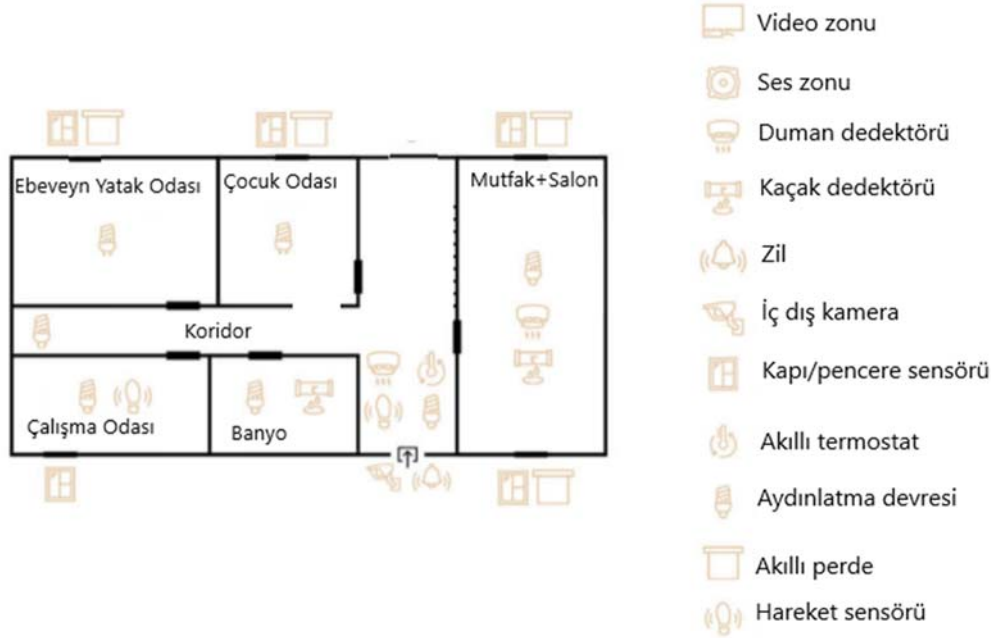
Aslında evin fiyatına orantıladığımız zaman akıllı ev sistem maliyeti oldukça düşük kalır ama tabii ki talep edilen sistemle doğru orantılı olarak artar. Bir apartman dairesi, akıllı güvenlik için daha az çözüme ihtiyaç duyarken, geniş ve bahçeli bir evin ihtiyaç listesi çok daha fazla olacaktır. Örneğin evdeki kat sayısı, ne kadar alarm ve sensör kullanılacağını belirler.

Odaların ve ev ahalisinin sayısı, ses ve video zon sayısını doğru orantılı olarak etkiler. Bir çift, dört çocuklu bir aileye göre daha az oda kullanır. Küçük yaştaki çocuğun odasında TV ihtiyacı, bir ergeninkinden farklıdır.

Son olarak, evin mimarisi ve büyüklüğü ne kadar aydınlatma devresi kullanılacağını ya da ısıtma zonu olacağını belirler.

5.2.1 Tek katlı bir apartman dairesi

Bu örnekte, küçük bir aile için mütevazı bir sistemi değerlendiriyoruz. Apartman dairesi olmasına rağmen alçak katta olduğunu varsayarak pencerelere de güvenlik sistemi uygulaması talebi var. İletişim için GPRS kullanılıyor.



Şekil 4 Apartman Dairesi Örneği

5.2.1.1 Akıllı Güvenlik

5 adet pencere, 1 adet kapı izinsiz giriş kontrolü, 2 su kaçağı dedektörü, 1 gaz dedektörü

Tablo 1 Akıllı Ev Örneği Güvenlik Sistemi Maliyeti

Toplam Kurulum Maliyeti	40 USD
Aylık Ödeme	40 USD/ay
Opsiyonlar	Akıllı zil 10 USD/ay (Uzaktan kontrol, internet gerekiyor) Akıllı kilit 10 USD/ay (Uzaktan kontrol, internet gerekmiyor)

5.2.1.2 Kamera sistemi

Talep edilen sistemde IP sistemli kayıt cihazı ele geçirilebileceği için ortamda bulunmuyor, servis sağlayıcı bizim adımıza bulut hesabı kiralayıp ödemesini kendisi yapıyor. Özel alana izinsiz giriş olursa hareket dedektöründen bildirim alınıyor. 5 kullanıcının izlemesi mümkün, kayıtlar 14 gün tutuluyor.

Tek kamera olursa 30 USD/ay, sonrakiler için 6 USD/ay ödemesi mevcut. Kurulum ücreti alınmıyor. 5 kamera ihtiyacımız var, toplam aylık ödeme 54 USD/ay.

5.2.1.3 Konfor

Akıllı perdeler, ihtiyaca göre otomatik olarak aşağı yukarı hareket etmektedir. Yaz aylarında evin soğutulması, kışın ise gün ışığının eve girebilmesi amaçlı hareket eder.

Evin aydınlatma kontrol sistemi enerji tasarrufu sağlar ve tüm evin ışıklarını tek hareketle kapatmayı mümkün kılar. Çoklu ısıtma zonu gündüz alt kattaki odaları sıcak tutar ama gece ev ahalisi uyurken ısıtmayı durdurup enerji tasarruf sağlar.

Isıtma soğutma, aydınlatma ve perdeler için sesli komut, zaman bağlı otomasyon gibi özelliklere sahip akıllı çözümler kullanmamız durumunda her mahalde çözümlerin olacağını öngörürsek mahal başına yaklaşık 500 USD bir maliyet olacaktır.

5.2.1.4 Eğlence

Her ne kadar ev eğlence sistemi zonu oturma odasında da olsa, ebeveyn yatak odasında ve büyük çocuğun odasında film izlemek için televizyon bulunmaktadır. Eskiden bu sistemler için kablo altyapısı gerektiğinden bir maliyet yükü oluyordu ancak şimdi bu ihtiyaçlar kablosuz veya bluetooth ile çözülebiliyor. Dolayısı ile bir maliyet kalemi olarak düşünmüyoruz.

Çok geniş seçenekler arasından bir müzik sistemi tercih edilebilir. Bu sayede evin her yerinde istenen müziği dinleyebilme imkanı mevcuttur. Eve göre tasarlanmış ses yalıtımlı ev sinema sistemi, gelişmiş 4K UHD projeksiyon sistemi ve akustik olarak 3D ses kurulumu diğer tercih edilebilecek pahalı sistemlerdir.

5.2.1.4.5 Toplam Maliyet

Sonuç olarak güvenlik ve kamera sistemi için aylık abonelik sistemine ihtiyaç duyulduğundan yatırım maliyeti anlamında çok düşük bir tutar talep edilmektedir. Konfor malzeme maliyetleri yatırım analizi kısmında en büyük kalemi oluşturmaktadır. Aparman dairemiz için yaklaşık 3000 USD.

Eğlence tarafı çok talebe bağlı olduğu için akıllı ev sisteminin dışında değerlendirilmesi mantıklı görünüyor.

Elektrik hattı, güç koruması, internet ağı da analiz yapılırken dikkate alınması gereken ayrı kalemlerdir. Bunlar için de 500 USD gibi bir tutar öngörelim.

Tablo 2 Akıllı Ev Örneği Toplam Maliyet

Konfor	3000 USD
Güvenlik	40 USD
Diğer Kalemler (Elektrik hattı, güç koruması, internet ağı)	500 USD
Toplam Maliyet	3450 USD

Tablo 3 Akıllı Ev Örneği Aylık Ödeme

Akıllı Güvenlik	60 USD/ay
Akıllı Zil	10 USD/ay
Akıllı Kilit	10 USD/ay
Kamera Sistemi	54 USD/ay
Toplam Aylık Ödeme	134 USD/ay

5.2.2 Geniş aile akıllı ev örneği:

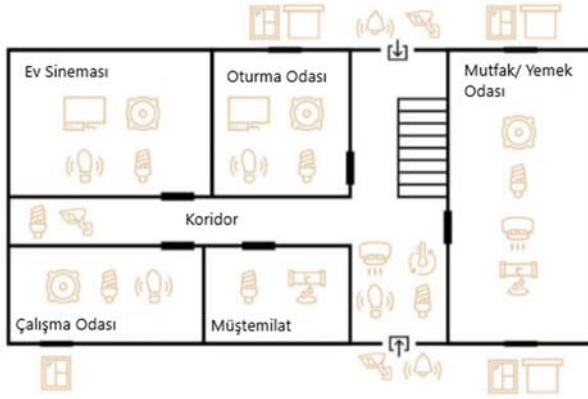
İkinci örneğimiz ise iki katlı bir villa olsun. Talep edilen sistemi bir öncekinin çok benzeri ama mahal sayıları daha fazla:

Birinci Kat



-  Video zonu
-  Ses zonu
-  Duman dedektörü
-  Kaçak dedektörü
-  Zil
-  İç dış kamera
-  Kapı/pencere sensörü
-  Akıllı termostat
-  Aydınlatma devresi
-  Akıllı perde
-  Hareket sensörü

Zemin Kat



Şekil 5 Villa Örneği

5.2.2.1 Toplam Maliyet

Binanın yaklaşık iki kat büyüklüğünde olduğunu kabulünü yaparsak yatırım ve işletme maliyeti olarak kafamızda daha net bir karşılaştırma yapabiliriz. Müstakil bir ev olduğu için iki dış ortam çıkışı mevcut, iç ortam kamera sayısı da mahal sayısı ile orantılı olarak daha fazla. Aşağıdaki hesaplamalardan görüleceği üzere özellikle yatırım maliyeti kısmında bina büyüklüğüne bağlı olarak ciddi fark ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4 Villa Örneği Aylık Ödeme

Konfor	6000 USD
Güvenlik	80 USD
Diğer Kalemler (Elektrik hattı, güç koruması, internet ağı)	500 USD
Toplam Maliyet	6580 USD

Tablo 5 Villa Örneği Toplam Maliyet

Akıllı Güvenlik	60 USD/ay
Akıllı Zil	10 USD/ay
Akıllı Kilit	10 USD/ay
Kamera Sistemi (10 adet)	84 USD/ay
Toplam Aylık Ödeme	164 USD/ay

6. Akıllı Evde Enerjinin Etkin Kullanımı

Her geçen gün daha fazla enerji harcamaya ve kaynaklarımızı tüketmeye devam ediyoruz. Bu konuda daha bilinçli bir şekilde hareket etmezsek enerji kaynaklarımızın tükenmesi ile hem ülkemiz hem de dünya hiç de istemediğimiz sonuçlarla karşılaşacağız. Konut tarafından bakarsak örneğin İngiltere'de primer enerji kullanımının %30-40'ı evlerde tüketilmektedir [14]. Primer enerjiden kastedtiğimiz elektrik ve ısıtma için harcadığımız enerjidir. Öte yandan akıllı evler, tasarruf açısından başarılı olan otomasyon sistemleridir. Gerek aydınlatma gerek de ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketimini takip etmeye ve tasarrufta bulunmaya olanak sağlar.

Akıllı ev sistemleri, enerji tasarrufunun yanında güvenliğinizi ve konforunuzu da düşünür. Buna en güzel örneklerden biri de akıllı prizlerdir. Akıllı prizler sayesinde, "Ütüyü fişte mi unuttum?" gibi telaşlarla uğraşmanıza gerek kalmaz. Yine akıllı telefonunuz üzerinden prizi kapatabilirsiniz. Ya da akıllı bir bulaşık makinesinin çalışma zamanını telefonunuz ile kontrol edebilirsiniz.

6.1 Akıllı Aydınlatma

Akıllı aydınlatma teknolojisi; programlanabilmesi ve uzaktan kontrol edilebilmesi nedeniyle hem rahatlık hem de tasarruflu bir kullanım sunmaktadır. Akıllı aydınlatma sistemi, siz uyurken ihtiyacınız olmayan ışıkları tek bir noktadan kapatarak ve otomatize ederek size tasarruf sağlıyor. Örneğin sensör sistemine de sahip ampuller, ışığa ihtiyaç duyulan ve duyulmayan alanları rahatlıkla tespit edip gereksiz elektrik kullanımının önüne geçiyor.

Carbon Trust'a göre, bir kişinin odada olup olmadığını tespit edebilen doluluk sensörleri enerji kullanımını yüzde 30 oranında azaltabilir. Gün ışığı sensörleri daha da verimlidir ve kullanımınızı yüzde 40'a kadar düşürebilir [11].

6.2 Akıllı İklimlendirme

Uzmanların yaptıkları araştırmaların sonuçları göstermiştir ki; konutlardaki en fazla enerji tüketimi ısıtma ve soğutma sistemlerinde olmaktadır. Akıllı telefonunuzdan yönetebileceğiniz akıllı kombiler, koşullara uygun olarak tasarruflu ayarlamalar yapmaktadır. Örneğin, siz evde yokken sıcaklığı eve geldiğinizde yeniden kolayca ısıtabileceğiniz bir dereceye düşürüyor. Böylelikle hem çevremiz hem de doğal gaz faturanız için enerji tasarrufu yapmış oluyorsunuz.

Bunu yapan oda termostatları, evlerimizi istediğimiz sıcaklığa getirebilmek ve belirli seviyede sabit tutmak için kombilerimizin gerektiği kadar çalışmasını sağlamaktadır. Bu sayede, hem evlerimiz değişen dış hava koşullarına göre konforlu hissettiğimiz sabit bir sıcaklıkta tutulmuş olur, hem de kombileri gerektiği kadar çalıştırdığı için doğalgazdan ve elektrikten tasarruf sağlanmış olur.

Akıllı termostatlar size düzenli olarak enerji kullanım raporları gönderebilir ve hatta geçmiş verileri kontrol etmeniz için grafikler oluşturabilir. Kanada Küresel Haberlerine göre, tüm bu işlevler, tüm bu işlevler enerji faturalarınızda yaklaşık yüzde 15 tasarruf sağlamaktadır. [11]

Ayrıca termostatik radyatör vanası ile her odada ısı kontrolü ve dolayısıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Soğutma sistemleri de termostat kontrolleri ile daha verimli hale getirilir. Mesela eve gitmeden klimanızı istediğiniz dereceye ayarlayabilir ve eve ayak bastığınız anda istediğiniz ısıda bir ortama kavuşabilir, klimayı evden çıkarken açık unuttuğunuzda yine telefonunuz üzerinden kapatarak gereksiz kullanımının önüne geçebilirsiniz.

6.3 Akıllı Cihazlar

Yaşam kalitenizi iyileştirmesinin yanında ciddi derecede tasarruf sunan akıllı ev özelliklerinden en önemlisi de akıllı beyaz eşyalardır. Akıllı evler sayesinde aslında hayatımızın tam merkezinde yer alan interneti kullanarak beyaz eşyalarınızı cep telefonunuzdan kontrol edebilirsiniz.

Kimi buzdolapları, kapı açık bırakıldığında size mobil bildirimler gönderir ve örneğin dondurucuda buz olup olmadığını veya sıcaklığı kontrol etmenizi sağlayan bir uygulama ile entegre edilmiştir. Google Asistan'a bağlarsanız daha da akıllı hale gelebilir.

Akıllı çamaşır makinesi, kullanıcıların giysileri temizlemek için gereken ılık su miktarını azaltmalarını sağlayan teknolojilere sahip olabilir. Çamaşır ağırlığına göre çalışma süresi belirleyebilir. Başka bir deyişle, hem su hem de ısıtma maliyetlerinden tasarruf edebilir. Akıllı özellikler Wi-Fi ve mobil uygulama tarafından desteklenir ve kullanıcıların telefonlarını kullanarak büyük işlevleri kontrol etmelerine yardımcı olur.

Ülkemizde hamam kültürü yaygın olduğundan dolayı duşta çok zaman geçirilir, aynı zamanda yüksek enerji kullanılır. Bu nedenle akıllı duş başlıkları tarafımıza ciddi enerji tasarrufu sağlar. Bu tür cihazlar, duşta harcamak istediğiniz zamanı ayarlamana olanak tanır ve musluğu kapatmanın zamanı geldiğini size söyleyecektir.

Kimi araştırmalara göre duş zaman sınırlayıcıları su tasarrufunuzu yüzde 50'ye kadar artırabilir. Akıllı zamanlayıcılar ile bir yıl içinde faturalarınızda yüzde 20'ye kadar tasarruf edebilir ve bu da olağanüstü geri ödeme süresi anlamına gelir. [11]

6.4 Akıllı Perde ve Panjur Sistemleri

Akıllı evde tercih edebileceğiniz, akıllı perde ve panjurlar güneşin konumuna göre programlanacak ve ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin azaltılmasında size katkılar sunacaktır. Hava kararınca otomatik olarak kapanır, sabah güneş ışığı ile açılarak sizi uyandırır. Evden çıkarken tek tuş ile tümü kapanarak evinizi korumaya alır, rüzgar ve yağmur şiddetine göre sistem karar verip açılır veya kapanır. Arzu ederseniz tüm kontrolü kendiniz yapabilirsiniz elbette. Motorlu perde ve panjur sistemleri ile %3 civarı tasarruf elde edilebilmektedir.

Bir üreticinin özel tasarımı olan perdeler, güneş panellerinden oluşmaktadır, ve gerçek bir perde görevi görmektedir. Bu sistem güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviriyor, ve evinizdeki elektronik eşyalarınıza güç veriyor. Ürettiği elektriği aküde depoluyor ve televizyon, bilgisayar, aydınlatma, buzdolabı gibi cihazların çalışmasını sağlayarak tasarruf yapmanızı sağlıyor. 4 metrelik bir perde, günde 1,4 kWh elektrik üretebiliyor. Bu da buzdolabınızı 14 saat, televizyonunuzu 28 saat, 5 adet ampülünüzü 42 saat boyunca elektrik harcamadan kullanabileceğiniz anlamına geliyor. [15]

6.5 Akıllı Güç Bantları

Akıllı prizler veya akıllı güç çubukları, bekleme modundayken cihazlarınıza enerji katabilir, bu da gözden kaçan ancak önemli bir enerji tasarrufu aracıdır.

Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı (LBNL) tarafından bildirildiği üzere, bekleme modu konut elektrik kullanımının yüzde 10'unu oluşturmaktadır. Akıllı bir uzatma kablosu, evde bu sessiz, enerji tüketen işlevi engelleyerek faturalarınızı önemli ölçüde azaltmanıza yardımcı olacaktır. Cihazların fişini çekmek konusunda endişelenmenize gerek kalmaz. [11]

6.6 Enerji Monitörleri

Enerji monitörleri de ev otomasyonu ile değişim geçirdi. Bu aletler kullanıcılara enerji kullanımları ve ev etkinlikleri hakkında bilgi verebilir. Yaşam alanlarınıza dahil ettiğiniz akıllı otomasyonu sisteminde, artık kullandığınız her bir elektronik cihazın ne kadar elektrik tükettiğini, nerede olursanız olun, anlık olarak takibi ile birlikte analizini yapabilir ve raporunu alabilirsiniz. Örneğin, güneş enerjisiyle çalışan bir sisteminiz varsa, elektrik tüketimine karşı güneş üretimini bile ölçebilirler.

Mobil entegrasyon sayesinde, hangi cihazların size daha fazla paraya mal olduğu ve ilgili raporlar dahil olmak üzere telefonunuzdan enerji kullanımı ile ilgili her şeyi izleyebilirsiniz. DIY projeleri tercih ediliyorsa açık kaynak seçenekleri bile vardır. Birçok tüketici modüler Raspberry Pi bilgisayarları kullanarak kendi akıllı enerji monitörlerini yaratmıştır. [11]

7. Akıllı Evlerin Geleceği

Dünyadaki pazar büyüklüğüne bakarsak: "2018 yılına kadar küresel akıllı ev pazarının değeri 36 milyar dolardı ve 2023 yılına kadar 151 milyar dolara ulaşması bekleniyor. Google holding şirketi Alphabet'e air bir şirket tarafından üretilen ve daha sonra 2018'de Google ile birleştirilen Nest termostatu Aware Home'da hayal edilen birçok şeyi yapar. Kullanımları ve çevresi hakkında veri toplar. Ev sakinlerinin davranışlarını öğrenmek için hareket sensörleri kullanır ve birtakım hesaplamalar yapar, diğer bağlı ürünlerden veri toplayabilir. Google ile birleşmenin bir sonucu olarak, termostat, Google'ın yapay zeka yetenekleri ile inşa edilecek" diyor Amerikalı yazar Zuboff dönem analizi yaparken. [5]

Akıllı ev pazarı tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de günden güne büyümektedir. Bu ilgi ve rağbet tüketici anketlerinde de görülmektedir. Yapılan çeşitli araştırmalara göre önümüzdeki 3 yıl içerisinde ev almayı planlayanların yaklaşık %30'u evlerinde akıllı ev ürünlerinin olmasını istiyor [6]. Bu ilginin %46 lık bir kısmında akıllı güvenlik ön plan çıkıyor. Geri kalan %54lük kısımda ise tasarruf, konfor ve eğlence var. Tabi bu oranlara ulaşılan istatistiklerde akıllı ev denince tam olarak ne kastedildiğini de detaylı incelemek gerekir.

SONUÇ

Geçmişten günümüze akıllı ev sistemleri incelendiğinde büyük bir gelişim görülmektedir. Geçmişte sadece ev içerisindeki lambalar yakılıp söndürülebilirken, günümüzde aydınlatma, ısıtma, enerji, güvenlik, sistemleri kontrol edilebilmekte, ev işleri yapılırken çocukların takibi yapılabilmekte, sosyal ağlarla etkileşime girerek ses ve TV sistemleri kontrol edilebilmektedir. Yaşlı, hasta ve engellilere yönelik sağlık takibi yapmakta gerektiğinde acil servislerle iletişime geçebilmektedir.

Yakın gelecekte yaygınlaşacak olan 5G teknolojisi ile sağlanan daha hızlı internet ultra HD ve video sistemlerinin gelişmesini sağlayacak, bu da akıllı evin önünü daha da açacaktır. Öte yandan hızla gelişen teknolojiyi takip ederken önümüzdeki veri hırsızlığı, kişisel verilerin izinsiz kullanılması gibi riskler de dikkate alınmalıdır. Ülkeler siber güvenlik konusunda çok hassas davranmalı gerekli aksiyonları almalıdırlar. Unutmayalım ki dünya kurulduğundan beri bulunan her yeni teknoloji, kullanan kişilerin niyetine bağlı olarak iyi ya da kötü amaca hizmet etmiştir ama bu teknolojik ilerlemeyi asla durduramamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.voltimum.com.tr/haberler/akilli-evler-islevleri-ve-akilli-evlerde> GÜNEŞ,Hüseyin; AKDAŞ, Davut
- [2]<https://www.theverge.com/2019/12/19/21028256/smart-home-standard-google-apple-amazon-alexa-siri-zigbee-choip>
- [3] <https://www.onlinesorgula.gen.tr/akilli-ev-nedir-ozellikleri-nelerdir>
- [4] <https://www.andrew-lucas.com/journal/how-much-should-i-spend-on-my-smart-home/>
- [5] Harvard Business Review Aralık 2020
- [6] <https://indigodergisi.com/2018/07/akilli-ev-otomasyon-sistemleri/>
- [7] <https://www.elektrikde.com/zigbee-akilli-ev-sistemleri-haberlesme-ag-protokolu/>
- [8] <https://www.wespeakiot.com/how-smart-homes-help-saving-energy/>
- [9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660518301264>
- [10] https://www.energystar.gov/products/smart_home_tips
- [11] <https://ioturkiye.com/2020/02/akilli-ev-gerçekten-enerji-tasarrufuna-yardimci-olabilir-mi/>
- [12] <https://www.engieevde.com/page/enerji-tasarrufu>
- [13] <https://www.isbank.com.re/blog/akilli-ev-sistemleri>
- [14] <https://www.thegreenage.co.uk/how-much-energy-does-my-home-use/>



- [15] <https://arikovani.com/blog/elektrik-ureten-akilli-perde-solar-curtain-hedefine-ulasti>
[16] "Akıllı Evler"; GENÇER, Sunay Honeywell
[17] Home Security Systems, Resideo

ÖZGEÇMİŞ

Seçil KIZANLIK İSKENDER

1982 Bursa doğumludur. 2004 yılında İÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği ve Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Daha sonra Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi konusunda yüksek lisans yapmıştır. 2004 yılından itibaren özel sektörde çeşitli yerli ve yabancı firmalarda satış, pazarlama, ürün yönetimi ve iş geliştirme konularında yöneticilik yapmıştır. Öncelikle Avrupa olmak üzere çeşitli coğrafi bölgelerde sorumluluk almıştır. Halen Resideo firmasında pazarlama alanında çalışmaktadır. Isıtma soğutma havalandırma sistemleri, otomasyon, dijitalleşme, enerji verimliliği konularında çalışmaktadır.

BİRİNCİL ENERJİ KULLANIMI SIFIR BİNALARIN ENERJİ ETKİNLİĞİ İÇİN DEĞERLENDİRME

Evaluation for the Energy Efficiency of Buildings with Zero Primary Energy Use

Ahmet Can

ÖZET

Geleceğe yönelik ve ekolojik şekilde yaşamak, enerji etkin birincil enerji kullanımı sıfır olan binaların ısıtmasındaki güncel gelişmeleri ve beraberindeki diğer unsurları sürekli önemli yapmaktadır.

Kışın ısıtma yazın klima uygulamaları ve sıcak kullanım suyu temini, değişik amaçlarla kullanılan elektrik enerjisi ile diğerleri bir binanın genel enerji gereksinimini belirler. Bunlardaki azaltma sadece bütçede yapılacak tasarruf ile gerçekleştirilemez. Isıtma ve soğutma enerjisi ev bütçesi yanında sera gazı olarak bilinen ayrıca küresel anlamda iklim değişikliğinde çok belirgin şekilde etkili olan karbondioksit salınımını da etkilemektedir. İklim krizinin etkilerinin son derece hızlı arttığı 2020 yılı itibariyle, maksimum değerini gören karbon salınımlarının azaltılması hükümetler, bireyler ve özel sektör için bir zorunluluk haline gelmiştir. Küresel sıcaklık artışını 2021 yılı sonunda 2 derece ile sınırlandırmayı ve mümkünse 1,5 derecenin altında tutmayı hedefleyen Paris Anlaşması 2015 yılında düzenlenen COP21 zirvesinde kabul edildi, 22 Nisan 2016 tarihinde imzalandı. Türkiye'nin 11 Ekim 2021 tarihinde 193. ülke olarak imzaladığı Paris anlaşmasına göre; her ülke, atmosfere attığı karbon dioksit emisyonlarını 1990 yılı değerlerini esas alarak 2030 yılında %50 oranında ve 2050 yılında da %100 oranında azaltacağını kabul etmiştir.

Bu çalışmada konu kapsamında en önce nelerin yapılacağı, mükemmel bir ısı yalıtımı ile karakterize edilen akıllı bir tasarımın unsurlarının neler olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bina ısıtma, enerji etkin bina, sıfır enerji evi

ABSTRACT

L Living in a future-oriented and ecological way makes current developments in the heating of buildings with zero energy-efficient primary energy use and other accompanying elements constantly important.

Heating in winter time and air conditioning applications in summer time and supply of hot water, electrical energy used for different purposes and others determine the general energy requirement of a building. The reduction in these expenses cannot be realized only with the savings for the budget. In addition to the household budget, heating and cooling energy also affects the emission of carbon dioxide, which is known as a greenhouse gas and is very effective in global climate change. When the effects of the climate crisis increase extremely rapidly with the year 2020, reducing carbon emissions, which see its maximum value, has become a necessity for governments, individuals and the private sector. The Paris Agreement, which aims to limit the global temperature increase to 2 degrees by the end of 2021 and to keep it below 1.5 degrees if possible, was accepted at the COP21 summit held in 2015 and signed on April 22, 2016. According to the Paris Agreement signed by Turkey as the 193rd country on October 11, 2021; All countries have accepted that each country will reduce its carbon dioxide emissions into the atmosphere by 50% in 2030 and 100% in 2050, based on 1990 values.

In the present study, what should be done first and what are the parameters of an intelligent design characterized by excellent thermal insulation are evaluated within the scope of the subject.

Key Words: Building heating, energy efficient building, zero energy house

1. GİRİŞ

Günümüzde telafisi zor bir düzeye ulaşmış küresel iklim değişikliğinin en önemli sebebi olarak karbondioksit emisyonları gösterilmektedir. Türkiye Paris anlaşmasını imzalamış dünyanın diğer ülkeleri gibi 2050 yılında Net Sıfır karbondioksit emisyonuna ulaşmayı hedeflemektedirler [1]. Avrupa Birliği 1990 yılına oranla 2030 yılına kadar karbondioksit emisyonu değerini en az yüzde elli beş azalma yönünde çalışmaları başlatmıştır. Sıfır Enerji Bina kavramı kapsamında çevresel ve ekonomik hassasiyetler, sadece devletlerin değil, tüm paydaşların farkındalığı ve bilgi aktarımı gerektirmektedir. Binaların enerji performansının iyileştirilmesi, fosil yakıtların kullanımının azaltılması, binaların ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin neden olduğu doğrudan ve dolaylı CO₂ emisyonlarının azaltılması, iç ortam kalitesinin iyileştirilmesi önemli hedeflerdir.

Bina kodlarının benimsenmesi ve uygulanması, daha verimli cihazların kullanılması, ısıtma ve soğutma enerji etkinliğini iyileştirmiştir. Türkiye'nin bazı bölgelerinin soğuk iklim kuşağında olması nedeniyle, taban alanı başına ısıtmanın enerji yoğunluğu hala yüksektir. Avrupa'daki bina enerji etkinliği yönetmelikleri ile uygulamalar, dünyanın diğer ülkelerine göre daha iyi olmasına rağmen, mevcut cihaz stokunun yaklaşık % 75'i bu tür uygulamalardan önceki tarihlerde tesis edilmiştir.

Kasım 2016 da ise Avrupa Parlamentosu "Bütün Avrupalılar için Temiz Enerji" paketini açıklamış ve bundan bir yıl sonra, üye ülkeler için binalarda enerji performansı direktifi EPBD'nin yeniden revize edilmesini kabul etmiş ve 17 Nisan 2018 de bu revizyonu onaylamıştır. Bununla, paydaşların ve Rehva'nın görüşleri doğrultusunda iç ortam kalitesinin güçlendirilmesi, düzgün bakım ve etkin denetlenme yapılması ve daha iddialı enerji verimliliği hedefleri konulması konuları ön plana çıkmıştır. Binaların karbondan arındırılmasını sağlayacak ulusal yol haritaları desteklenerek 2050 yılına kadar düşük ve sıfır emisyonlu bir bina stoku oluşturulacaktır.

Türkiye'de, 18/04/2007 tarihinde 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği çıkarılmıştır. Bunu takiben TS 825 standardı yenilemiş ve 5 Aralık 2008 tarihinde 27075 sayılı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikle kapsam dahilindeki binaların Enerji Kimlik Belgesi (EKB) alması yasal olarak zorunlu kılınmıştır. Binalara EKB verilebilmesi için binaların enerji performanslarının belirlenmesi gerekmektedir. Binalarda enerji performansı yönetmeliği, ısıtma, aydınlatma, soğutma, klima, havalandırma gibi her türlü enerji kullanımını, dış hava şartları ve yerel şartları, iç hava kalitesi ve maliyet etkinliği göz önüne alarak enerji tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Enerji kaynaklarının daha rasyonel kullanılmasını sağlamak amacıyla, enerji verimliliği teknolojilerinin ve yenilenebilir enerjinin hem yeni hem de mevcut binalarda dikkate alınması gerekmektedir. 07.12.2010 tarihinde "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YİG/2010-02)" ile binanın enerji tüketimine etki eden tüm parametreleri değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için bina enerji performansı "hesaplama yöntemi" yayınlanmıştır. BEP TR yazılımı bu amaçla hazırlanmıştır ve şu anda uygulanmaktadır.

Bir binanın enerji performansını yapılacak hesaplamalar oldukça önemli bir uğraştır. Öncelikle yüzey, hacim, ürün ve sistemlere ait veriler gibi birçok bilginin toplanması ve yazılıma tanıtılması gerekmektedir. Bu zorlu uğraş, zaman gerektirdiğinden çoğunlukla kabuller yapılarak basitleştirilir. Bu kapsamda, bölgeler tanımlanır, ısı köprüleri formüle edilir, sistemler için aslı yerine varsayılan değerler tanımlanır ya da özelliklerle ilgili veri tabanları kullanılır. Diğer taraftan bina bilgi modellemesi, "building information modelling" BIM, yaklaşımı uygulandığında, bu bilgiler modelin içinde yer aldığından; binanın enerji performansı kolaylıkla belirlenir. Sonuçta bina sistemlerinin davranışı değişik şartlar altında analiz edilir ve bina enerji performansı uygun değerine ulaşılır.

2. ATMOSFERDEKİ KARBONDİOKSİT ORANI VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Atmosferdeki karbondioksit oranı ppm birimi ile verilir, anlamı bir milyon parçacık içindeki karbondioksit taneciği sayısıdır. Sanayileşme öncesi 280 ppm düzeyinde olan bu değer son 800 bin yıldır 300 ppm seviyesini aşmamıştır. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu değerinin 350 ppm'in üstüne çıkması iklim değişikliği açısından güvenilir sınırın aşıldığı anlamı taşımaktadır.

ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi'ne bağlı olarak Havai'de faaliyet gösteren Mauna Loa İstasyonu tarafından 1958 yılının Mart ayında yapılan ölçümlerde 317,71 ppm olarak tespit edilmiştir. 350 ppm'lik güvenilir sınır aylık ortalama değer ilk defa 1988'in Ocak ayında ölçülen 350,39 ppm ile aşılmıştır. ABD Mauna Loa İstasyonu tarafından 2019 yılında yapılan ölçümlerde Atmosferdeki karbondioksit oranının 2019 yılı Ağustos ayı ortalaması bir yıl öncenin aynı dönemine göre 2,96 ppm artış ile 409,95 ppm olarak tespit edilmiştir. Atmosferdeki milyon parçacık içindeki karbondioksit oranı 12 Mayıs 2019 günü ilk defa 415 ppm seviyesini aşmıştır ve 415,27 ppm olarak ölçülmüştür. 15 Mayıs 2019 günü 415,64 ppm olarak kaydedilmiş değer ile artış eğilimi devam ettiği anlaşılmıştır.

Avrupa Birliği, KYOTO protokolüne göre karbondioksit yayılımını azaltmayı taahhüt etmiş ve ilk olarak 4 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe giren, "Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC) EPBD" ile Avrupa Birliği, üye ülkelerden kamu ve diğer binalar için enerji belgelendirme, sertifika sistemi oluşturmalarını istemiştir [2].

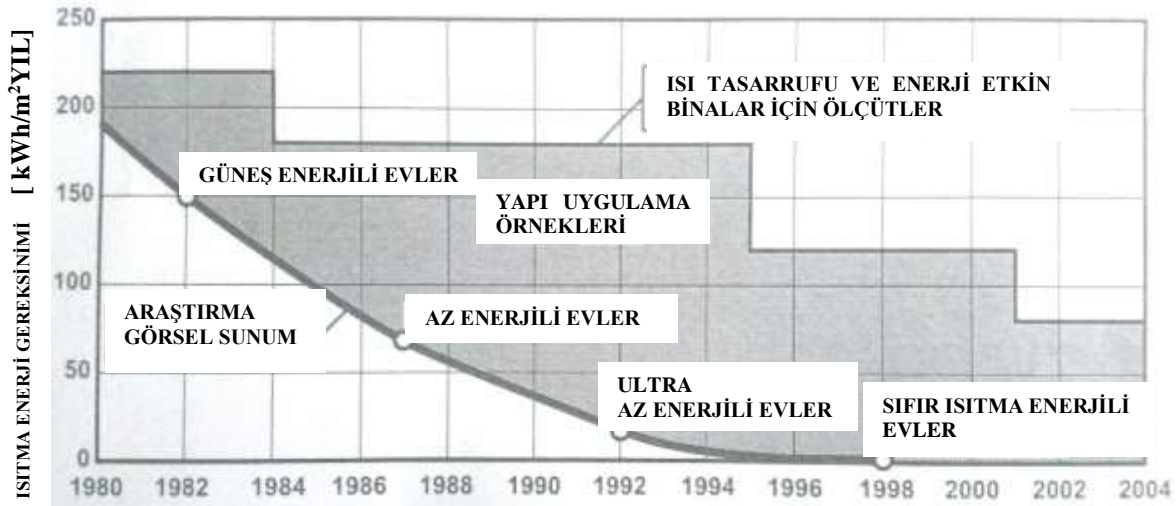
Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda, (Conference of the Parties, COP21) sera gazlarını sınırlayabilmek, küresel ısınmayı 2°C değerinin altına indirmek üzere 2015 de Paris Antlaşması yapılmıştır. Türkiye, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü'nü 1 Ekim 2015 de imzalamıştır. Ulusal Düzeyde Belirlenmiş Katkı Niyeti (Intended Nationally Determined Contributions, INDC) belgesinde, 2030 yılı itibariyle referans senaryoya göre sera gazı emisyon artışını %21 azaltmayı taahhüt etmiştir.

Avrupa Birliğinin 4 Ocak 2003 tarihinde Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC), EPBD yayınlaması ile Karbondioksit yayılımını azaltmaya yönelik ilk adım atılmıştır. Bu direktif, 2010 yılında yeni düzenleme ile (2010/31/EU) direktifi olarak yayınlanmış, bina kabuğunun yalıtım özelliklerine oldukça sıkı kısıtlamalar, üye ülkelere minimum enerji gereksinimi konusunda somut hedefler öngörülmüştür [3]. Bu kapsamda, farklı kullanım şekillerine göre "referans bina", binaların yaşam süreçlerini dikkate alan "optimum maliyet" ve "yaklaşık sıfır enerjili binalar" gibi kavramlar tanımlanmıştır.

3. BİNA ENERJİ GEREKSİNİMİ VE YILLAR İÇİNDEKİ DEĞİŞİM

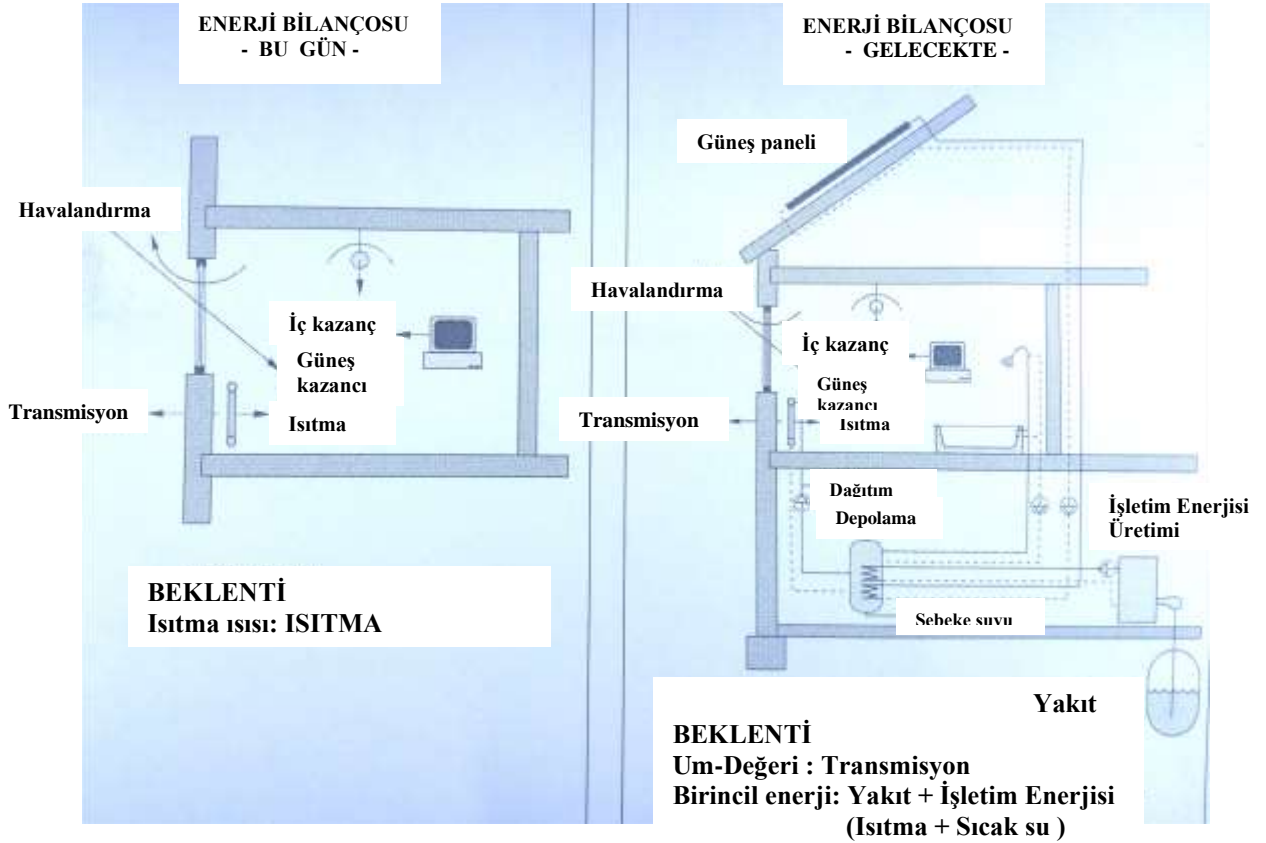
Günümüzde inşa edilen binaların enerji tüketimi inşaat ve ısıtma tesisat sektöründeki yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları ile daha önce inşa edilmiş binalardaki enerji gereksiniminin çok küçük bir oranına düşürmek mümkün olmuştur. Ulaşılmış ısıtma enerjisi gereksinimindeki azalma, Şekil 3.1'de yirmi yıllık süre için örnek proje uygulamaları ile gösterilmiştir.

Önceden yapılmış binalar ile karşılaştırıldığında, bugün yenilikçi yeni binalarda ısıtma ve su ısıtma için% 10'dan az enerji gereksinimi olduğu görülebilir. Ayrıca, düşük enerji gereksinimleri ile 3 litrelik evler olarak adlandırılan ultra düşük enerjili evler şu anda inşa edilmektedir ve kullanılmaktadır. Sözde sıfır ısıtmalı enerjili evler ise bundan bir adım daha önde bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Isıtma enerjisi gereksinimindeki yirmi yıldaki azalma [4]. GEÇMİŞ YILLAR

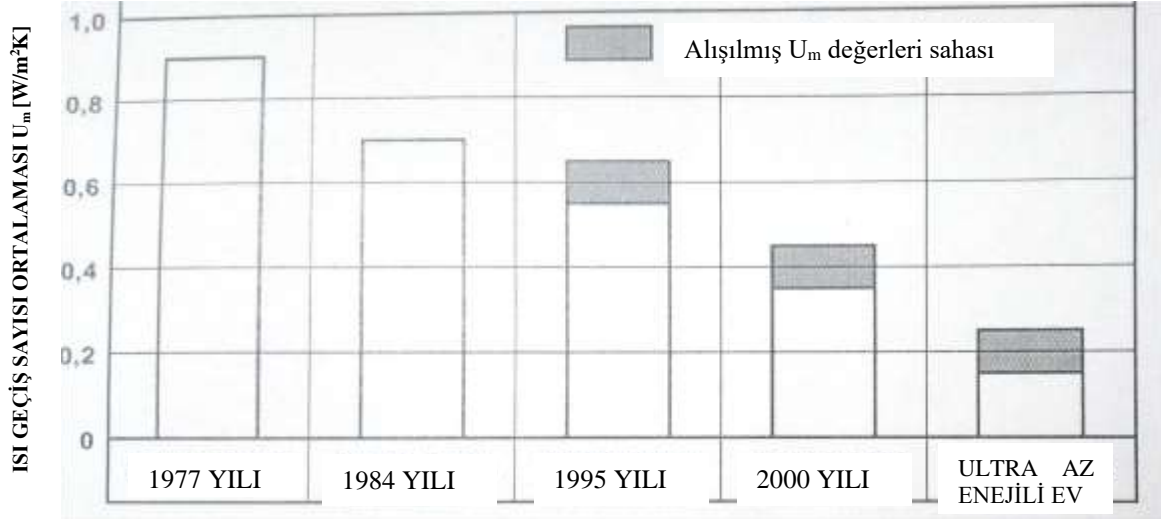
Bir yandan binaların kullanım iç hacimlerinin konfor koşullarına uygun ısıtılması ve kullanım sıcak suyu ısıtması için birincil enerji gereksinimlerini sınırlanırken diğer yandan da bina kabuğu ısı kayıplarının azaltılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına öncelik verilmektedir. Şekil 3.2. ile bu gün (önceki) ve gelecekte enerji bilançosunda göz önüne alınacak bölümler gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Binalar için enerji bilançosu unsurları ve beklentiler [4].

Aslında bir binanın ısıtma gereksinimlerini binaların yapısal ısı yalıtım bileşenlerinin kalitesi belirler. Bina ısı kayıplarının yaklaşık %50-75'i binanın dış kabuğundan gerçekleşen ısı kayıplarıdır. Isı yalıtımı yöntemiyle enerji etkin binalarda tasarruf potansiyeli yükseltilebilir. Bu nedenle ısıtma enerjisinde tasarrufta dış bileşenlerin doğru tespit edilmesi önemli en güvenilir ve sürdürülebilir önlemdir.

Hacim ısıtmasında, ısıtma hacminin dış ortamın sıcaklıklarında eşitlik söz konusu değildir. Termodinamik bilimi ısı geçişi esaslarına göre tasarımı yapılmış ve tesisatı gerçekleştirilmiş ısıtma tesisatı aracılığıyla, iç hacimden dış ortam çevreye geçen ısı geçişi miktarı kadar enerjiyi ısı enerjisi olarak iç ortama verilir. Bina ısıtma enerjisi belirlenmesinde, iç ortam ile dış ortam arasındaki sıcaklık farkı, ısı geçiş yüzeyi ve iç ortam ile dış ortamı ayıran bina elemanının ısı geçiş sayısı etkili büyüklüklerdir. Şekil 3.3'te 1977 yılından bu güne kadar hesaplamalarda göz önüne alınmış ısı geçiş sayıları ortalama değerleri ve bunların yıllar içinde değişimleri gösterilmiştir [4].



Şekil 3.3. Dış duvar ısı geçiş sayıları ortalama değerleri ve bunların yıllar içinde değişimleri

Bunun için kontrol hacmi kontrol yüzeyi ve bunu oluşturan elemanları etkili olan tüm unsurlar olarak ısı geçişi esaslarına göre en uygun değeri tespit etmek gerekir. Bu amaçla planlanmış ve çıkarılmış Bina Enerji Tasarrufu Yönetmeliğinde, binaların birincil enerji gereksinimlerine ek olarak ısı yalıtımı için gereklilikler ortaya konmuştur.

4. BİNA ENERJİ PERFORMANSI İLE İLGİLİ DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE STANDARTLAR

Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile, Avrupa'da mevcut ve yeni yapılacak binalarda düzenli bir denetim ve değerlendirme uygulaması gerçekleştirilerek, binalarda enerjinin daha verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Avrupa Birliğindeki 160 milyon binanın (Türkiye'de 8.5 milyon bina, %86'sı konut), Avrupa Birliğinin enerji talebinin % 40'lık bir bölümünü oluşturması (Türkiye'de %31) ve toplam karbondioksit yayılımının % 40'ına karşılık gelmesi nedeniyle binalarda enerji verimliliğinin sağlanması son derece büyük bir önem taşımaktadır.

Avrupa Birliği ayrıca, 17 Aralık 2008 de 20-20-20 Yenilenebilir Enerji Direktifi'ni kabul ederek önümüzdeki 10 yıl için iklim değişikliği hedefleri koymuştur [3].

Buna göre 2020'ye kadar;

*Sera gazları emisyonları, 1990 seviyesinden %20 azaltılacaktır,

*Enerji verimliliğinde yapılacak geliştirmelerle enerji tüketimi %20 azaltılacaktır,

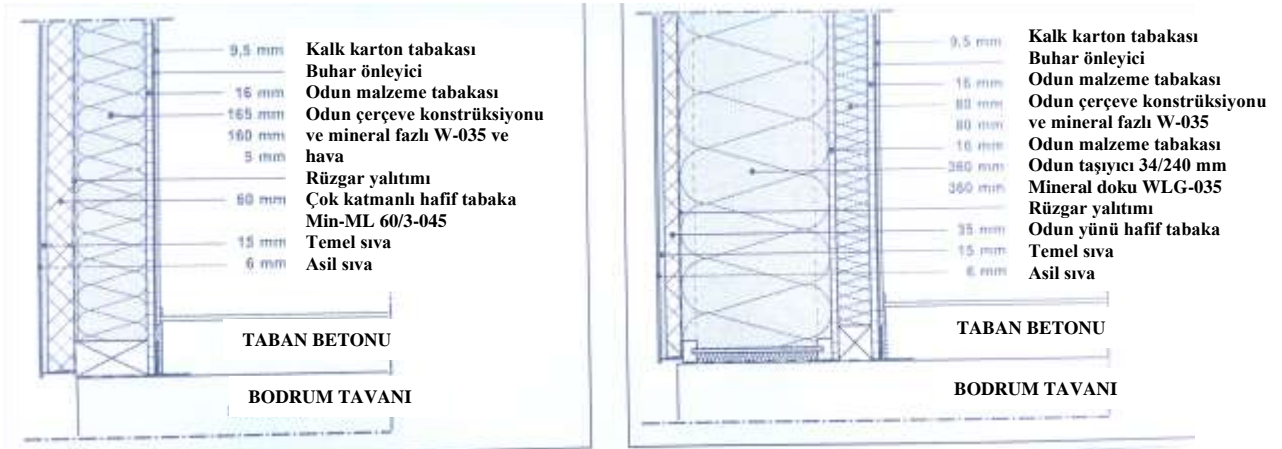
*Yenilenebilir enerji kullanımı %20 arttırılacaktır, olarak 20-20-20 direktifini uygulamıştır.

Türkiye, bu konuda hızlı davranarak, 18/04/2007 de 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nu çıkarmıştır ve uygulamaya koymuştur [5]. Bu kapsamda 2008 yılında Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği TS 825 yenilenmiştir [6]. 5 Aralık 2008 tarihinde 27075 sayılı "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" çıkarılarak yürürlüğe alınmıştır [7]. 07.12.2010 tarihinde "Binalarda Enerji

Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YİG/2010-02)" ile binanın enerji tüketimine etki eden tüm parametreleri değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için bina enerji performansı "hesaplama yöntemi" yayınlanmıştır [8].

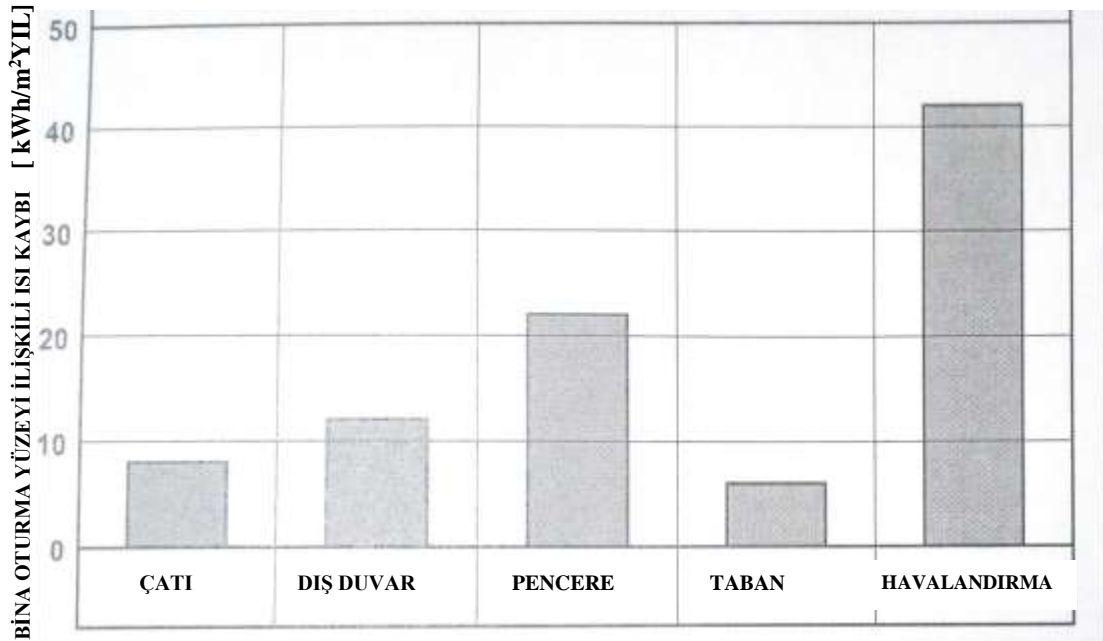
5. ENERJİ ETKİN BİNA BİLEŞENLERİ

Düşük enerjili ya da ultra düşük enerjili enerji etkin binaların dış duvar yapısı değiştirilerek ısı geçiş sayısında hedeflenen değere ulaşmak mümkündür. Ahşap çerçeve yapısı, ahşabın zaten düşük ısı iletkenliği ve yapı arasındaki yalıtım malzemesi geniş alanı nedeniyle düşük U-değerleri elde etmek için özellikle uygundur. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi 0,2 W/m²K ve altındaki U değerlerini elde etmek için çok katmanlı veya dıştan tahtalı dış duvar yapıları kullanılır.



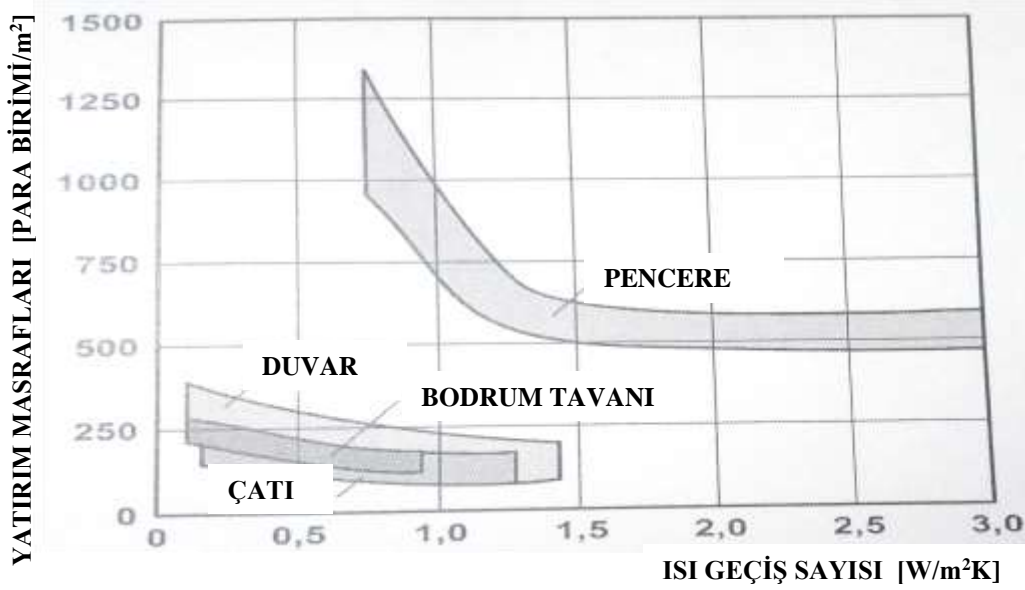
Şekil 5.1. Düşük enerjili ya da ultra düşük enerjili enerji etkin bina dış duvarı yapısı

Enerji etkin binaların ısıtma ısı enerjisi gereksinimi tespit edilirken göz önüne alınması gereken diğer bir konu, Şekil 5.2 ile gösterilmiş binayı oluşturan bileşenlerin birim yüzeyinden yıllık ısı kaybı değerleridir.



Şekil 5.2 Bina bileşenleri birim yüzeyinden yıllık ısı kaybı değerleri

nerji bilançolarının oluşturulmasında her bir bileşenin tasarım aşamasında göz önüne alınması, maliyet etkinliği açısından farklı bileşen niteliklerinin değişimini kolaylaştırır. Şekil 5.3'te ultra-düşük enerjili evin dış bileşenlerin ısı kayıplarının kullanım alanı ile ilgili oranına bağlı maliyetlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Ultra-düşük enerjili ev bileşenleri ısı kayıpları kullanım alanı ile ilgili maliyet değişimi

6. ENERJİ ETKİN BİNA ENERJİ KİMLİK KARTI

Enerji etkin binanın enerji kimlik kartı hazırlanırken iki farklı hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Birinci yöntemde; kısa tahmin prosedürü, enerji kalitesinin bileşenleri (çatı, dış duvar, taban, pencere) ve bunların ısı geçiş özellikleri ile yüzeyleri bilimsel olarak kanıtlanmış deneyime dayalı bina (sözde bina tipolojileri) şeklinde göz önüne alınarak gerekli ısı geçişi hesapları yapılır. İkinci yöntemde; ayrıntılı bir prosedür uygulanır. Bu yöntemde, enerji etkin binanın hangi enerji kalitesi sınıfında olması öngörüldüğü önemlidir. Bunun için binanın tek tek bileşenlerine ait madde fiziki değerleri ile ısı geçiş özellikleri ve ayrıntılı olarak kaydedilen tüm yüzeyler tespit edilir. Ayrıntılı prosedür genellikle daha kesin sonuçlar içermektedir. Hesaplama yönteminde ulusal ve uluslararası standartlarda tanımlanmış hesaplama kurallarının uygulanması zorunludur.

Bir binanın birincil enerji gereksinimi enerji faktörlerini içermektedir. Bunlardan; dış duvarlar, pencereler, çatı vd. bina bileşenleri birinci sırada etkilidir. İkincisi, güneş radyasyonundan elde edilen enerji kazançları, vücut ısısı ve elektrikli cihazlar olmaktadır. Üçüncüsü, kazandan ısıtıcı radyatör paneline kadar eğer varsa havalandırma tesisatı şeklindeki bütün ısıtma tesisatının kalitesidir. Dördüncüsü, içme suyu hazırlama için enerji gereksinimi ve sıcak kullanım suyu hazırlama verimliliği olmaktadır. Beşincisi, enerji taşıyıcılarıdır.

Kullanılan enerji taşıyıcıların üretim verimlerinin de hesaplanan birincil enerji gereksinimine girmesi sebebiyle, hesaplanan birincil enerji gereksinimi, binadaki gerçek enerji gereksiniminden (örneğin yıllık ısıtma maliyeti hesaplanan değeri) farklı olur. Bir binanın birincil enerji gereksinimi belirlenmesinde, bina dış kabuğunun ve tesisat tekniğinin enerji etkinliği de etkilidir.

Bina enerji etkinliği; bir bina dışarıya ne kadar az ısı kaydederse o kadar iyidir, yaklaşımını içerir. Tesisat tekniğinin enerji etkinliği, enerji taşıyıcılar ile ısı ve kullanım sıcak suyu üretimi için kurulmuş teknik donatının etkinliğini göz önüne alır. Tesisat tekniğinin enerji etkinliği, tesisat-maliyet sayısı ile karakterize edilir. Sonuçta, her iki değer, bina enerji etkinliği sınıfı belirlenmesinde göz önüne alınır. Emisyonlar, CO₂ eşdeğeri şeklinde verilir [9]. Bunun içinde, enerji kazanılmasında, işlenmesinde ve

nakledilirken serbest hale geçen diğer gazlar örneğin, metan ve azot oksit göz önüne alınır. Bir binanın ısıtılması ile oluşan karbondioksit emisyonları ne kadar az olursa, küresel iklimin olumsuz yüklenmesi de o kadar az olur.

Son enerji gereksinimi, binanın ısıtılması ve kullanım sıcak suyu için gereksinim duyulan (doğal gaz, fueloil, elektrik enerjisi, odun vd.) metre küp, litre veya kWh birimi içinde adlandırılan yıllık enerji miktarıdır. Enerji üretiminin etkinliği, bu esnada göz önüne alınmaz. Hesaplamalarda, iklim ve hacim sıcaklıklarının ortalama değerleri esas alınır. Bunlar, ülkeden ülkeye ve ülke içinde de bölgeden bölgeye değişik değerlerdedir. Bununla ilgili veriler, ya standartlar veya kanuna bağlı yönetmelikler şeklinde devletin yetkili kurumları aracılığıyla ilgili birimlerin yöneticilerine ve araştırmacıların görev yaptıkları kurumlara gönderilir. Hesaplanmış olan bina son enerji gereksinim değeri, gerçek değerden sapma gösterebilir.

Enerji etkin binaların enerji kimlik kartı hazırlanmasında esas alınan büyüklükler, Tablo 6.1'de verilmiştir [10].

Tablo 6.1. Bina enerji kimlik kartı hazırlanmasında esas alınan büyüklükler

Enerji Ekin Bina Değerlendirme Büyüklükleri (Verilmiş değerler, F Enerji Kimlik Sınıfı Bir Bina için örnektir)			
A/V _e -Oranı		0,61 1/m	Bina Enerji Yönetmeliğine göre
Bina faydalı alanı	A _N	670,2 m ²	Bina Enerji Yönetmeliğine göre
Özgül transmisyon ısı kaybı	H _T	1,3 W/(m ² K)	DIN V 4108-6, DIN V 4701-10 uygun ve Normlarda açıklanmış hesaplama kurallarına göre
Isıtma ısı gereksinimi	Q _h	150,0 kWh/(m ² yıl)	
Kullanım sıcak suyu ısı gereksinimi	Q _{tw}	12,5 kWh/(m ² yıl)	
Tesisat maliyet sayısı	e _P	1,8	
Birincil enerji gereksinimi	Q _P = (Q _h + Q _{tw}) . e _P	292,5 kWh/(m ² yıl)	Tablo 4.2 de açıklanmış
CO ₂ emisyonları* *A _N bina faydalanma alanı ilişkili		79,0 kg CO ₂ /(m ² yıl)	

6.1 Enerji Etkin Bina Değerlendirme Skalaları

Enerji etkin binaların değerlendirme skalaları, Tablo 6.2.'de gösterilmiştir. Standartlara uygun olmayan bir binada ulaşılan gerçek değerlere yakın değerler Tablo 6.2.'nin son sütununda örnek olarak verilmiştir.

Tablo 6.2. Enerji etkin bina değerlendirme skalaları

	çok az	Az	orta	yüksek	çok yüksek	Gerçekten ulaşılan				
Bina dış kabuğu A _N yüzeyi ile ilişkili ısıtma ısı gereksinimi	20	40	60	80	100	125	150	200	250>>>	150,0 kWh/(m ² yıl)
Tesisat Tekniği Tesisat maliyet sayısı birincil enerjiye göre	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,25	2,5>>>	1,80
CO ₂ -Emisyonları	20,0	27,5	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100	125 >>>	79,0 kg CO ₂ /(m ² yıl)

6.2 Enerji Etkin Bina Enerji Etkinlik Sınıfları

Enerji etkin binaların enerji etkinlik sınıfı, uluslararası ve ulusal standartlarda açıklanmış hesaplama yöntemlerine göre, A_N bina kullanım yüzeyi ile ilişkili ısıtma ısı gereksinimi ile kullanım sıcak suyu

Isıtma enerjisi için belirlenmiş birincil enerji gereksinimi değerine göre bina enerji etkinlik sınıfları Tablo 6.3. ile gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Enerji etkin binalar için Bina Enerji Etkinlik Sınıfları

Değerlendirme Skalaları									Gerçekten Ulaşılan	
Birincil Enerji Gereksinimi A _N bina kullanım yüzeyi ile ilişkili ısıtma ısı gereksinimi ve kullanım sıcak suyu ısıtma enerjisi için belirlenmiştir	≤ 80	≤ 110	≤ 150	≤ 200	≤ 250	≤ 300	≤ 350	≤ 400	> 400	F 292,5 kWh/(m²Yıl)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	

SONUÇ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının binaların ısıtma ve soğutma talebini karşılama payının artırılmasında dijitalleşme iyi bir fırsattır. Avrupa ülkelerinde binaların ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin yaklaşık % 19'u yenilenebilir enerji ile karşılanmaktadır.

Dijitalleşme ile bu konudaki uygulamalar, planlamalar ve iş modellerini optimize etmek kolaylıkla yapılabilir. Böylece, ısı ve soğutma cihazı üreticileri, kullanıcıları, yerel paydaşları ve enerji piyasaları birbirine bağlanarak toplam karbondan arıtma maliyetini azaltılabilir.

Akıllı binalar, enerji verimliliği için önemli bir aşamadır ve akıllı mikro şebekenin temel ögesini oluşturmaktadır. Binalarda iklimlendirme sistemlerinin kontrolünü sağlayan enerji yönetim sistemleri de enerji verimliliği sağlamaktadır.

Isı arzı için gelecek vaat eden ısı pompalarının kullanımının da bundan sonra öne çıkacağı, kazanların yerini alacağı tahmin edilmektedir. Isı pompaları ile ısıtma işlemi sırasında toprak, su ve havadan kazandığı ilave ısının yenilenebilir olup olmadığı tartışması, AB'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Teşvik ve Desteklenmesi Direktifi (2009/28/EC, RES Directive, Article 2) ve Binaların Enerji Performansı Direktifi'ne (2010/31/EU, Article 2) alınmasıyla çözüme ulaşmıştır.

Bölgesel ısıtma, güneş ve rüzgar enerjisi, özellikle enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı esnek, hibrid sistemler tercih edilmelidir. Yeni sistemlere verilecek teşviklerde performans ön plana çıkarılmalıdır. Verimi düşük sistem ve cihazların kullanımı ve üretilmesi yasalar çerçevesinde engellenmelidir. Bu uygulamaların tercih edilmesini sağlamak için uzun vadeli düşük faizli krediler kullanılabilir ve kullanıcı tarafında avantajlı enerji tarifeleri düzenlenebilir.

Son zamanlarda yaşanan iklim değişiklikleri, net veya yaklaşık sıfır enerjili (nZEB/NZEB) bina standartları ile ilgili yaklaşımlar önem kazandırmıştır. Bir yandan, yaşamı zorlaştıran hava koşulları, iklim ve enerji verimliliği bilincini artırmış ve politik/düzenleyici hedeflerin ortaya konulmasına sebep olmuştur. Diğer yandan da ısı konforun söz konusu olduğu modern ofis binaları özellikleri ve beklentiler tanımlanmıştır.

Yeni dijital teknolojiler, büyük miktarlarda verileri analiz edebilmektedir ve işleyen cihazları kullanarak enerji verimliliğini artırma potansiyeli sunmaktadır. Böylece bina enerji sistemleri daha iyi

yönetilebilmektedir. Burada gerekli olan gelişmiş HVAC teknolojilerinin maliyet-fayda analizleri yoluyla ekonomik ve finansal bir bakış açısından sürdürülebilir olduklarının gösterilebilmesidir.

Binalara Enerji Kimlik Kartı düzenlemesinde ve bu uygulamaların geliştirilmesinde aşağıdaki hususlar göz önüne alınmalıdır.

- Enerji tüketimi modelleme yapılarak mı yoksa tüketim ölçülerek mi belirlenmelidir?
- Enerji Kimlik Kartı düzenlemesi yeni binalara mı yoksa mevcut binalara mı uygulanmalıdır?
- Enerji tüketiminin belirlenmesinde (A,B,C,D,E gibi) hangi enerji sınıfları kullanılır?
- Veri modelleme ve toplama gereksinimleri
- Değerlendirme yapabilmek için gerekli nitelikler
- Sonuçların nasıl sunulacağı?
- Kamu binaları ve özel şahıslara ait binalara Enerji Kimlik Kartı düzenlemesi ne şekilde uygulanacak?
- Bina Enerji Kimlik Kartı Sertifikalandırma özel şahıs binalarına gönüllü bir uygulama mı yoksa zorunlu mu olacağı?
- Zorunlu olacaksa, bu önceden inşa edilmiş şu an kullanılan binalara nasıl uygulanacaktır?
- Bundan sonra tasarımı yapılarak inşa edilecek binalara nasıl uygulanacaktır?

KAYNAKLAR

- [1]. Paris Agreement. *Paris, 12 December 2015*. ENTRY INTO FORCE: 4 November 2016, in accordance with article 21 (With territorial exclusion in respect of Greenland. See C.N.819.2016.TREATIES-XXVII.7.d of 1 November 2016)
- [2] Kyoto Protocol, BBC News: Why did Copenhagen fail to deliver a climate deal? 22 December 2009. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8426835.stm>
- [3] Die Europäische Union hat 17. Dezember 2008 an der 20-20-20 durch die Annahme der Richtlinie erneuerbare Energien für die nächsten 10 Jahre die Klimaschutzziele gesetzt. Dementsprechend bis 2020;* Emissionen der Treibhausgase, 20 % gegenüber 1990 reduziert werden.
* Verbesserung der Energie-Effizienz-Energieverbrauch werden um 20 % gekürzt erzielt.
* Erneuerbare Energienutzung wird um 20 % erhöht.
- [4] Erhorn, A., v. d. "Fertighaeuser im Wandel – vom Niedrigenergiehaus zum Null-Heizenergiehaus" Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2001.
- [5] "Enerji Verimliliği Kanunu", Resmi Gazete, 2 Mayıs 2007, Sayı 26510
- [6] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği", 2008
- [7] "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" 05 Aralık 2008 tarihli, 27075 sayılı Resmi Gazete
- [8] "Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YİG/2010-02)" 07.12.2010 bina enerji performansı "hesaplama yöntemi"
- [9] Can, A. "Atmosferde Karbondioksit Sınırlaması ve Bir Model" 2. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-605-74264-1-3, s.1-9, Silivri/İSTANBUL, 2022
- [10] Can, A. "Enerji Etkin Binalar için Termodinamik Yaklaşım" 1. RUMELİ SUCET Sempozyumu E-Bildiriler Kitabı, ISBN 978-625-409-661-7, s.32-44, Silivri/İSTANBUL, 2021

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet CAN

Tekirdağ 1953 yılı doğumludur, 1974'te Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nden Makine Mühendisi unvanı alarak mezun olmuştur. Almanya Berlin Teknik Üniversitesi Enerji ve Süreç Tekniği Enstitüsü'nden, "Fachbereich Energie-und Verfahrenstechnik" 1982'de "Yüksek Mühendis "Dipl.-Ing." ve 1984'te "Doktor Mühendis "Dr.-Ing." unvanlarını almıştır. Almanya Berlin Teknik Üniversitesi Enerji



ve Süreç Tekniği Enstitüsü Ölçme ve Otomatik Kontrol Anabilim Dalında 1981-1984 arası “Araştırma Görevlisi-Wissenschaftlicher Mitarbeiter” olarak çalışmıştır. 1984 Yılında Trakya Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi’nde Yardımcı Doçent, 1989 yılında Doçent ve 1997’de Trakya Üniversitesi’nde 2012’de Türk Alman Üniversitesi’nde, 2014 Yılında İstanbul Arel Üniversitesi’nde ve 2018’de İstanbul Rumeli Üniversitesi’nde Profesör unvanlarını almıştır.

Alman teknolojisinin ve standartlarının başlangıcından günümüze gelişme sürecinin de bir göstergesi Dünya’da HÜTTE **Grundlagen der Ingenieurwissenschaften** ismi ile ünlenmiş kitap bu güne kadar 10 farklı dile çevrilmiştir. Profesör Can, **HÜTTE – MÜHENDİSLİK BİLİMİ**, kitabının çeviri yazarıdır, Literatur Yayınevi, ISBN 978-975-04-04658. www.literatur.com.tr, İstanbul, Haziran 2010. Almanca 32.nci Baskısından “**HÜTTE Grundlagen der Ingenieurwissenschaften**”ın, 1600 Sayfa HÜTTE Uluslararası Çevirilerinin 11.nci Dili Türkçeye Çevirisini yapmıştır ve kendisi Almanya Internationes Bonn tarafından ödüllendirilmiştir.

Profesör Can,ın Ulusal ve uluslararası 160’ın üzerinde makalesi ve bildirisi yayınlanmıştır.

NET SIFIR-ENERJİLİ BİNA MI NET-SIFIR EKSERJİLİ BİNA MI

Net Zero-Energy Building or Net-Zero Exergy Building

Birol Kılıç

ÖZET

İklimsel krize karşı pasif evler, net-sıfır, net-sıfıra yakın binalar gibi tanımlar yeşil bina sertifikasyonlarında ön plana çıkmaktadırlar. Bu tanımların tamamı Termodinamiğin 1.ci yasasına göre geliştirilmiş olup enerjinin sadece niceliği ile ilgili olup, tüm enerji türlerinin ve gücün (elektrik veya mekanik) birim ekserjilerinin aynı oldukları var sayılmıştır. Yeşil bina tanımlarına ilişkin bu gibi geçersiz varsayımlar özellikle giderek önem kazanan düşük ekserjili bölge enerji sistemlerinde ve akıllı kent uygulamalarında önem kazanmakta ve net-sıfır enerji gibi tanımlar anlamsız kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek üzere bu çalışmada ekserji tabanlı yeni bina tanımları getirilmiştir. Bunlar, net-sıfır ekserjili bina (NZEXB), net-sıfır ekserjiye yakın bina (nZEXB), nZCB (sıfıra yakın karbon binası), ekserji-pasif bina (EXPB) gibi tanımlardır. Sıfır karbon ayak izli olarak tanımlanan güneş ve rüzgâr enerjili sistemler %100 oranında kullanılsa bile, aslında bünyelerindeki ekserji yıkımlarının bir sonucu olarak sıfır karbon salımlı bir binanın da olamayacağı vurgulanmaktadır. Yeni tanımlamalara örnekler verilmekte ve genelde yapılan yanlışlara düzeltmeler ve yeşil bina değerlendirilmelerine yönelik yeni modeller örneklerle sunulmakta en son olarak da bu çalışmada geliştirilen ve binaların sorumlu oldukları hava kirliliği ile pandemi riski arasında doğrusal bir ilişki tanıtılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Net-sıfır enerjili bina, net-sıfır ekserjili bina, ısı geri kazanımı, labirent ısı geçişi, CO₂ salım sorumluluğu, pandemi

ABSTRACT

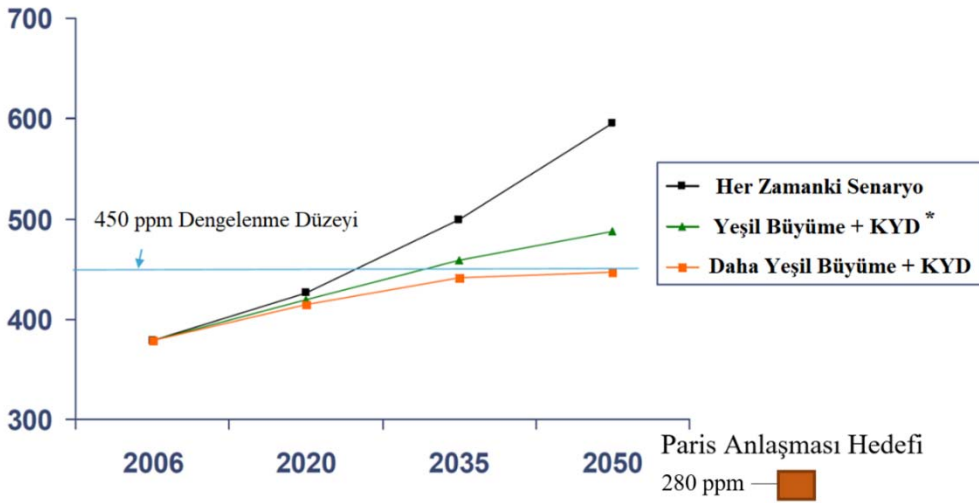
In the quest of finding solutions against the climate crisis, building definitions like passive houses, net-zero, or nearly-zero houses are becoming dominant in green building certification programs. Yet these definitions are always based on the First Law of thermodynamics, which is only concerned with the quantity of energy. This approach assumes that all kinds of energy sources and demand have the same useful work potential or demand, aka exergy, which is not true. This lack of understanding about green buildings is becoming more serious in particular with the advent of low-exergy district energy systems and smart cities for heating, power, and cooling, rendering net-zero energy definitions meaningless. To eliminate such lack of understanding, this research has developed new, exergy-based definitions like net-zero exergy building (NZEXB), nearly-zero exergy building (nZEXB), nearly-zero carbon building (nCB), exergy-passive building. This paper further points out that renewable energy systems, which are touted to be carbon-free, may not be held free from CO₂ emissions, even if they are used by a 100% ratio in buildings and cities, because of their inherent exergy destructions, leading to nearly-avoidable emissions. This paper provides exemplary cases with game-changing, exergy-based facts, and solutions. Finally, the paper introduces a direct link between pandemic and air pollution from buildings and cities.

Keywords: Net-zero energy building, net-zero exergy building, heat recovery, labyrinth heat exchange, CO₂ emission responsibility, pandemic

1. GİRİŞ

Küresel ısınma sorunu azalmanın aksine giderek artmaya devam etmektedir. Yapılan son ölçümler ve 2050 yılına kadar olan kestirimler bu eğilimi Şekil 1'de değişik senaryolar için ortaya koymaktadır. Halbuki ülkeler CO₂ salımlarının sanayi devriminden öncesi değerlere düşürülmesini hedeflemekte ve enerji tasarrufundan, yenilenebilir enerji kaynaklarına, enerji verimliliğinden, akıllı kentlere kadar geniş bir yelpaze içinde değişik önlemler uygulamaktadır. Ancak bu uygulamaların Paris Anlaşması hedeflerinin (280 ppm) çok uzağında kalacağı görülmektedir. Bu nedenle sorun birçok yabancı devlet adamı tarafından artık küresel ısınma değil, küresel kriz olarak tanımlanmaktadır. Bu yazıda sorun nereden kaynaklanmaktadır sorusu çok değişik bir açıdan cevaplanmakta, artık enerjinin miktarından (nicelik) öte, enerjinin niteliğinin ön plana çıktığı ve bu doğrultuda yeni bir anlayışla yeni çözümler dizisi uygulanmadıkça küresel ısınmaya karşı başarılı olamayacağımız vurgulanmaktadır. Konuya mikro ölçekte bakıldığında, günümüzün sıfır enerjili bina veya akıllı bina tanımlarının da enerji niteliğinin bilinç ve aklında yeniden tanımlanmalarının gerekliliği gösterilmektedir.

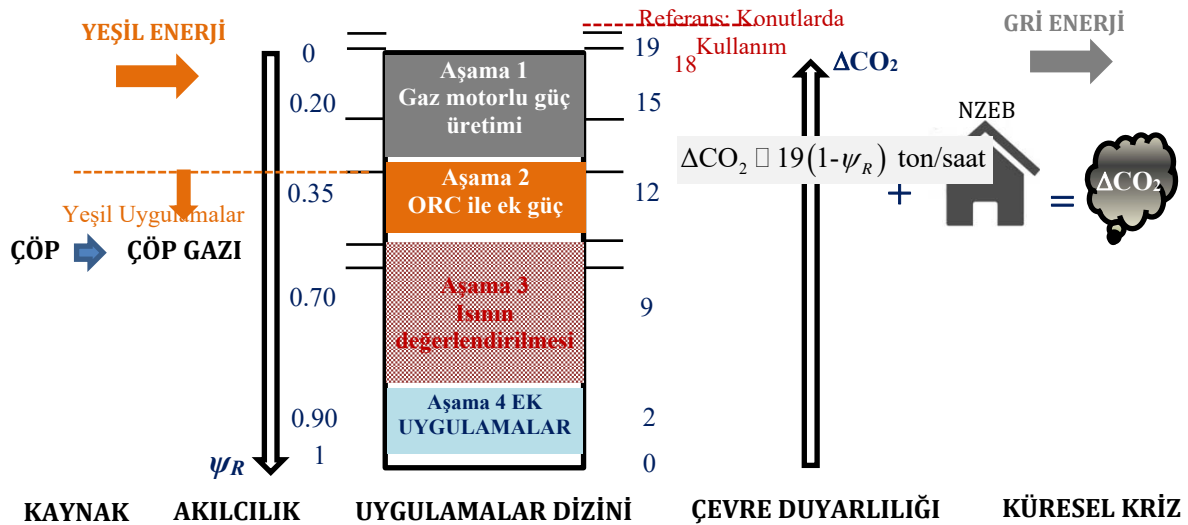
Atmosferdeki CO₂ Yoğunluğu, ppm



Şekil 1. Değişik Senaryolara Göre Atmosferik CO₂ Yoğunluğunun 2050 Yılına Kadarki Kestirimleri [1, 2], *KYD: Karbon Yakalama ve Depolama

Bu soruna bir de küresel pandemi boyutu eklenmiştir, zira son bilimsel bulgulara göre hava kirliliği ve atmosferdeki CO₂ yoğunluğu yanı sıra ozon tabakasının incelmeye başlaması hastalık riskini en az %15 arttırmaktadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak yapıları çevredeki soğutma gereksinimleri de 2050 yılında en fazla enerji talebini oluşturacaktır. Soğutma süreci, ısıtmaya nazaran enerji niteliğini (Kalite: katma değer potansiyeli) daha az bir akılcılıkla değerlendirebilmektedir. Bu nedenle Paris anlaşması yönündeki çözümlere iki engel daha çıkmaktadır. Bunlar sırası ile pandemi-hava ve atmosfer kalitesi arasındaki ilişkiler ve giderek artan soğutma talepleridir. Birinci soruna kısa vadeli çözümlerden olan "evde kal" sloganı ile biraz da olsa çözüm getirebilsek de net sıfır enerjili veya sıfır karbon gibi tanımlarla bezenen ve "akıllı bina" olarak yüceltilen evler ve kapalı mahaller soruna çözüm getirmeyecektir. Bunun ana nedeni bu gibi tanımların sadece enerjinin miktarı (niceliği) ile ilişkili tutulmasıdır. Şekil 2 de pandemi riski, hava kirliliği, insan sağlığı, çevre ve küresel ısınma arasında insanın kendi elleri ile oluşturduğu kısır döngü soğutma tabanında gösterilmektedir.

soğutma kapasitesi yaklaşık 10 MW eder ki bu da gene çevrede olmak kaydı ile en az 350 konut eşdeğeri klima kapasitesine denk gelmektedir. Bu örnekte de görüldüğü üzere ne olursa olsun tüm atık ısılar mutlaka bir veya birkaç şekilde değerlendirilmelidir. Böylelikle küresel ısınmaya karşı akılcı çözümlerden birisi gerçekleşmiş olacaktır. Yetkililerin ifadelerine göre çevrede atık ısıyı kullanacak herhangi bir sektör şu anda bulunmamaktadır. Bu hiçbir şekilde geçerli bir mazeret teşkil etmez. İşte bu noktada iş şehir planlamacılarına düşmektedir. Bu tür çevreci santraller kurulurken hem bu tesislerin konumu daha dikkatlice seçilmeli, hem de çevrede düşük sıcaklıklı ısı talebi yoksa bu gibi talep sektörleri planlanmalı, teşvik edilmeli ve uygulanmalıdır. Günümüzün 5.ci nesil bölge ısıtma sistemlerinde artık 35°C sıcak su konfor ısıtmasına yeter duruma gelmiştir [7]. Şekil 3 de kaynakların değerlendirme akılcılığı, ψ_R ve çevredeki ΔCO_2 salım sorumluluklarının tahmini değerleri görülmektedir. Kamuoyunda sıfır-karbon tesisi olarak görülen söz konusu çöpten enerji tesisinde üçüncü aşama da gerçekleştirilmiş olsa sadece 6 ton dolayında ΔCO_2 salım sorumluluğu olacaktır. Kısacası, bu tesisin bacası yoktur ve fosil yakıtlar kullanılmıyor olsa da değerlendirmede kaynak enerjisi oranında ulusal enerji ve çevre stokunda sorumlulukları bulunmaktadır. Isının kademeli bir biçimde seracılık, kurutma gibi giderek azalan sıcaklıklarda da değerlendirilmesi ile ψ_R 0.90 değerine yaklaşırsa bile hiçbir zaman bu sorumluluk tamamen ortadan kalkmayacaktır (2 ton/h), çünkü Termodinamiğin 2. Yasasına göre her zaman enerji kalitesinde kayıplar olacaktır. Referans bir değer olarak eğer üretilen biyogaz sadece doğal gaz şebekesine verilip konutlarda kullanılacak olsa idi bu uygulamanın ψ_R değeri sadece 0.06 dolayında olacağından ΔCO_2 sorumluluğu yaklaşık 18 ton/h olur. Bu referans değere göre mevcut çöp gazından enerji tesisinin (Aşama 1) çevresel akılcılığı ΔCO_2 cinsinden %17'dir. Bu oran aşama 2 de (ORC) %33'e yükselir. Tüm aşamalar (3 ve 4) tamamlanırsa çevresel akılcılık %88 olur. Görüldüğü üzere atık kaynaklardan güç üretmek güzel bir yaklaşım fakat bu kaynakların daha da akılcı ve çok kademeli olarak değerlendirilmesi çok daha güzeldir. Zaten herhangi bir uygulamanın yeşil kategoride olabilmesi için ψ_R değerinin 0.70'den yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle Aşama 3 ün de devreye alınması gerekir. Aksi halde sisteme giren yeşil enerji NZEB binada gri enerji olarak son bulacaktır.



Şekil 3. Kaynakları Değerlendirme Akılcılığı, ψ_R ve CO_2 Salım Sorumluluklarının Ters İlişkisi

©2020, B. Kılış

Kocaeli deprem felaketinden sonra yeni inşa edilmekte olan Adapazarı yerleşim bölgelerindeki yeni binaların bulunduğu sahaya oldukça yakın olan (Yaklaşık 6 km) kombine çevrimli, doğal gazlı güç santralinin [8] atık ısısından yararlanma projemizi [9] o zamanki firma yetkililerine sunduğumuzda atık ısının sıcaklığı size yetmez vermeyiz denilerek santral sahasına bile sokulmadığımızı üzücü bir anı olarak hala hatırlarım. Bu bağlamda, yaşam ve toplum zincirindeki tüm sanayiciler, üreticiler, tasarımcılar, müteahhitler, kısacası her sektörden ve disiplinden kişi ve kurumlar ilgi alanlarındaki sistemleri, teknolojik ve bilimsel altyapıyı en iyi şekilde bilecek, paylaşacak ve çevre sorumluluklarının bilinci ile ortak, paylaşımcı ve bütüncül biçimde davranacaklardır. Ancak bu şekilde zincirin halkaları bütünleşebilir. Peki bu örnekler çerçevesinde net-sıfır veya net-sıfıra yakın binaların olumlu destekleri ne kadar olabilir? Her şeyden önce, daha fazla sayıdaki binalara daha düşük sıcaklıklarda hizmet

verebilmek için binaların da enerji tasarruflu olmalarının çok ötesinde, bu binaların da kendi içlerinde kendilerine sunulan kaynağı en akılcı biçimde yani ψ_R değeri en yüksek olacak biçimde değerlendirmeleri gerekmektedir. Değerlendiremedikleri oranda yukarıdaki örnekte olduğu gibi gene ΔCO_2 sorumlulukları olacaktır. Binaların genelde toplam enerji tüketiminden yaklaşık %40 oranında sorumlu oldukları göz önüne alındığında küresel çözüme yapılabilecek çevreden başlanması da ayrı bir akılcılık olacaktır. Ancak, Termodinamiğin 1. Yasası bir bina ne kadar akıllı (Nesnelerin interneti, dijitalleşim, 5 DE sistemler, bilgisayar ağları, yenilikçi güvenlik ve konfor sistemleri gibi donatı ve sistemler gibi) olsa da o binanın ne kadar akılcı olacağını temin edemez. Termodinamiğin 2. Yasasına bu bağlamda mutlak

gerek vardır. Sonuç olarak, bir binaya veya bir kente ne kadar en son teknolojiler ve dijitalleşim yüklenirse yüklenirse o bina veya kentin enerji kaynaklarını kullanımında akılcı olduğu söylenemez. Bu nedenle akıllı bina veya kentler başka bir ölçüt, akılcı bina veya kentler ise çok başka boyutlara sahip başka bir ölçüttür ve küresel krize akıllının oldukça ötesinde akılcı bina ve kentler çare olacaktır. Bu gerek aşağıdaki bölümlerde açıklanmış olup her şeyden önce bir binanın hangi anlamda sıfır olduğunu sorgulamamız gereklidir.

2. NET SIFIR AMA NASIL ve NE SIFIR?

Literatürde çok değişik net-sıfır ve sıfır bina tanımları bulunmaktadır [10, 11]. Tüm bu tanımlar Termodinamiğin 1. Yasasına tabidir. Öte yandan, bu kadar değişik tanımın birbiri ile örtüşmezliği bir sorun, küresel krize kısıtlı destek olabilmeleri daha da büyük sorundur. Bu bölümde bir Net-Sıfır Enerji (Net-Zero Energy Building) Binası 2. Yasa uyarınca modellenmektedir.

Diğer yandan, bölge enerji sistemi ile toplam enerji alışverişi eşit olan bir bina genellikle toplam ekserji alışverişinde eşit olmaz:

$$(E_B + Q_B + C_B)_{bina} = (E_D + Q_D + C_D)_{bölge}$$

Yukarıdaki eşitliğin sağ ve sol taraflarının aritmetik toplamları eşit olduğu sürece bu bina net-sıfır enerjili binadır ve bu toplamların elektrik (E), Isı (Q) ve soğuk (C) alt kırılımları ve toplamdaki payları yanı sıra ısı ve soğuk arz ve talep sıcaklıkları ne olursa olsun sonuç değişmez. Halbuki bu üç enerji türünün birim ekserjileri (ϵ) farklıdır ve yukarıdaki eşitliğe dahil edilmelidir:

$$\left(E_B \times 0.95 + Q_B \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supBH}} \right) + C_B \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supBC}} \right) \right)_{bina} \neq \left(E_D \times 0.95 + Q_D \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supDH}} \right) + C_D \times \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{supDC}} \right) \right)_{bölge}$$

Görüldüğü üzere sadece alt kırılımlar değil sıcaklıklar da önemlidir. 0.95 kW/kW elektrik gücünün birim ekserjisidir. T_{ref} çevre referans sıcaklığı (Genelde 283 K), T_{sup} ısının (Soğuşun) arz sıcaklığıdır.

2.1 Örnek NZEB Bina Modeli

Şekil 4 de bugünün literatüründe Net-Sıfır Enerjili Bina (NZEB) olarak tanımlanan ve çevre dostu olarak bilinen bir bina görülmektedir. Bu binanın bacası yoktur zira tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Güneşten elektrik üreten, çatı tipi PV paneller ve gene çatıda konumlu, sıcak su üreten düzlemsel topaclar bulunmaktadır. Ayrıca toprak kaynaklı ve çoğunlukla kendi ürettiği elektrik gücü ile çalışan bir ısı pompasına sahiptir. Binada ufak çapta elektrik bataryaları, sıcak ve soğuk su depoları da bulunmaktadır. Isı pompası mevsime göre soğuk su ve sıcak su üretmektedir. Yıllık ortalama tesir katsayısı her iki işlev için 4 olarak verilmiştir. Bu bina Net-Sıfır Enerjili Bina olarak tanımlanmaktadır çünkü bir merkezi bölge enerji santraline bölge enerji dağıtım sistemi ile bağlı olup yıl boyu elektrik, ısı ve soğuk paylaşmaktadır. Bu binanın yıl boyu üretimi aşağıda verilmiştir.

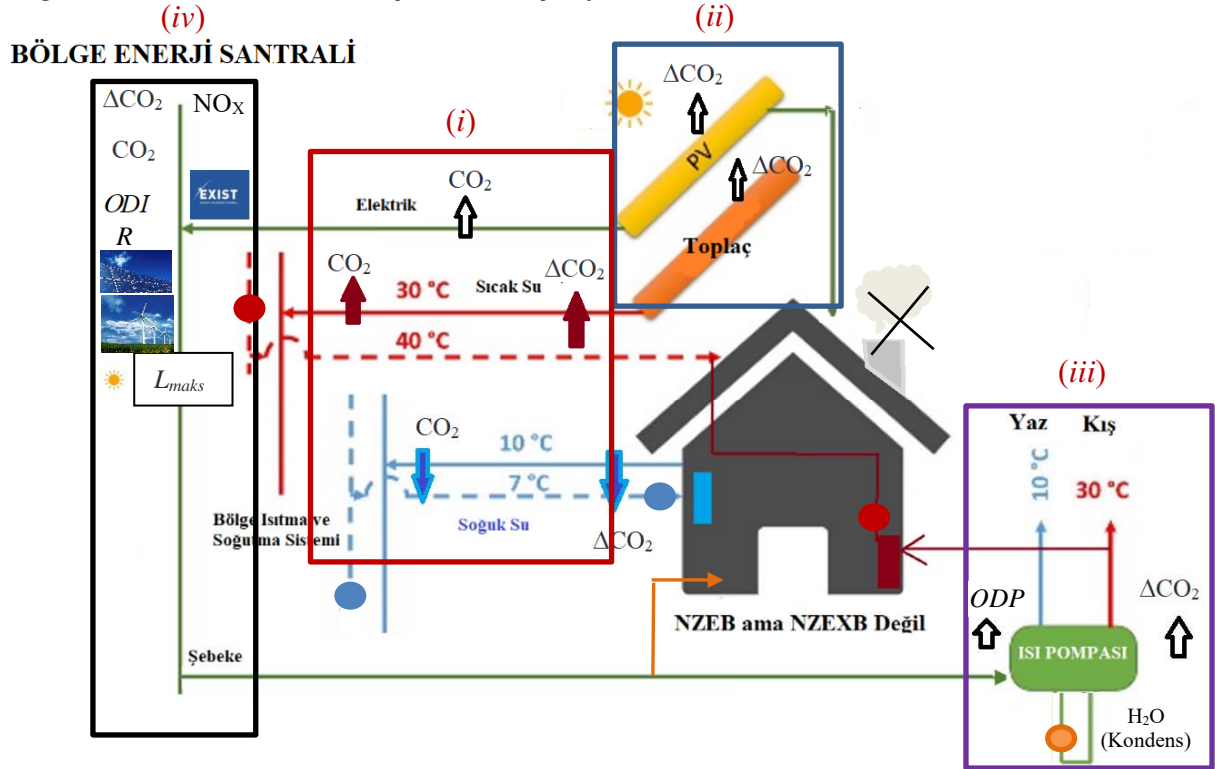
Binanın Ürettiği Enerji Nicelikleri

- 10000 kW-h elektrik,
- 20000 kW-h ısı (**30°C: 303 K**), ve
- 10000 kW-h (**10°C: 283 K**) soğuk. TOPLAM: 40000 kW-h

Binanın Sistemden Aldığı Enerji Nicelikleri

- 13000 kW-h elektrik,
- 25000 kW-h ısı (**40°C: 313 K**), ve
- 2000 kW-h soğuk (**7°C, 280 K**). TOPLAM: 40000 kW-h, Fark = 0 kW-h.

Bu örnekte bölge enerji sistemi ile paylaşılan farklı enerji türleri olan elektrik, ısı ve soğukun enerji nitelikleri yani katma değer potansiyelleri ve buna bağlı CO₂ salım sorumlulukları çok farklıdır. Elektrik gücünün katma değer potansiyeli %95 olmasının anlamı elektrik gücünün 0.95 kadarını yararlı işlere (Katma Değerlere) dönüştürebiliyor olmamızdır. Buna karşılık, 60°C (313 K) sıcak suyun katma değer potansiyeli (Kalitesi, Ekserji) %10, soğutma suyunun ise sadece %7 dolayındadır. Bu kalite farkını gözetmeksizin hepsini alt alta toplarsak 40000 kW eder ve bu çok basit hesaba göre bina *Net-Sıfır Enerjilidir*, çünkü alıp verdiği enerjilerin enerji türlerine bakılmaksızın toplamı eşittir. Bunun da ötesinde hiç fosil yakıt tüketmediği için Sıfır-Karbon Binası olarak da anılmaktadır. Ancak bu basit yöntem bugünün küresel ısınma krizinin çözümünde çok yetersiz kalmaktadır.



Şekil 4. Net Sıfır Enerjili Olarak Tanımlanan Bacasız Bir Binanın CO₂ Salım Sorumlulukları
©2020, B. Kılış

2.2. NZEB Binasının Görmek İstemediğimiz CO₂ Salım Sorumlulukları

Yukarıdaki nicel hesapta paylaşılan değişik türdeki enerjilerin kalitesinin arz ve talep arasında ne denli dengeli olduğuna hiç dikkat edilmemektedir. Ortaya çıkan dengesizliklerin neden olacağı CO₂ salım sorumluluklarından ise hiç bahsedilmemektedir. Bahsetmeyi istesek de hesaplayamıyoruz çünkü binada görünen bir fosil yakıt tüketimi gerçekten yok ve Termodinamiğin 1. Yasası bizleri bu noktadan öteye götürmemiyor. İşte küresel ısınmaya karşı en büyük ve esas hata burada başlıyor. Elektrik enerjisi paylaşımında PV panellerde üretilen gücün şebekeye verilmesinde eviricilerden geçmesinden

kaynaklanan olumlu veya olumsuz kalite farkını göz ardı edecek olursak ısıl güç paylaşımlarında kalite farkları ve bunların neden oldukları CO₂ sorumlulukları ortaya çıkmaktadır [12, 13]. Şimdi toplam niceliği 40000 kW-h olan karşılıklı enerji paylaşımlarında farklı enerji niteliklerinin dengesizlikleri göz önünde tutulacaktır. Bu kapsamda, Termodinamiğin 2. Yasası uyarınca ve Şekil 4 de görüldüğü üzere dört ana bölgede toplam on-bir CO₂ salım sorumluluğu noktası fark edilmektedir. Bu bölgeler sırası ile: 1- Bölge enerji sistemi ile ısı ve soğuk alışveriş bölgesi (Boru Hatları, Şekil 5),

- ii- Bina çatısındaki güneş enerji sistemleri,
- iii- Binadaki toprak kaynaklı ısı pompası,
- iv- Şebekenin bağlı olduğu bölge enerji santrali.

Bu modelde bölge ısıtma sisteminin boru şebekesindeki pompa istasyonlarının, binadaki dolaşım pompalarının ve ısı pompasının toprak devresi pompalarının elektrik güç talepleri ihmal edilmiştir. Aslında santral ile bina arasındaki şebekede ısı kalite taşınmakta buna karşılık elektrik gücünün kalitesi kullanılmaktadır. Bunun sonucunda da en fazla mesafe, L_{maks} da bu hesaplarda önemli bir yer teşkil eder ve pompaların neden olduğu CO₂ salım sorumlulukları da hesaba katılmalıdır.

(i) Bölgesindeki Enerji Niteliği ve Niceliğindeki Dengesizlikler

Nitelik (Ekserji) Dengesizlikleri

- (10000-13000) kW-h x 0.95 = -2850 kW-h elektrik niteliğinde kayıp,
 - (20000-25000) kW-h x (1-303/313) = -5000 x 0.0319 = -159.5 kW-h ısı niteliğinde kayıp
 - (10000-2000) kW-h x (1-280/283) = +8000 x 0.01 = +80 kW soğuk niteliğinde kazanç
- Toplam Niteliksel Dengesizlik = -2929.5 kW-h

Nicelikte eşit olan bu sistem nitelikte eşit değildir. Nicelikten niteliğe ise ideal Karno çevrimi ile geçilebilir ve nitelikteki farklılıklar enerji nicelikleri tabanında düzeltilince alt alta toplayabilmekteyiz. Bu binanın niteliksel dengede olabilmesi için toplam -29295 kW-h değerinin sıfır olması yetmez. Yukarıdaki üç adet dengesizlik kalemlerinin her birinin ayrı ayrı sıfıra eşit olması gerekmektedir. Bunun nedeni her kalemdeki dengesizliklerin neden olacağı CO₂ salım sorumlulukları ayrıdır. Enerji niteliklerinin bina ve santral arasındaki paylaşımına ilişkin tüm koşullar sağlansa bile santraldeki ve binadaki sistemlerin nitelik dengesizlikleri nedeni ile ne bina ne de kent sıfır karbonlu olamaz. Ancak nZCB (Nearly-zero Carbon Building) veya nZCC (Nearly-zero Carbon City) olabilirler. Bu hesaplardan çıkarılacak yeni dersler özetle, enerji türlerinin ideal Karno çevrimine göre nitelik farkları gözetildiğinde, söz konusu bina net-sıfır enerji binası gibi gözükse de aslında sistemle arasında olması gereken kalite kırılmalarında eşitlik koşullarını sağlamadığı görülmektedir. Örneğin, bu ev bölge enerjisi sisteminden 40°C sıcaklıkta su alırken kendi ürettiği suyu sisteme 30°C sıcaklıkta vermektedir. Elbette bunun sıcaklığa bağlı kalite farkından dolayı maliyetten öte bir çevresel bedeli ve CO₂ salım karşılığı olacaktır. Bu salıma ΔCO₂ yani neredeyse-önlenebilir salım diyoruz. Neredeyse-önlenebilir denmesinin nedeni kalitedeki yıkımlar hiçbir zaman sıfırlanamaz ve bu yıkımların geri kazanım imkânı da yoktur. Hiç görmek istemediğimiz bedel bölge enerjisi sistemine hem suyu 30°C dan 40°C a ısıtmak üzere fosil yakıt yükünün neden olacağı doğrudan CO₂ salımı, hem de kalite dengesizliğini gidermek için ortaya çıkacak ΔCO₂ salımlarında görülecektir (Şekiller 6 ve 7). Enerjideki nitelik farklarının binanın sistemle yaptığı paylaşımında net-sıfır enerji (Ekserji) kalitesinde olmadığı görülmektedir ve sistemin, dolayısı ile, ülkenin enerji bilançosunda bir enerji kalitesi açığı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle NZEB yerine NZEXB (Net-Sıfır Ekserji Binası) tanımı gerekmektedir.

Nicelik Dengesizlikleri

- (10000-13000) kW-h = -3000 kW-h elektrik enerjisi,
- (20000-25000) kW-h = -5000 ısı
- (10000-2000) kW-h = +8000 kW soğuk.

Toplam Niceliksel Dengesizlik 0 kW-h (NZEB ama ZCB: Net Sıfır Karbon Binası değil).

Bina ve bölge enerji santrali taraflarından bakıldığında salım sorumlulukları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. Bina ve Bölge Enerji Sistemleri Arasındaki Dengesizlikler (i)

Enerjinin Nitelik Dengesizliklerinden Kaynaklanan ΔCO_2 :

Enerji nitelik farklarından kaynaklanan ΔCO_2 karşılıkları aşağıda hesaplanmıştır.

Elektrik için = $0.63 \times 2850 = 1799.5 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

Isıtma için = $0.27 \times 159.5 = 43.06 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

Soğutma için = $-0.27 \times 80 = -21.6 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$

ΔCO_2 ara toplam = 2821 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$

(iv)-Karşılıklı Isı ve Güç Paylaşımının Farklı Süreçlerde Olması:

Elektrikte: Bina, PV panellerde 10000 kW-h elektrik üretmekte buna karşılık 13000 kW-h elektrik enerjisini muhtemelen termik bir santralden almaktadır. Aradaki fark olan 3000 kW-h elektrik enerjisinin CO_2 karşılığı elektrik üretim, dağıtım ve gerilim değiştirme kayıpları göz önünde tutularak doğal gazlı termik bir kombine çevrim santral tabanında en az **2500 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$** dır.

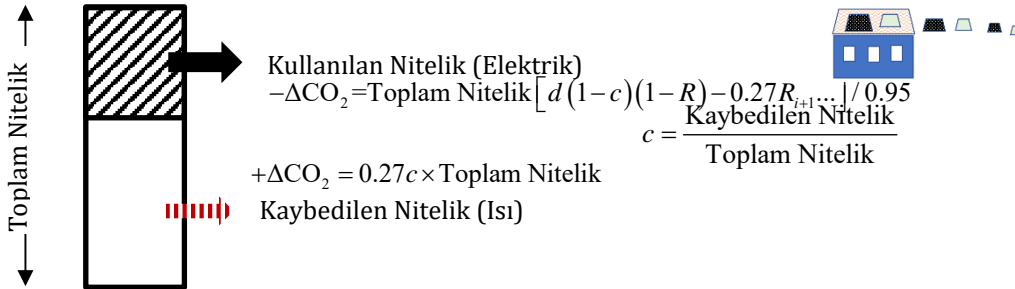
Isıtmada: Bina 20000 kW-h ısı üretmekte buna karşılık 25000 kW-h ısı almaktadır. Aradaki fark muhtemelen doğal gazlı kazanlarda üretilmektedir. $25000 \times 0.2/0.8 = \mathbf{6250 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}$

Soğutmada: Bu kez bina tükettiğinden daha fazlasını sisteme vermektedir. Bu nedenle CO_2 salımı eksidir. 0.2 doğal gazın birim CO_2 içeriği, 0.4 şebeke ve güç üretim toplam verimi, 4 ise ısı pompasının tesir katsayısıdır. $(2000-10000) \times 0.2/[0.4 \times 4] = \mathbf{-1000 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}$.

CO_2 ara toplam = 7750 kg $\text{CO}_2/\text{yıl}$

(ii)- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeterli Akılda Kullanılmaması:

Bina çatısındaki PV paneller sadece elektrik üretmektedir. Halbuki ısı da üretebilirlerdi (PVT). Düzlemsel toplaçlar da sadece sıcak su yerine elektrik de üretebilirdi (PVT). Üretmediği ısı kadar güneş enerjisinin kalitesinden kayıp ortaya çıkmaktadır ve dolayısı ile bina çatısındaki güneşlenme alanı çok akılcı kullanılmamaktadır. Bu durum prensip itibarı ile bir jeneratör için de geçerli olup, jeneratörün atık ısı da değerlendirilebilirdi (Birlikte üretim: Kojenerasyon veya üçlü üretim: Trijenerasyon). Bu eksikliğe de karşılık gelen ayrı ve önemli bir ΔCO_2 sorumluluğu bulunmaktadır. PV panelin değerlendirmeyip havaya attığı ısı kadar küresel enerji stokunda kayıp oluşmaktadır. Bu ısı kaybını enerji bağlamında telafi etmek (ofset) için başka bir yerde, başka birileri, başka bir sistem ve yakıt kullanıp kaybedilen ısı kalitesine denk ısı üreteceklerdir.



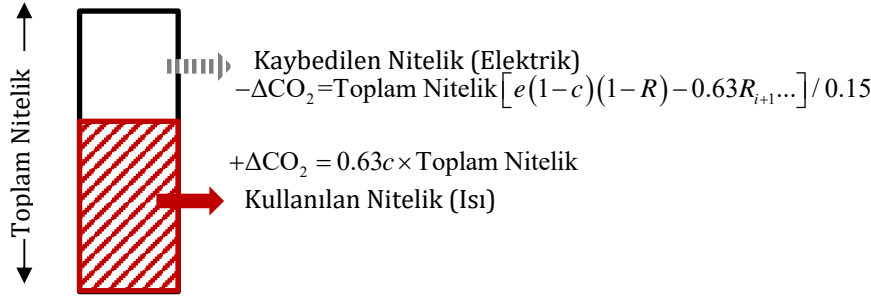
Şekil 6. Enerjinin Kaybedilen Niteliği Kullanılan Nitelikten Sonraki Durumlarda ΔCO_2 Sorumluluğu

0.27 çarpanı bu başka sistemin doğal gazlı ve 0.85 verimli bir kazan varsayışıdır [13]. Buna karşın, PV panelin kullandığı nitelik kadar ürettiği elektrik gücü (Kullanılan nitelik/0.95) küresel enerji stokuna fosil yakıt tasarrufu bağlamında katkı sağlanmaktadır. R terimi başka sistemlerdeki yenilenebilir enerjinin pay oranıdır. d katsayısı fosil yakıt türüne ve üretim elektrik dağıtım ve nakil verimlerine bağlıdır. Örneğin, ulusal şebekede doğal gazlı, kombine çevrim santrali için bu değer yaklaşık 0.5'dir. Ancak ısı üreten yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi ΔCO_2 salımları mevcuttur (Şekil 7). Bu nedenle, Şekil 6 ve 7 arasında sonsuz bir döngü oluşur, ΔCO_2 sıfıra yakınsamaz, sadece azaltılabilir. Sonuç olarak, güneş enerjili basit bir PV panelin bile net ΔCO_2 salımı seri biçimde uzayıp gider:

$$+\Delta\text{CO}_2 = \text{Toplam Nitelik} \left[0.27c - \frac{d}{0.95}(1-c)(1-R) - 0.27c_{i+1}R_{i+1...} \right]$$

Onun içindir ki bu salımlara neredeyse-önlenebilir salımlar denmektedir. Aynı durum bu kez elektrik üretmeyip sadece ısı üreten düzlemsel güneş toplacı ve kazan için de geçerlidir. Burada 0.63 çarpanı elektrik kalitesinde kaybedilen enerji niteliğinin enerji bağlamında doğal gazlı bir kombine çevrim santralinde telafi edileceğini varsaymaktadır. e katsayısı fosil yakıt türüne ve toplam ısı üretim ve - varsa- bölgesel ısı şebekesindeki dağıtım verimlerine bağlıdır. 0.15 ise ısının kentsel ısıtma uygulamalarındaki ortalama ısı kalitesidir. Terimlerin sadeleştirilmiş şekli ile söz konusu kısır döngünün toplam ΔCO_2 ifadesi $\Delta\text{CO}_2 \geq (0.63+0.27)\text{CO}_2 \times 1.1 \geq \text{CO}_2$ şeklinde yazılabilir. Soğutma kulelerindeki gibi denetimsiz biçimde atmosfere salınan su buharının sera gazı etkisi CO_2 salımlarının

yaklaşık iki katıdır. Termik ve nükleer santraller, yakıt pilleri ve ısı pompalarının ve yoğuşmasız kazanların (kısmen de yoğuşmalı kazanlarda geri kazanılmayan su buharı dahil olmak üzere) su buharı salımlarının da CO₂ eşlenikleri göz önünde tutulduğunda şimdiye kadar hesaplara hiç dahil etmediğimiz ΔCO₂ salım odaklarının atmosferde ölçüp gördüğümüz miktarın (CO₂) en iyimser bir tahminle %100 üne denk olduğu açıktır. Bu nedenle, küresel ısınmaya karşı alınan mevcut önlemler de çözümün sadece yarısıdır.



Şekil 7. Enerjinin Kaybedilen Niteliği Kullanılan Nitelikten Önceki Durumlarda ΔCO₂ Sorumluluğu (Düzlemsel Sıcak Su Toplacı veya Kazan Gibi)

Bu hesaplar kullanılarak Şekil 4 de gösterilen evin güneş enerji sistemlerden kaynaklı ΔCO₂ sorumlulukları yaklaşık olarak PV sistemi için 1400 kg CO₂/yıl, düzlemsel toplaçlar için ise 350 kg CO₂/yıl olarak bulunmuştur: ΔCO₂ Toplamı 1750 kg CO₂/yıl.

Halbuki güneş enerjili sistemler sıfır salımlı sistemler olarak bilinir değil mi?

(iii) Isı Pompası. Bu cihazın elektrik tüketip daha düşük kalitede ısı veya soğuk üretmesi nedeni ile kalite kaybı oluşmaktadır. Tipik bir toprak kaynaklı ısı pompasının iç mekân konfor klimasındaki enerji kaynaklarını akılcı kullanım ölçütü, ψ_R yaklaşık 0.15 değerindedir. Binada 3 kW elektrik güç talebi olan bir ısı pompasının yılda 3500 saat çalıştığı da varsayılırsa bunun ΔCO₂ karşılığı,

$$\Delta CO_2 = 0.63 \times 3 \text{ kW} \times 0.95 (1-0.15) \times 3500 \text{ h} = \mathbf{5342 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}} \text{ olur.}$$

Burada 0.63 çarpanı kullanılmıştır zira kaybedilen kalite elektrik gücüdür.

Ayrıca, ısı pompasının tesir katsayısının yıl ortalaması o binanın gerçek anlamda akılcı olabilmesi için gerekli olan 8 değerinden [13] azdır ($COP = 4$). Bu nedenle söz konusu ısı pompası santralden gerekenden iki kat fazla elektrik enerjisi talep etmektedir. Yaklaşık bir hesaplama:

$$CO_2 = 3 \text{ kW} \times 3500 \text{ h} \times (1/4-1/8) \times 0.2/0.4 = \mathbf{656 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}.$$

Ayrıca söz konusu ısı pompası içerdiği soğutucu akışkan (Örneğin 1.5 kg) nedeni ile ozon tabakasına yıl boyu zararlı gaz sızdırmaktadır (LR , örneğin %15). Kullanılan gazın türüne göre gazın bir de küresel ısınma potansiyeli vardır (GWP , örneğin 1200). Bu değerlere kullanılarak soğutucu akışkan gaz sızıntısının CO₂ eşleniği aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$CO_2 \cong \left(\frac{1200}{1} \right) \left(\frac{15}{100} \times 1.5 \text{ kg} \right) = \mathbf{270 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}}.$$

Bu ısı pompasının toplam CO₂ sorumluluğu 6268 kg CO₂/yıl olur. İmalat ve malzeme gömülü salımları dahil değildir. Soğutma rejiminde iç mekândan çekilen nem ve ısı sonuç itibarı ile atmosfere atılmaktadır. Bu hesaplara su buharının ve atmosfere atılan ısının sera etkileri de eklenmelidir [4].

Tablo 1. Şekil 4 de gösterilen Dört Sorumluluk Bölgesinin CO₂ salımları

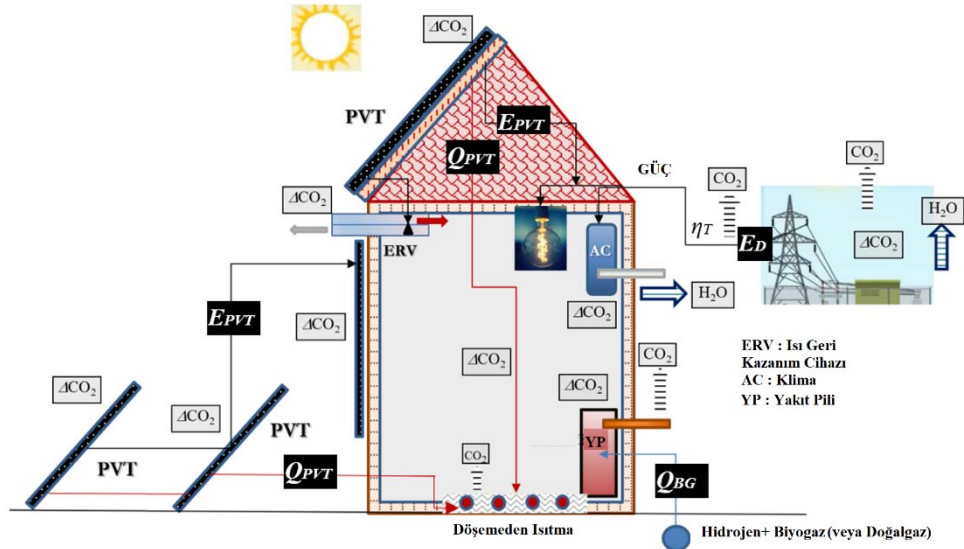
CO ₂ , kg CO ₂ /yıl ve Yüzdeler	CO ₂ Salım Sorumluluk Bölgeleri (Şekil 4)			
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)
CO ₂	2821	1750	6268	7750
Toplam	18589			
%	15.2	9.4	33.7	41.7

Görüldüğü gibi, bu binanın hiç bacası yok ama CO₂ salım sorumlulukları oldukça fazladır. Bu bacasız binanın yılda toplam 18.6 ton karbondioksit salımından dolayı da olsa sorumludur. Bu miktarın 10 tonu

ise şimdiye kadar hiç hesap edilmeyen ve 2. Yasanın gösterdiği ΔCO_2 salımlarıdır ve CO_2 salımına (8.6 ton) oranı 1`den fazladır (1.16). Bu sonuçta gösteriyor ki, küresel ısınmaya karşı net-sıfır binaların tasarım, tanım, tarif ve işletimlerinde yeni bir düşünce tarzına ihtiyacımız vardır ve yeni bir metot bulmamız gerekmektedir. Aslında bu metot 1850`li yıllardan beri Termodinamiğin 2. yasasında (Rudolf Clausius ve William Thomson-Kelvin) saklıdır ama bu şekilde kullanmak düşünülmemiştir bile.

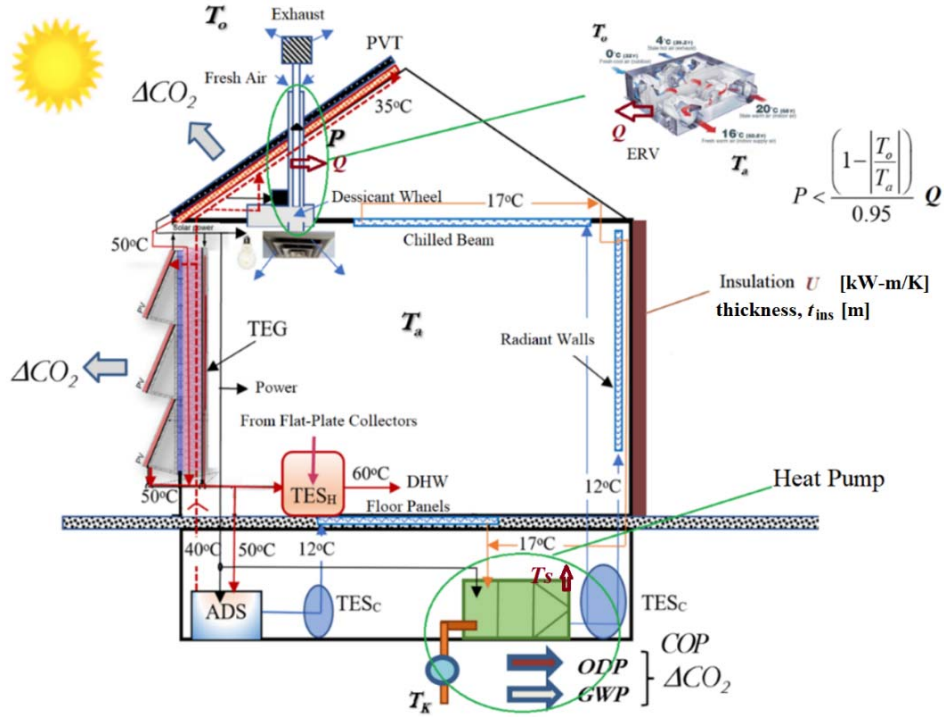
3. GERÇEK NET-SIFIR ENERJİLİ BİNA TASARIM ÖRNEKLERİ

Şekil 8 ve Şekil 9 da iki ev tasarımı gösterilmektedir. Şekil 8`deki ev bölge enerji sistemine bağlı olup biyogaz, gerektiğinde doğal gaz ve yüzde 20 oranında hidrojen karışımı yakıtı bölge enerji sisteminden almakta, buna karşılık ürettiği elektrik ve ısıyı sistemle paylaşmaktadır. Temin ettiği yakıtın kalitesi ekserji anlamında 0.88 kW/kW, temin ettiği ve sağladığı elektrik gücünün 0.95 kW/kW, ısının ise 0.15 kW/kW olması ile bu ev sisteme geri verdiği elektrik ve ısının miktarlarını ayarlayarak NZEXB statüsünü koruyabilmektedir. Buda gösteriyor ki “akıllı” binaların akıllı da bina otomasyonunda ekserji aklı ile çalışma durumundadır. Hidrojen ise örneğin, Karadeniz suyunda büyük miktarlarda bulunan H_2S gazının dalga, rüzgâr ve güneş enerjilerinden hidrojen üretmek üzere özel imal edilmiş bir hidrojen gemisinde Karadeniz`de yüzde-yüz yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilip mekik hidrojen gemileri ile kıyıya, örneğin Sinop kentine taşınmaktadır. Böylelikle Sinop kenti hidrojen kentine ve NZEC (Net-Zero Exergy City) statüsüne kavuşabilecektir [14]. Şekil 9 da ise Akdeniz iklimine uygun ve bölge enerji sisteminden bağımsız bir güneş evi gösterilmektedir. Bu bağımsız güneş evi ZEB statüsünde ve karbondioksit salımlarını da optimum tasarımla en az düzeye indirdiği için nZCB türünde bir yapıdır.

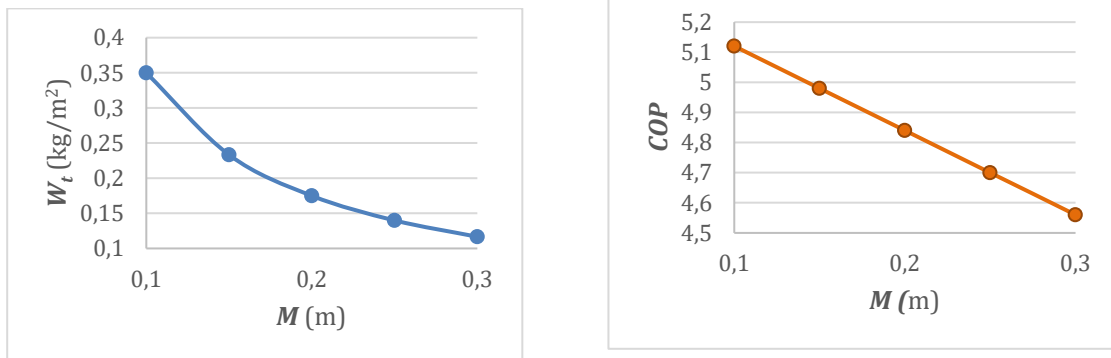


Şekil 8. Net Sıfır Enerjili Hidrojen Evi ©2020, B. Kılış

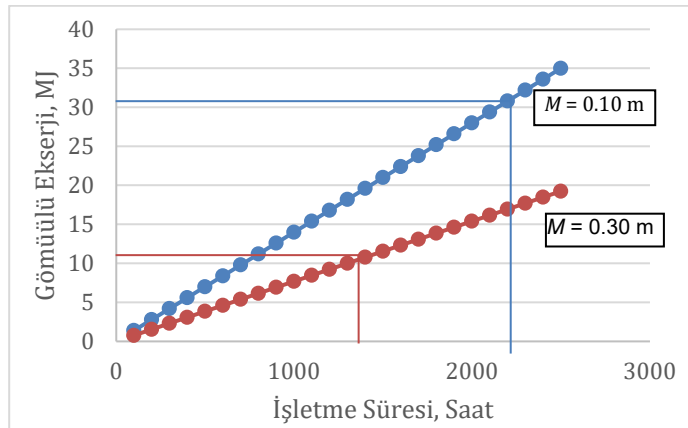
Şekil 9`da yer alan ısı pompası ile döşemeden ısıtma panel performansı arasında doğrudan ilişki bulunmaktadır. Panel (Döşeme) içerisindeki boru demetlerinin arasındaki mesafe, M ne kadar azalırsa boru malzemesi ve işçilikle ilintili gömülü enerji malzemesi ağırlığı W_t cinsinden olmak üzere, ekserji ve CO_2 salımları o denli artar. Buna karşılık ısı pompasının COP değeri dolayısı ile işletme kazancı artar ve uygun bir geri ödeme planı ortaya çıkar. Şekil 10`da gösterilen ilişkiler çerçevesinde Şekil 11 de örnek bir uygulama gösterilmiştir. Bu uygulamada, M arttıkça COP değerinin azalmasına karşın geri ödeme süresi kısalabilmektedir.



Şekil 9. Karbonsuzlaşmada Akdeniz Güneş Evi, ZEB ama ZCB değil sadece nZCB ©2020, B. Kılış



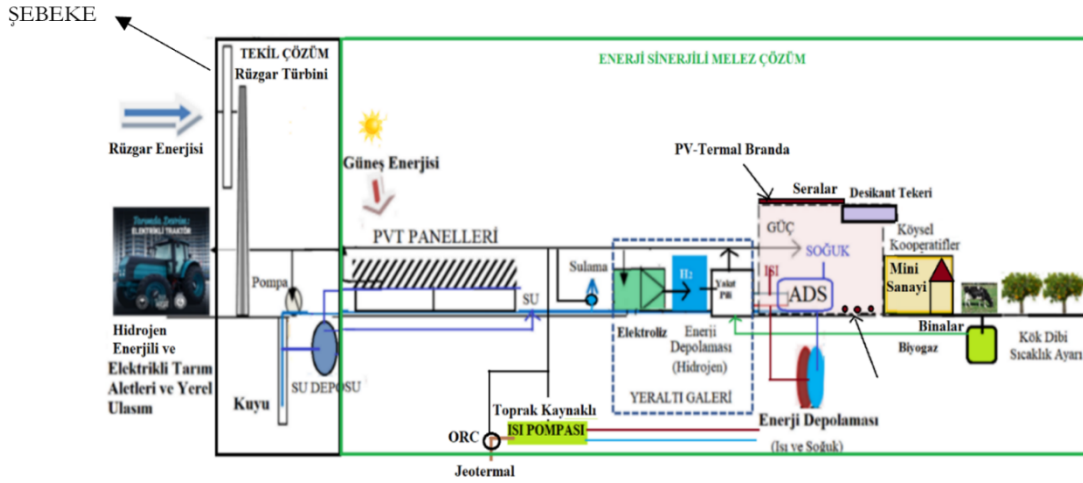
Şekil 10. Merkezler-Arası Boru Aralık Mesafesi, M ile Malzeme Gömülü Giderleri ve COP Değişimi



Şekil 11. Gömülü Ekserjinin Isı Pompasının COP Değerindeki Artışla Geri Dönüşü

4. NET-SIFIRDA TARIM VE HAYVANCILIK

Günümüzün yavaş kentlerinde tarım hayvancılık ve ilgili endüstri artık kentlerin ayrılmaz birer parçası olarak görülmektedir. Bir diğer nedenle de tarım ve hayvan kökenli biyogaz üretiminin kentsel atıklar ile buluşturulmasındaki fiziksel kolaylıktır. Şekilde 12 da gösterildiği üzere bu tür bir tarım ve hayvancılık kooperatifi sinerjisi şebeke elektriğine de gerek duymayabilmekte bilakis -eğer şebekeye bağlı ise-şebekeye elektrik bile satabilmekte, böylelikle kendi tarım sigortası havuzunu kooperatif bünyesinde imcece usulü ile oluşturabilmektedir [15]. Su gereksinimini de kendisi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayabilmektedir. Çiftçilerin en büyük sorunu hala çözülemeyen elektrik faturaları ve faturalar kabardıkça da bazen dağıtım şirketlerinin trafosu söküp götürmesi, faturalar ödense bile bu kez trafo ve bağlantı ücretleri tahsil etmek istemesidir. Küresel ısınma kaynaklı atmosferik anomalilerin giderek artması sonucu devletin yürüttüğü sigorta havuzunun (TARSİM) çökme durumuna gelme olasılığına karşı, tarım ve hayvancılıkta bu tür uygulamaları sigorta sisteminden daha fazla desteklemesi de akılcı bir yaklaşım olacaktır. Bu proje önerisinde karbondioksit salım sorumlulukları sıfıra yaklaşmakta, hayvansal atıklardan biyogaz üretilmektedir. Rüzgâr ve güneş enerjisi, gerektiğinde tesir katsayısı yüksek olmak kaydı ile ısı pompaları da kullanılarak oluşturulan enerji sinerjisi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çok amaçlı ve en akılcı biçimde değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu projede hidrojen yakıtlı tarımsal mekanizasyon ve hareketlilik (mobilite) de sıfıra yakın salımlıdır.



Şekil 12. Bütüncül Sinerjili Yeşil Tarım ve Hayvancılık Köy Kooperatifi ©2020, B. Kılış [15]

5. OLUMSUZ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

1- `Net-Sıfır Enerjili` Orta Okul

ABD'nin Oregon eyaletinde bulunan the Hood River Ortaokulu ülkede ilk net-sıfır enerji devlet okulu olarak LEED Platin sertifikasına layık görülmüş, Energy Star değerlendirmesinde de 100 puan almıştı (Şekil 13). 1.ci Yasa uyarınca bu bina pasif enerji binasıdır [16].



Şekil 13. LEED Platin Sertifikalı Hood River Ortaokulu

Binanın uygun çatı alanlarında yerleşik PV paneller tasarım koşullarında 35 kW elektrik üretmekte, paneller altından geçen doğal hava akımı ile de PV panellerin soğutulmasına ve bir miktar ısının binada değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu ısının yararlı bölümünün 75 kW olduğu ve sıcaklığının da 45°C olması durumunda elde edilen toplam ekserji:

$$E_x = 35 \text{ kW} \times 0.95 \text{ kW/kW} + 75 \text{ kW} \times \left(1 - \frac{283 \text{ K}}{[273+45] \text{ K}} \right) = 41.5 \text{ kW}$$

7°C-12°C 100 kW soğutma yükünde PV panellerin ürettiği elektrik gücünün, ortalama COP değeri 3 olan bir toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden karşılanmasına yeterli olabileceği (%100 yenilenebilir enerji) düşünülse bile ortaya ekserji yıkımı ve CO₂ salım sorumluluğu çıkmaktadır:

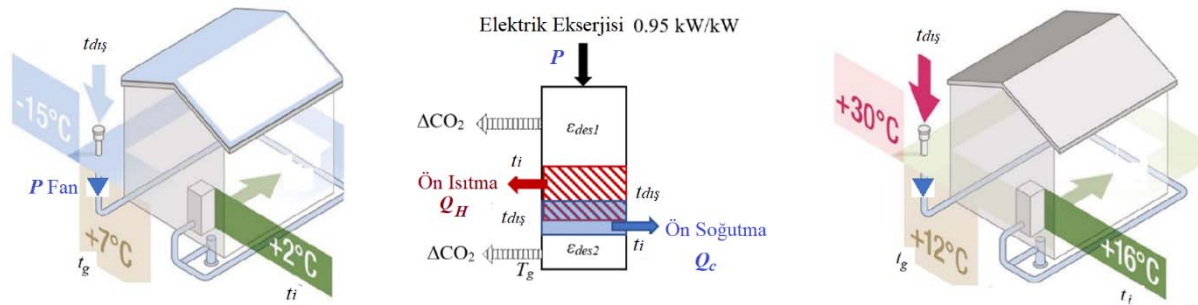
$$E_{x_{des}} = (35 \times 0.95) - 35 \times 3 \times \left(1 - \frac{280}{285} \right) = 33.25 - 1.84 = 31.4 \text{ kW}$$

Söz konusu ekserji yıkımının neden olduğu CO₂ salımı: $\Delta CO_2 = 0.27 \times 31.4 = 8.5 \text{ kg CO}_2/\text{h}$

Bu salıma binadaki ve PV destekli ısı pompası sistemindeki diğer ekserji yıkımları dahil edilmemiştir ve söz konusu salım sorumluluğu, bir saatte 100 km yol giden bir SUV cipin egzozundan saldığı CO₂ salımına eşittir. Isı pompasının kullandığı soğutucu akışkanın neden olduğu ODP, GWP etkileri, ayrıca ısı pompasının COP değerinin 8'den az olması nedeni çevresel sorunlar bu okulun değerlendirilmesinde göz ardı edilmiştir. Sonuç itibarı ile bu okul bugünkü tasarımı ile %100 yenilenebilir enerjili ve hatta net-sıfır enerjili olabilir ama net-sıfır ekserjili, sıfır karbon salımlı ve Ekserji-Pasif bina asla olamaz.

2. Labirent Sistemi

Şekil 14'de uluslararası pazarlarda satılan ve toprak altında açılan yapay galerilerde taze havanın yazın ön soğutmasının ve kışın da ön ısıtmasının yapıldığı bir sistemin çalışma esasları özetlenmektedir [16]. Bu sistemde soğuk (veya sıcak) dış taze hava labirentten P gücündeki bir elektrikli fan yardımı ile dolaştırılarak ısıtılmakta (kışın, Q_H) veya soğutulmaktadır (Yazın, Q_C). Sistemin ekserji-akılcı olabilmesinin çözümündeki koşul $P \times 0.95$ fan gücü ekserjisinin $Q_H(1 - ([273+t_{dış}]/[273+t_i])$ kazanılan ısı güç değerinden az olması gerekir. Bu koşul yazın $Q_C(1 - ([273+t_i]/[273+t_{dış}])$ şeklindedir. Yıkılan birim ekserjiler oranında ise ΔCO_2 sorumluluğu bulunmaktadır. Gerekli ekserjik koşullar sağlanmadıkça, örneğin, kış rejimi için P 0.25 kW gücünden fazla seçilirse, yeşil olarak tanıtilen bu sistemin çevresel katkısı olmayacaktır.



Şekil 14. Taze Havanın Ön Isıtma ve Soğutma İşlemi İçin Labirent Sistem [17]

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyanın ilk akıllı binası olan 38 katlı Hartford City Place binasının hizmete girmesinden (1984) tam 36 sene geçti. O yıllarda akıllı binadan anlaşılanlar yangın, güvenlik ve ofis otomasyonu, ileri düzey haberleşme ağı, konfor ve enerji sistemlerinin otomatik izleme ve denetiminden ibaretti [18]. O yıllardan bu yana akıllı bina tarifinde görünürde birçok değişiklikler olmasına karşın bina ısıtma, soğutma ve klima sistemlerinde son yüzyılı aşkın süredir olduğu gibi temel ve çok yenilikçi gelişmeler yaşanmadı. Diğer bir deyişle bina enerji sistemleri boyutunda temel teori ve uygulama hep aynı kaldı. Aslında bina konfor sistemleri dünyada son yüz yılı aşkın süredir atılım yapamayan ender sektörlerden

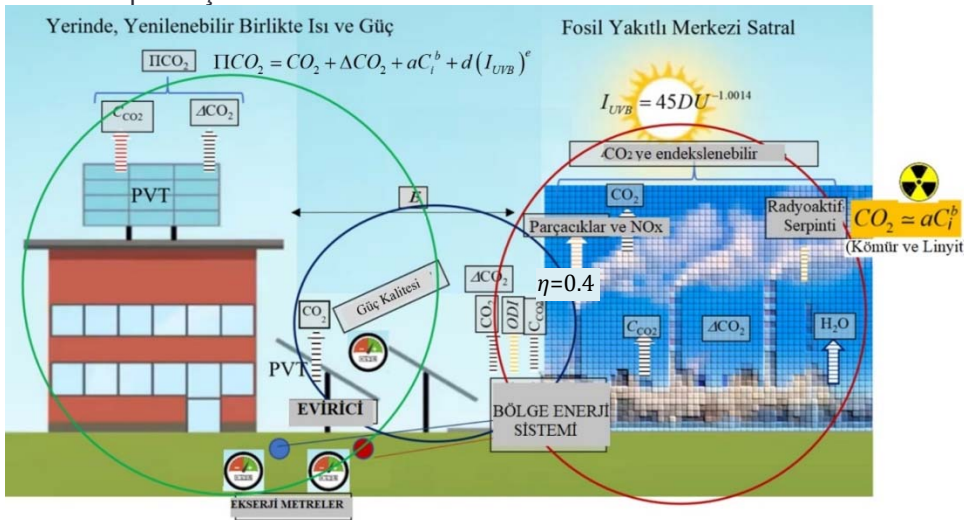
birisidir. Nitekim ASHRAE 7.5 ve 1.6 teknik komitelerinin akıllı bina tariflerinde 1980'li yıllardan beri çok değişiklik görülmemektedir bu tanımların enerji boyutu ASHRAE Standardı 90.1'de, o da sadece 1. Yasa çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu durumda, NZEB tanımından NZEXB tanımına geçmek hayli zor olacaktır. Örneğin, tekil PV ve düzlemsel sıcak su toplalarının melezi olan PVT sistemleri, bina yalıtımlarının TS 825 öngörülerinden öte ısı pompası etkinliğini de hesaba katan ısı yalıtımları, ısı pompalarının tesir katsayılarının sekiz değerinin üzerine çıkarılmaları, hidrojen ekonomisine önem verilmesi, ısı geri kazanım ünitelerinin ekserji boyutunda tasarlanmaları ve bölge enerji sistemlerinde pompaj giderlerinin gene ekserji tabanında ele alınması gibi yenilikçi ve konunun arka planına dikkat eden bütüncül çözümler küresel kriz sorununun çözümlenmesinde önemli görevler paylaşacaklardır. Konuya bu gibi bütüncül ve 2. Yasa tabanında bakıldığında, akıllı bir bina 2. Yasa uyarınca akıllı bir bina olamayabilir, yani enerji kaynaklarını akıllı kullanım fonksiyonlarına ve mantığına sahip olmayabilir, olsa olsa akıllı alt yapısı ile kolaylaştırıcı bir görev üstlenebilir. Bu bağlamda, enerjide akıllılık yerine akılcılık ön plana çıkmaktadır. Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planında da artık *Akıllı Şehirler* ve *Akıllı Binalar* deyimi yer almalı ve küresel krize enerji alanında bütüncül bakmanın yararları konusunda farkındalık kazanmalıyız. Aynı sorun Avrupa ülkelerinde de yaşanmaktadır. AB'nin geliştirmekte olduğu ve bina enerji performans belgelerine ek olarak hazırladığı "Akıllıya Hazır Olma Göstergesi" (The European Smart Readiness Indicator, *SRI*) gene dijitalleşim, otomasyon, haberleşme ağları gibi kalıplaşmış boyutlara hazır olma ölçütünden başka bir şey değildir [19]. Diğer bir çalışmada [20] yenilenebilir enerji kaynakları ile üreten tüketiciler arasındaki talepleri dengeleyecek akıllı enerji sistemlerini (Power Matcher) geliştirilmektedir. Bu projenin olumsuz yanı sadece elektrik gücünü içermesi nedeni ile enerjinin sadece niceliği üzerinde durmaktadır. Halbuki bu çalışmanın *Exergy Matcher* olması ve bu kapsamda ısı ve soğuk güçlerine de yer vermesi gerekirdi. Bu atılımlar yapılmadıkça Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar yüzde yüz yenilenebilir enerjilerle ısıtma ve soğutma hedefinin [21] yakalanması mümkün olmayacaktır. Günümüzde binalar artık yalnız değildir. Günümüzde Avrupa'nın bazı ülke kentlerinin yarısından çoğu bir şekilde bölge enerji sistemlerine, dolayısı ile diğer binalara bağlıdır. Bu nedenle sıfır enerjili binalar artık anlamını tamamen yitirmiş, bunu yerini net-sıfıra yakın ekserjili binalar ve kentler almıştır. Şekil 13'de binaları ve kentleri görmemiz gereken yeni bir bütüncül perspektif sunulmaktadır. Bu yazıda birçok kez yer verildiği gibi Şekil 15'deki bütüncül farkındalık da oluşmadıkça küresel krizin ancak yarısını çözebileceğiz. Artık kalorimetre yerine ekserji metre kullanmamız gerekliliği de bundandır. Bu perspektifte en önemli çözüm anahtarı ise ψ_R değerinin çok artırılmasıdır. Bu gereklilik aşağıdaki şekilde açıklanabilir ve nitekim Tablo 1'deki örnek çözümde de görülmektedir.

$$CO_2 \text{ toplam} = CO_2 + c(1 - \psi_R) = 0.45 + 0.5(1 - \psi_R) = 0.45 + 0.5(1 - 0.2) = 0.41 + 0.40.$$

Burada, $c = (0.27 \text{ ve } 0.63)/2$, yaklaşık 0.5 alınabilir.

$$CO_2 = \text{Yakıtların birim salımı/verim (1 Yasa: Enerjinin miktarı, nicelik)} = 0.35/0.85 = 0.41 \text{ (Yaklaşık)}$$

Görüldüğü üzere bu yaklaşık teorik çözümde de ΔCO_2 'nin CO_2 ye oranı 1'e yakındır ve biz bunu görmüyoruz daha da olumsuz yanı görmek istemeyip ihmal ediyoruz. O zaman da küresel krizin kesin çözümün çok uzağında kalacağız. Bu alanda net-sıfır binaları da önemli oranda sorumlu olacaklardır. Bu bağlamda, enerji tüketiminin yaklaşık %40 kadarının binalarda olması nedeni ile net-sıfır veya sıfır binalar ön plana çıkmaktadır.



Şekil 15. Net-Sıfıra Yakın Ekserjili Bina (Üreten Tüketici) ve Kent Modeli ©2020

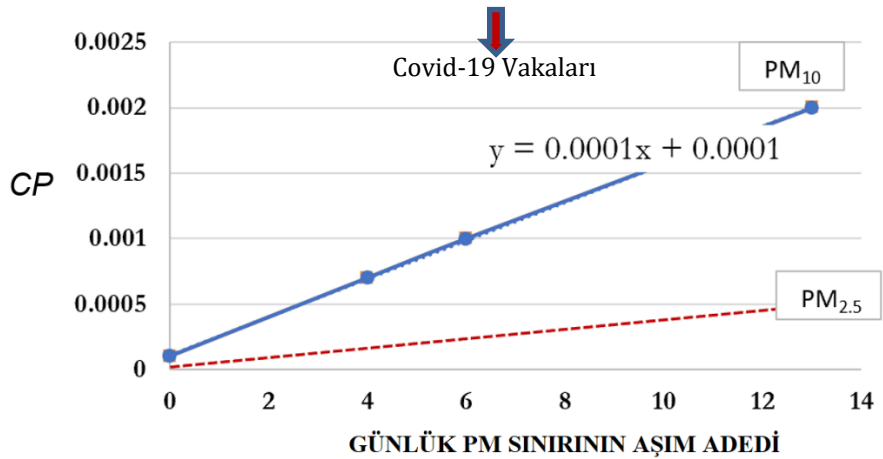
Demek oluyor ki, enerjide nitelik nicelikten önemli hale gelmiş ve 2. Yasa akıllı kent ve binaların akılcılığa devşirilmesinde olmazsa olmaz konumuna gelmiştir. Bu yazıda bu alışılmamış gerçekler vurgulanmış ve çözüme yönelik çok yeni tanımlar ve örnekler getirilmiştir. Örneğin, net-sıfır enerji (NZEB) yerine net-sıfıra yakın ekserji binasının (nZEXB) enerji kaynaklarında gerçek akılcılığın vazgeçilmez tanımı olduğu gösterilmiş, bu bağlamda sıfır karbon binasının da olamayacağı, ancak sıfır karbona yakın binaların olabileceği gerçekçiliği üzerinde durulmuştur (nZEXB). Artık nitelik nicelikten daha önemli bir hale gelmiştir. Ne yazık ki, hala doğal gazın önemli bir bölümünün (Sanayi payından daha fazla) binalarda ısıtmada, mutfak ve banyolarda kullanımını sadece yaklaşık %6 akılcılıkla da olsa öngörürken binaların akıllı ve verimli olduklarını varsaymaktayız (Kazan verimi en az %80). Bu zihniyetin değişmesinin gerekliliği ortadadır. Ayrıca ulusal kaynaklarımızın çeşitlilik ufkunu ve farkındalığını da genişletmemiz gerekmektedir. Sadece doğal gaz aramalarına-haklı gerekçelerle-önem verirken diğer kaynaklarımıza da önem hatta öncelik vermeliyiz. Örneğin Karadeniz'in yetki sınırları içerisinde deniz suyundaki H₂S gazından gene Karadeniz üzerindeki rüzgâr, dalga ve güneş enerjisinden yararlanarak hidrojen üretimi ile kentlerimizin ve yapılarımızın daha akılcı hale dönüşmesi mümkündür [14]. Yapılan son tıbbi araştırmalar göre enerjinin en az %35'ini tüketen binaların oluşturduğu hava kirliliği Covid-19 vaka artışının en az %15'inden sorumludur. Bu orana insanların kapalı mekanlarda yaşamalarının ve yakın temaslarının etkisi dahil değildir. Şekil 15'de gösterildiği gibi, binaların güç talep ettikleri termik santrallerin oluşturduğu kirlilik de dahil edildiğinde birim nüfusa dayalı vaka sayısı (CP) ile dört boyutlu CO₂ salımları (ΠCO₂) arasında doğrusal bir eşitlik bulunmuştur. NO_x ve ΠCO₂ arasındaki ilişkiyi veren (f) oranının küresel ortalaması 0.05 alınmıştır.

$$CP = (0.000035f \times \Pi CO_2 + 0.0001) \quad \{En\ az\ olmalı\} \quad (1)$$
$$I_{UVB} = 45DU^{-1.0014} \quad (2)$$

$$\Pi CO_2 = CO_2 + \Delta CO_2 + aC_i^b + d(I_{UVB})^e \quad (3)$$

Toplam Doğrudan N. Önlenebilir Radyasyon Ozon Seyrelim

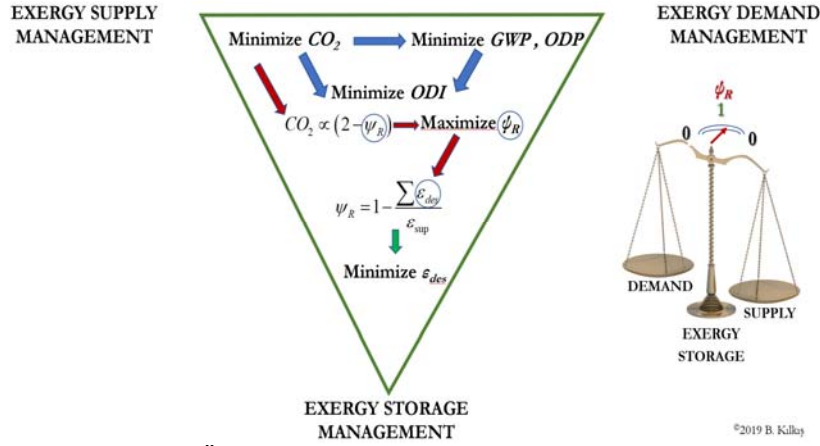
$$PM_{2.5} = f \Pi CO_2 \quad (4)$$



Şekil 16. NO_x Salımlarının Bir Gündeki Sınır Değerleri Aşma Adedine Göre Vaka Sayısı Nüfus Oranı, CP

Şekil 16` da görüldüğü üzere, günlük PM (Part per million) sınırının aşım sayısı ile (CP) arasındaki doğrusal ilişkiden hareketle, kendileri karbondioksit salmasa bile sorumlu oldukları salımlardan ve ozon tabakasını seyreltici soğutucu akışkan kullanmaktan ve güç alışverişinde buldukları termik santrallerden hatta jeotermal santrallerden oluşan radyoaktif serpintilerden dolayı vaka sayıları artmaktadır. Bu nedenle neredeyse önlenebilir salımlardan sorumlu olan tüm binalar, ki buna net-sıfır enerjili binalar, sıfır karbon binaları da dahildir, bundan böyle sadece yeşil değil güvenli ve pandemi dirençli binalar tanımı kullanılmalıdır. Bunun da çözümü net-sıfıra yakın ekserjili binalar olmalıdır. Nitekim, TSE Güvenli ve Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemi kısmen de olsa bu tanımı değerlendirmektedir. Bu makalede önlenebilir CO₂ salımlarının göz ardı edilmeye devamı durumunda

küresel krizin de devam edeceği vurgusu bağlamında, Dünyayı politikacılar ve salt ekonomistler idare ettiği sürece küresel ısınma ve buna bağlı sorunlar artmaya devam edecektir. Şekil 17’de görüldüğü üzere artık kâğıt paranın hala geçerli olduğu borsaların önemi giderek çevre, sağlık, pandemi, hava kirliliği ve küresel kriz altında ezilmekte ve terazinin bir kefesini diğer yöne basmaktadır.



Şekil 17. Ekserji, Çevre, Sağlık Üçlemesi

7. SİMGELER

a, b, d, e	Eşitlik 3 çarpanları ve üssü
c	Yıkılan ekserji/toplam ekserji
C_i	Radyoaktif serpinti Curie değeri
C	Soğuk, kW-h
CP	Vaka sayısının birim nüfusa oranı
DU	Dobson Birimi (Ozon Tabakası İçin)
E	Elektrik enerjisi, kW-h
E_{Xdes}	Ekserji Yıkımı, kW
f	NO_x ve PCO_2 arasındaki ilişkiyi veren küresel ortalama
GWP	Küresel ısınmaya katkı potansiyeli
I_{UVB}	Yeryüzüne ulaşan UVB Işını değeri
M	Panel Isıtma veya soğutma sisteminde boru merkezleri arası mesafe, m
ODP	Ozon katmanını inceltme potansiyeli
PM	Milyondaki parça sayısı, ppm
Q	Isı, kW-h
R	Enerji stokundaki yenilenebilir enerji payı
t	Sıcaklık, °C
T	Sıcaklık, K
W_t	Malzeme ağırlığı, kg
PCO_2	Toplam CO_2 salım sorumluluğu (Eşitlik 3)
ΔCO_2	Neredeyse-önlenebilir CO_2 salım sorumluluğu
ψ_R	Ekserji tabanında enerji kaynaklarını değerlendirme akılcılığı
ϵ	Birim ekserji, kW/kW

Alt Simgeler

B	Bina
C	Soğutma
D	Bölge (District)
des	Yıkım (Birim ekserjide), kW
$diş$	Dış Hava
H	Isıtma
i	Ön ısıtılan veya soğutulan taze hava
ref	Referans (Çevre sıcaklığına ait)
sup	Arz

Kısaltmalar

EXPB	Ekserji-pasif bina
KYD	Karbon yakalama ve tutma
NZEB	Net-sıfır enerjili bina
NZEXB	Net-sıfır ekserji binası
nZEXB	Net-sıfır ekserjiye yakın bina
nZCB	Sıfıra yakın karbon binası
nZCC	Sıfıra-yakın karbon kenti
ORC	Organik Rankin Çevrimi

8. KAYNAKÇA

- [1] Hawksworth, J. 2008. The World in 2050 Can Rapid Global Growth Be Reconciled with Moving to A Low Carbon Economy? Price Water Coopers, 22 pages, London.
<https://www.pwc.com/gx/en/psrc/pdf/world_in_2050_carbon_emissions_psrc.pdf>
- [2] ACS. What are The Greenhouse Gas Changes Since The Industrial Revolution? ACS Climate Science Toolkit Greenhouse Gases.
<<https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/greenhousegases/industrialrevolution.html>>
- [3] Kılış, B. 2020. Küresel Salgının Hatırlattıkları, İklimsel Isınma ve Klima Sistemleri, Tesisat Mühendisliği, Sayı 177, Özel Sayı-Haziran 2020, s:16-24.
- [4] Kılış, B. 2019. The Importance of Exergy Rationality and Storage for 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion, UNIDO Workshop on Ozone, September 16-17 2019, Antalya.
- [5] J. Macknick, R. Newmark, G. H., and Hallet, K.C. 2012. Environmental Research Letters. 7 doi:10.1088/1748-9326/7/4/045802.UCSUSA. 2013.
<Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature>, <<https://www.ucsusa.org/resources/water-power-plant-cooling>>
- [6] Hansen, K. 2008. Water Vapor Confirmed as Major Player in Climate Change. NASA Report No: 11.17.08
<[https://doi.org/10.2298/TSCI200412287K](https://www.nasa.gov/topics/earth/features/vapor_warming.html#:~:text=And%20since%20water%20vapor%20is,(about%2011%20square%20feet).>></p><p>[7] Kilkis, B. 2020. Exergy-Rational District Energy Model for 100% Renewable Cities with Distance Limitations, <i>Thermal Science</i>, Vol. 24, No. 6A, pp: 1-21, <a href=).
- [8] ENKA. Adapazarı-Gebze 1600 MW Powerplant. <<https://www.enka.com/tr/portfolio-item/turkiye-yap-islet-gebze-adapazari-dogal-gaz-kombine-cevrim-elektrik-santralleri/>>
- [9] Kilkis, I. B. 2002. Environmental Economy of Low-Enthalpy Energy Resources in District Energy Systems, *ASHRAE Transactions*, Vol. 108, Part 2, pp: 580-588.
- [10] Torcellini, P. A., and Crawley, D. B. 2006. Understanding Zero-Energy Buildings, *ASHRAE J.*, September 2006, pp: 63-69.
- [11] Crawley, D., Pless, S., and Torcellini, P. 2009. Getting to Net Zero, NREL/JA-550-46382, September 2009.
- [12] Kılış, B. ve Kılış, Ş. 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Birleşik Isı ve Güç Üretimi, TTMD Teknik Yayını, No: 32, 372 sayfa, Doğa Yayıncılık. ISBN:978-975-6263-25-9.
- [13] Kilkis, B. 2019. Exergy-Optimum Coupling of Heat Recovery Ventilation Units with Heat Pumps in Sustainable Buildings, *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ. Syst.*, 8(4), pp: 815-845, 2020, DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0316>
- [14] Kılış, B. 2020. Exergy-Based Hydrogen Economy with 100% On-Board Renewables, H₂S Reserves and Coastal Hydrogen Cities in the Black Sea Region, Technical Report, Submitted to Turkish Ministry of Energy and Natural Resources, 79 pages.
- [15] Kılış, B. 2020. Tarım Sigortalarında Doğal Afetler, İklimsel Isınma ve Enerji Sinerjisi, TARSİM, T. C. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığına Sunulan Rapor, 16 Sayfa, Haziran 2020, Ankara.
- [16] Brown, C., and Fichtl, T. L. 2013. A Building That Teaches, *High Performing Buildings*, Winter 2013, pp: 38-46, ASHRAE.
- [17] REHAU. 2021. Awadukt Thermo Ground-Air Heat Exchanger.

<<https://www.rehau.com/uk-en/ground-heat-exchanger>>

[18] Li Ning, L. 2017. Smart Buildings Can Help China Manage Energy Use, Global Times Published: 2017/10/25 22:33:39,

<<https://www.globaltimes.cn/content/1071983.shtml#:~:text=In%201984%2C%20the%20City%20Place,and%20architecture%20equipment%20management%20systems>>.

[19] Vladimir, A. ve diğerleri. 2018. The European Smart Readiness Indicator (SRI) for Buildings, *REHVA J.*, December 2018, pp: 47-52.

[20] TNO. 2013. Powermatcher. <<https://www.tno.nl/media/1986/tno-powermatcher-jrv140416-01.pdf>>

[21] RHC. 2019. 2050 Vision for 100% Renewable Heating and Cooling in Europe. <<https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2019/10/RHC-VISION-2050-WEB.pdf>>, www.rhc-platform.org

9. ÖZGEÇMİŞ

Birol Kılış

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. Avrupa Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.

%100 TAZE HAVALI, ÇEVRECİ, YENİ-NEŞİL KLİMA CİHAZLARININ EKSERJİ-TABANLI TASARIM VE DEĞERLEDİRME MODELİ

Exergy-Based Design And Evaluation Model Of 100% Fresh Air, Environmental, New-Generation Air Conditioners

**Biröl Kılış
Metin Uğuz**

ÖZET

Bu çalışmada, pandemi döneminde karşılaşılan iç hava kalitesinde çoğunlukla %100 taze hava gereksinimi, havanın steril edilmesi ve enerji tüketiminin artması gibi sorunlar göz önüne alınarak klima sistemlerinde yenilikçi bir melez çözüm geliştirilmiştir. Bu çözüm iki kademededen oluşmakta ve gaz sıkıştırma soğutmaya tümleşik bir adyabatik soğutma kademesi ve ısı geri kazanım aşamaları eklentileri bulunmaktadır. Sıcak egzoz havasının geri kazanımı da mümkün olduğundan toplam COP değerinin 6'yi aştığı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ekserji akılcılığı, %100 taze hava, hava koşullandırma, pandemi, iklim krizi

ABSTRACT

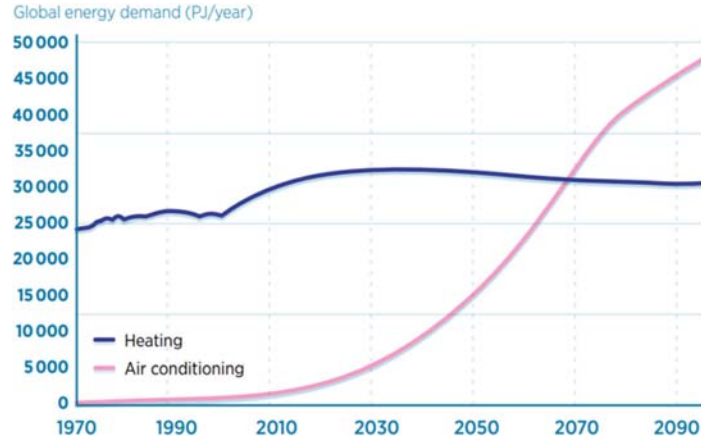
In this study, an innovative air conditioning system has been developed by taking into account the current problems such as 100% fresh air requirement, air sterilization versus increased energy consumption in indoor air quality measures encountered during the pandemic period. This solution consists of two stages involving an adiabatic cooling stage and a gas compression cycle coupled with heat recovery stages. Since the recovery of hot exhaust air is also an option, it has been shown that the total COP value.

Keywords: Exergy Rationality, 100% fresh air, Air Conditioning, pandemic, the climate crisis

1. GİRİŞ

İklim krizi çerçevesinde, önceden soğutma gerektirmeyen birçok iklim bölgesinde ve ülkede giderek konfor beklentilerinin ve soğuk zincir ihtiyaçlarının artması sonucu 2070 yılından itibaren klima amaçlı enerji talebinin dünyada en büyük talep payını oluşturacağı beklenmektedir (30000 PJ/yıl) [1]. Bu süre zarfında ise ısıtma gereksinimleri sabit kalacak hatta biraz azalacaktır. Soğutma süreçleri ısıtma süreçlerine oranla daha karmaşıktır ve Termodinamiğin 2. Yasası uyarınca ekserji yıkımları daha fazla yer alır. Bunun sonucunda CO₂ salım sorumlulukları da daha fazla olup ve iklim krizi ile klima ihtiyaçları arasında kısır bir döngü oluşmaktadır. İç hava kalitesi bakımından pandemi dirençli yapılar için genelde ve bundan böyle %100 taze hava ve daha duyarlı nem kontrolü gerekecektir [2, 3]. %100 taze hava rejiminde bile iç hava kalite denetiminde MERV 13 filtrelerin takılması da -sistem uygun olsa bile- ek güç talepleri ortaya çıkaracaktır. Klima sistemlerinin oluşturduğu elektrik güç taleplerinin de ötesinde dünyada elektrik talepleri zaten artmaktadır. Bu tümsel artış yönelimi içerisinde klima sistemlerinin çevre duyarlı ve daha az elektrik tüketimli olmaları zaruret haline gelmiştir. Bu nedenle, amaç teknik ve matematik yollarla asal çözümün soğutma tesir katsayılarının (COP) büyük

oranlarda artırılması ve atık ısılarından da mümkün olduğunca yararlanılmasıdır. Bu makalede amaca yönelik bir klima çözümü tanıtılmaktadır.



Şekil 1. 2100 Yılına Değın Isıtma ve Soğutma Yük Taleplerinin Kestirimi [1]

Soğutma yüklerinin artması nedeniyle de soğutma gruplarının -her ne kadar daha çevre dostu soğutucu akışkanlar kullanılarak ozon tabakasına olan zararları azaltılmaya çalışılıyor olsa da- küresel ısınma ile etkileşen ozon tabakasının incelmeye başlaması sonucu soğutma yükleri daha da artarak çözülmesi zor bir kısır döngü olarak ortaya çıkmaktadır [2]. Avrupa Birliği ülkelerinin karbonsuzlaşma stratejileri çerçevesinde elektrikle çalışır ısı pompalarının yaygın şekilde hizmete sokulmaları planlanmaktaysa da alışılmış ısı pompalarının, kaynağı ne olursa olsun, elektrik gücü ile çalışıyor olması giderek sorun olmaktadır. Bu nedenle, Termodinamiğin İkinci Yasası uyarınca birim ekserjisi 0.95 kW/kW olan elektrik gücü talebine karşın elde edilen soğutma gücünün yaklaşık 0.10 kW/kW birim ekserjisi göz önünde tutulduğunda, soğutma tesir katsayısı eşliğinin en az 10 dolayında olması gerektiği görülür ki bu koşul endüstride ve teoride genelde göz ardı edilmektedir [3]. Zaten bugünün teknolojisinde bu eşik pratikten oldukça uzaktır. Dolayısıyla, amaç bu tesir katsayısı eşliğine mümkün olduğunca yaklaşmak olmalıdır. Böyle bir çalışmada, binalarda kullanılan havadan-havaya ısı geri kazanımının soğutma amaçlı uygulamalarına önem ve öncelik veren, ekserji tabanlı yeni bir modelin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu modelde COP de ekserji tabanlı olmalıdır [4]. Özellikle küresel salgın koşullarında klima sistemlerinin %100 taze hava ile çalışması gerekliliğinin enerji taleplerini daha da artıracak olması nedeni ile [5], küresel ısınmanın daha da tetiklenmesine karşın artık klima sistemleri ve bileşenlerinin baştan tasarlanmaları gerekmektedir [6].

2. TEORİ

Klima sistemleri esas itibarı ile ısı pompası özelliği taşır ve uygulamanın özelliklerine bağlı olarak optimize edilmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda kaynak sıcaklığı ile talep sıcaklığı arasındaki fark, ΔT_o ne kadar az olursa COP değeri de o denli yükselir. COP değerinin yüksek olması sadece ekonomi açısından değerlendirilmemelidir. Genelde niteliği (Yararlı iş üretme potansiyeli, birim ekserji: 0.95 kW/kW) çok yüksek olan elektrik gücü talep eden ısı pompalarının ürettiği soğuk örneğin $T_f=(273+7^\circ\text{C})$ K ve dış ortam sıcaklığı $T_o=(273+35^\circ\text{C})$ K ise ısıtmada, birim ekserji dengesinin sağlanacağı en az COP değeri 9.5 olmalıdır [7]:

$$COP_{\min} \geq \frac{0.95 \text{ kW/kW}}{\left| 1 - \frac{T_f}{T_o} \right| \text{ kW/kW}} \geq 9.5 \quad \{\text{İdeal Carnot Çevrimine Göre}\} \quad (1)$$

Bu COP tarifi ısıtma ve soğutma için genelleştirilmiş bir değeri simgeler ve doğaldır ki aynı fakat ters işletme yani ısıtma rejiminde ise ($7^{\circ}C$ kaynak sıcaklığı, $35^{\circ}C$ üretilen ısı sıcaklığı) $COP_{Hmin} = COP_{min} + 1$, yani 10.5 olmalıdır. Aksi koşullarda ısı pompasının tükettiği elektrik enerjisinin niteliği (Ekserji) ile ürettiği soğuk enerjisinin farkına orantılı biçimde çevrede neredeyse-önlenebilir CO_2 salım sorumluluğu, ΔCO_2 oluşacaktır [4]:

$$\Delta CO_2 = 0.27 \times \left(0.95 - \left| 1 - \frac{T_f}{T_o} \right| \right) \quad (2)$$

Burada T_f ve T_o işletmedeki sıcaklık değerleridir.

Doğaldır ki bugünün teknolojilerinde COP_{min} değerine ulaşmak pratikte olası değildir. Bu nedenle ileriye dönük klima çalışmalarındaki amaç bu değere mümkün olduğunca yaklaşmak olmalıdır. Bu amaca yönelik bir yöntem de (n) sayısı kadar daha küçük, seri- dizili ısı pompaları kullanılarak her bir ısı pompasının ΔT_i değerini azaltıp toplam COP değerlerini ($\sum_{i=1}^n COP_i$) yükseltmektir (Şekil 2).

Bu yöntem daha çok soğuk iklimlerde (ASHRAE İklim Bölgeleri IV ve V) çok düşük dış ortam sıcaklıklarında, mümkün olduğunca yüksek COP değerlerine ulaşmak için kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmada bu amaca en uygun dizinin iki adet ve birbirine benzer veya aynı tip sıkıştırıcının art arda (Tandem) kullanılması olduğu görülmüştür [8]. Soğutma amaçlı konfor klimalarında ise bu yöntem çok kullanılmamaktadır. Halbuki, özellikle sıcak iklimlerde ısıtmaya oranla daha düşük COP değerlerinin geçerli olabildiği soğutma rejimindeki klimalarda bu yöntem daha çok önem arz etmektedir.

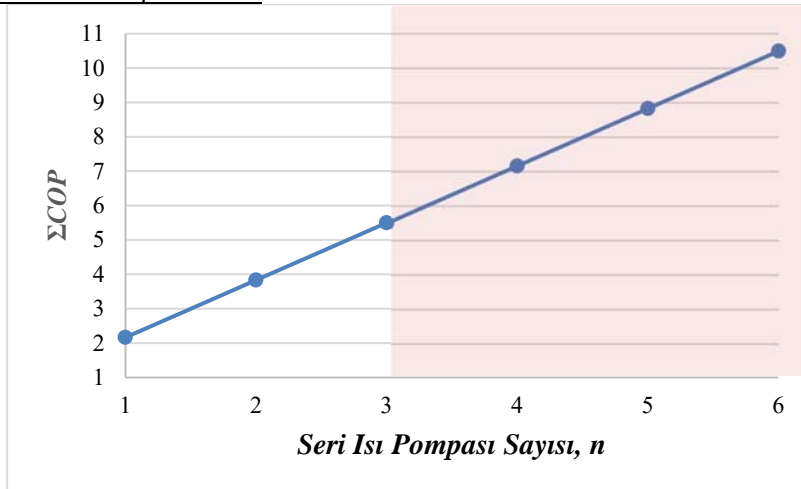
2.1. Soğutma Rejiminde Isı Pompası Dizisi

$$\sum COP_n = COP_1 + (n-1)a \quad (3)$$

$$COP_i = a + b \left(\frac{\Delta T_o}{n} \right)^{-1} \quad \{\text{Serideki } \Delta T_o/n \text{ değeri sabit ve } \geq 2 \text{ K}\} \quad (4)$$

Toplam sıcaklık farkı ΔT_o değerinin 15 K olduğu bir rejimde çalışan örnek bir ısı pompasının performans katsayıları a ve b , sırası ile 0.5 ve 25 K^{-1} alındığında, toplam COP değer serideki ısı pompası sayısına göre artmaktadır. Ancak (n) sayısı arttıkça ekonomik ve işletme kısıtları etkili olmaya başlar. Dolayısıyla, sanayi ve tıp uygulamaları dışında kalan konfor klimasında (n) sayısının 2 veya 3 sayısından fazla olması pratik değildir. Bu nedenle seri dizili ısı pompaları ile soğutmadaki hedef ΣCOP değerinin 5 dolayında olmalıdır.

2.2. Isıtma Rejiminde Isı Pompası Dizisi



Şekil 2. Dizideki (n) Sayısına Göre Toplam COP Değerinin Artışı (Soğutma Rejiminde)

Soğutma rejiminin aksine, dizi sayısı 2'den fazla olursa ΣCOP değeri yükselmemektedir. Eğer belli bir uygulamada ısıtma rejimi baskınsa dizi sayısı 2 değerini genellikle geçmemelidir.

$$\Delta T_o = T_f - T_o \quad (5)$$

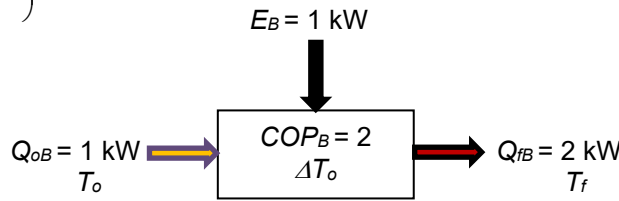
$$\Delta T_i = \left(\frac{\Delta T_o}{n} \right) = \text{Sabit} \quad (6)$$

$$COP = \frac{Q_f}{E} \quad (7)$$

$$COP_{EX} = COP \left(1 - \frac{T_o}{T_f} \right) \quad (8)$$

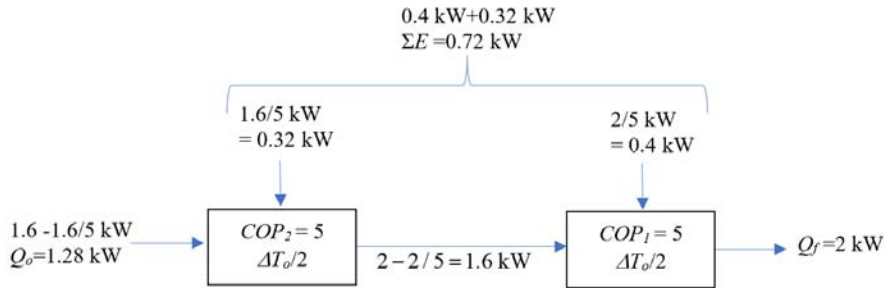
Ekserji tabanlı, COP_{EX} elektrik gücünden-ısıya türündeki mekanik soğutma sistemlerinde 1'den küçüktür. Örneğin, yukarıdaki örnekte COP 5 bile olsa COP_{EX} değeri sadece 0.105 olur:

$$COP_{EX} = COP \left(\frac{1 - \frac{273 + 35}{273 + 7}}{0.95} \right) = 0.105 \ll 1$$



Şekil 3. Tekil Isı Pompası: Referans (Baz) Cihaz, $COP_B = 2$ (Isıtma Rejiminde) [4]

Örnek bir ısı pompasının performans katsayıları bu kez a ve b , Eşitlik 4 de sırası ile ve $0.04 K^{-1}$ olarak alınmıştır. Şekil 3'de gösterilen ikiz dizilişte gerekli işletme ΔT_o değeri $\Delta T_o/2$ olarak her iki ısı pompasınınca paylaşılır ve Eşitlik 4 uyarınca her bir ısı pompasının COP_i değeri artar (Yaklaşık 5). Dikkat edileceği üzere COP_1 ve COP_2 değerleri üst üste toplanmaz, yani ΣCOP $5+5 = 10$ değildir. Bu durum Tablo 1'de görülmekte olup her bir ısı 5 olması durumunda bile ΣCOP değeri sadece 2.78 olabilmektedir. Ancak ekserji tabanlı değerler toplanabilir.

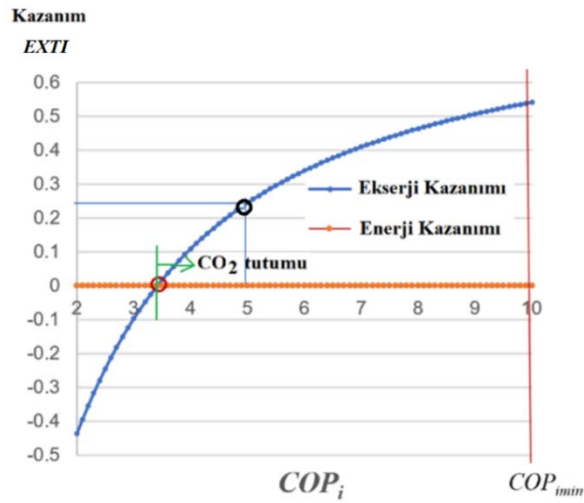


Şekil 4. İkiz Isı Pompalarının Bireysel ve Seri Davranışları (Isıtma Rejiminde) [4]

Tablo 1'den görüldüğü üzere her bir ısı pompasının COP_i değeri ancak 3.5 olursa tek bir ısı pompasının COP değeri olan 2'ye ulaşılabilir. Bu başa-baş noktasından sonra CO_2 salımlarında tutum söz konusu olabilir. COP_i değerleri 5 olursa ΣCOP değeri ancak 2.78 olabilmektedir. Bunun nedeni ikiz yerleşimde elektrik güç talebi azalırken ($0.72 kW$) ısı güç talebi (1.28) artmaktadır (Şekil 4) ve COP kazanımı sadece 0.78 puan olmaktadır ($2.78-2$).

Tablo 1. İkiz Yerleşimde Isı Pompası Davranışlarının Tek Isı Pompasına Göre Karşılaştırılması

İKİZ COP_i	TEK COP	Tek Isı Pompası (Şekil 2)			Şekil 3		ΣCOP_i
		E	Q_o	Q_f	E	H	
2	2	1	1	2	1,5	0,5	1,333333
2,5	2	1	1	2	1,28	0,72	1,5625
2,6	2	1	1	2	1,242604	0,757396	1,609524
2,7	2	1	1	2	1,207133	0,792867	1,656818
2,8	2	1	1	2	1,173469	0,826531	1,704348
2,9	2	1	1	2	1,141498	0,858502	1,752083
3	2	1	1	2	1,111111	0,888889	1,8
3,1	2	1	1	2	1,082206	0,917794	1,848077
3,2	2	1	1	2	1,054688	0,945313	1,896296
3,3	2	1	1	2	1,028466	0,971534	1,944643
3,4	2	1	1	2	1,00346	0,99654	1,993103
3,5	2	1	1	2	0,979592	1,020408	2,041667
3,6	2	1	1	2	0,95679	1,04321	2,090323
3,7	2	1	1	2	0,934989	1,065011	2,139063
3,8	2	1	1	2	0,914127	1,085873	2,187879
3,9	2	1	1	2	0,894149	1,105851	2,236765
4	2	1	1	2	0,875	1,125	2,285714
4,1	2	1	1	2	0,856633	1,143367	2,334722
4,2	2	1	1	2	0,839002	1,160998	2,383784
4,3	2	1	1	2	0,822066	1,177934	2,432895
4,4	2	1	1	2	0,805785	1,194215	2,482051
4,5	2	1	1	2	0,790123	1,209877	2,53125
4,6	2	1	1	2	0,775047	1,224953	2,580488
4,7	2	1	1	2	0,760525	1,239475	2,629762
4,8	2	1	1	2	0,746528	1,253472	2,67907
4,9	2	1	1	2	0,733028	1,266972	2,728409
5	2	1	1	2	0,72	1,28	2,777778

Şekil 5. (n) = 2 Koşulunda COP_i Değerlerine Bağlı Ekserji Kazanımları (Isıtma Rejimi) [4]

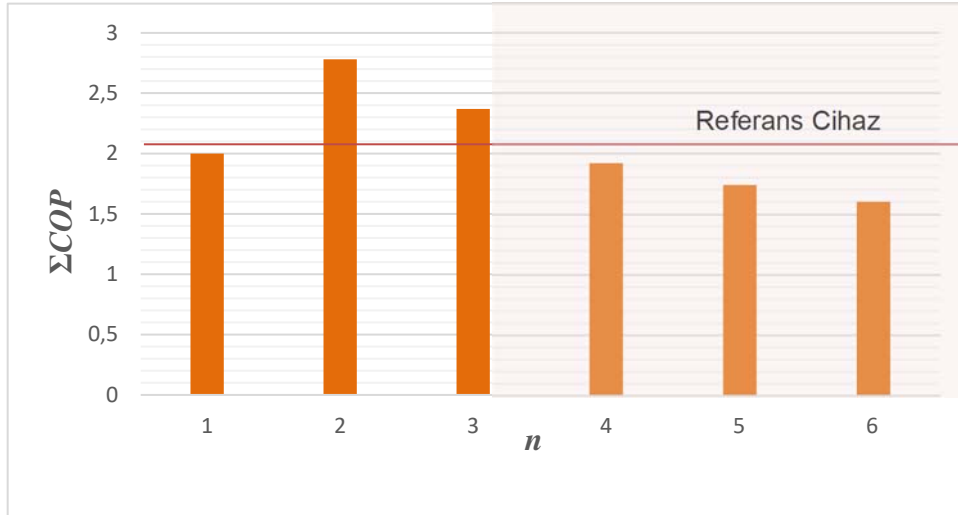
Ekserji Kazanımı Eşitlik 7`de verilen $EXTI$ formülü ile ifade edilmiştir. Bu bağlamda, yeni bir ekserji tabanlı çevresel performans ölçütü, $EXTI$ (Ekserji-Tabanlı Dizi Sayısı Endeksi), dizi sayısına ($n>1$) göre geliştirilmiştir. Enerji ise kazanılmaz (1.Yasa). Bu ilişkiler Şekil 5`de daha yüksek COP_i değerleri için gösterilmiştir. Yeni teknolojilerle COP_{min} değerine (10) ulaşılabilse bile ekserji kazanımı çift dizide ($n = 2$) ancak 0.54 olabilmektedir. Tablo 2`den ve Şekil 6`dan görüldüğü üzere $EXTI$ değeri ancak $n = 3$ değerine müsaade etmektedir. Daha büyük dizilerde $EXTI$ eksi olmaktadır.

$$EXTI(n) = \frac{0.95(E_B - \sum E) + (Q_{oB} - Q_o) \left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right)}{0.95E_B + Q_{oB} \left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right)} \quad \{n>1\} \quad (7)$$

n	ΔT_i	COP_i	Q_o kW	ΣE kW	Q_f kW	ΣCOP	$EXTI$
1	$\Delta T_o=32K$	2 (Reference HP)	1	1	2	2	-
2	$1/2\Delta T_o$	5	1.28	0.72	2	2.78	+0.228
3	$1/3\Delta T_o$	6	1.16	0.84	2	2.37	+0.13
4	$1/4\Delta T_o$	8.1	0.96	1.04	2	1.92	-0.033
5	$1/5\Delta T_o$	8.6	0.85	1.15	2	1.74	-0.123
6	$1/6\Delta T_o$	9.2	0.76	1.24	2	1.6	-0.197

Tablo 2. Seri Dizili Isı Pompalarında Toplam Performans Değerleri. $1 \leq n \leq 6$. $COP = Q_f / \Sigma E$.

Şekil 6`ya göre ve ısıma rejiminde ΣCOP değeri sadece $n = 2$ ve $n = 3$ değerlerinde referans değerinin (Tek Isı Pompası) üzerine çıkabilmektedir. Dolayısı ile ikili dizi en fazla artış göstermektedir. Dolayısı ile ısıtma rejiminde bile (n) sayısının 3`den fazla olması akılcı değildir. Bu yönde (n) sonsuza giderken ΣCOP değeri de sıfıra gider.



Şekil 6. ΣCOP Değerinin Dizi Sayısı ile Değişimi, $n = 1$ Referans Cihaz

2.3. Klima Sistemlerinin Çevresel Ayak izleri

2.3.1. CO₂: Isı pompalarının COP değerlerine göre belirli bir yükte talep ettikleri elektrik gücüne bağlı elektrik enerjisi tüketimlerinin merkezi güç santrallerinde bir CO₂ salım sorumluluğu bulunmaktadır. Ülkemizde oldukça yaygın olan hidroelektrik santralleri yanı sıra giderek güç üretim payları artan yenilenebilir enerji kaynakları nedeni ile ülkemizin ortalama elektrik enerjisinin birim CO₂ salımı c_{av} düşmektedir (0.153 kg CO₂/kW-h). Bu değer adyabatik yanma için doğal gaz yakıtında 0.2 kg CO₂/kW-h, kömür yakıtında 0.6 kg CO₂/kW-h dolayındadır. Elektrik gücünün binada veya yakın çevresinde güneş enerjisine dayalı foto-voltaik (PV) veya PVT panellerden üretilerek klimaların

çalıştırılması durumunda ise bu sorumluluk değişmez, zira böyle bir durumda, yerinde ve güneşten üretilen elektrik şebekeye verilmediğinden şebekede ihtiyaç duyulan aynı miktar elektrik bu kez gene santrallerde üretilecektir. Eşitlik 8' de 1. Yasaya göre COP değerleri farklı iki ısı pompasından COP değeri daha yüksek olan ısı pompasının CO₂ salımında sağladığı tasarrufu vermektedir. PEF, AB ortalamasında *Birincil Enerji Çarpanı* yakıttan (Santral) prize kadar olan verim devriğidir (1/0.40).

$$CO_{2\text{azaltımı}} = c_{av} PEF \left(\frac{1}{COP_1} - \frac{1}{COP_2} \right) Q_f \quad \{COP_1 > COP_2\} \quad (8-a)$$

$$\frac{CO_{2\text{azaltımı}}}{Q_f} = \Delta CO_2 = c_{av} PEF \left(\frac{1}{COP_1} - \frac{1}{COP_2} \right) \quad (8-b)$$

Örneğin, $COP_1 = 2.5$, $COP_2 = 4$ ve soğutma kapasitesi Q_f 1 kW ise COP değeri 4 olan ısı pompası çalıştığı bir saatte boyunca diğer ısı pompasına oranla CO₂ salımından 0.057 kg tasarruf eder.

$$\Delta CO_2 = 0.153 \times 2.5 \left(\frac{1}{2.5} - \frac{1}{4} \right) / 1 \text{ kW} = 0.057 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

Bu değere henüz santrallerdeki ekserji yıkımlarından oluşan neredeyse önlenemez salımlar, □CO₂ dahil değildir. Bu salım sorumlulukları genelde şu şekilde yazılır [4]:

$$\Delta CO_2 = 0.27 \sum \varepsilon_{des} \square 0.27 \varepsilon_{sup} (1 - \psi_R) PEF \times \frac{Q_f}{COP} \quad \{1ci \text{ ve } 2ci \text{ salım sorumluluğu}\} \quad (9)$$

Termik santrallerde, enerjinin akılcı kullanım verimi, ψ_R 0.50, PV panellerde 0.6, PVT panellerde yaklaşık 0.75 kadardır. Doğal gazlı santrallerin birim ekserji değeri $\varepsilon_{sup} = 0.87$ kW/kW tabanında ve yukarıda verilen iyi örnek için (COP = 4):

$$\Delta CO_2 \square 0.27 \times 0.87 (1 - 0.50) \times 2.5 \times \frac{10 \text{ kW}}{4} = 0.70 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

İyi örneğin toplam salım sorumluluğu:

$$\sum CO_2 = 0.153 \times 2.5 \left(\frac{1}{4} \right) \times 10 + 0.70 = (0.96 + 0.57) \text{ kg CO}_2/\text{h} = 1.53 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

Bu salım sorumluluklarına ek olarak ve klima sisteminin işleyiş esaslarına büyük ölçüde bağlı kalmak üzere klima sistemlerinde yer alan ekserji yıkımlarına özgü salım sorumlulukları bulunmaktadır. Bunlar Tasarım bölümünde verilmektedir (Şekil 8 ve 10).

2.3.2 Küresel Isınma: Gaz sıkıştırılmalı ısı pompalarının kullandıkları soğutucu gaz türlerine bağlı olarak ODP (Ozon Seyreltme Potansiyeli) ve GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) değerleri aracılığı ile küresel ısınmaya etki ederler. En son geliştirilmiş bulunan soğutucu gazlarda her ne kadar ODP değeri sıfır olarak belirtilse de GWP değerleri de son zamanlarda -azaltılmış olmakla birlikte- henüz gerekli düzeye inmiş değildir. Belki de maksatlı olarak bu gazlar sadece ODP değeri üzerinden pazarlanmakta GWP değerleri önemsizleştirilmektedir. Halbuki bu iki değer küresel ısınmada etkileşmektedir [3]:

$$ODI = \frac{pGWP^r}{(1-ODP)} \times \left(\frac{ALT}{1} \right)^s + tW^u \quad (10)$$

ODI tarifi, ODP ve GWP değerlerinin ortak etkisini betimler ve soğutucu gazların bu yeni tanıma göre değerlendirilmesi gerekir. W klima santralinden bir saatte atmosfere karışan su miktarıdır [kg/h]. p, r, s, t ve u katsayıları iklime, yöreye ve yerel atmosferik dinamiklere bağlıdır. Bu çalışmada, p = 0.1, r = 0.03 ve s = 0.01, t ve s katsayıları da sırası ile 6 ve 0.1 alınmıştır. ALT ise sera gazının atmosferde kalış süresidir [yıl]. ODP değerinin sıfır olması o gaza sıfır-karbon veya yeşil gaz tanımını sağlamaz. GWP değeri ile birlikte değerlendirilmelidir. Adyabatik soğutmada ODI söz konusu değilse de bu kez tüketilen

ve sonuç itibarı ile büyük ölçüde atmosferle buluşan suyun (W) sera etkisi (GWP) hesaba katılmalıdır. Aynı durum her türlü klima santralinde söz konusu olan yoğuşma suyunda da söz konusudur ve bu su kontrollü bir şekilde değerlendirilmelidir. Çift dizili bir sistemde bir kademe adyabatik ikincisi ise mekanik olma durumunda tüm soğutma yükünün (%100 taze hava) tamamen karşılanacağı bir sistemin değerlendirilmesinde Eşitlik 10`dan hareketle yeni bir ölçüt geliştirilmiştir:

$$odi = \frac{ODI}{COP_{EX}} \quad \{\text{Minimum olmalı}\} \quad (11)$$

Bu ölçüt, herhangi bir klima sisteminin hem küresel ısınmaya doğrudan etkisini hem de CO₂ salım sorumluluklarını COP_{EX} cinsinden değerlendirmektedir.

2.4. Ekserji Tabanlı Maliyet

Klima sistemlerinin yatırım maliyetlerinde sadece birim kW ısıtma veya soğutma kapasitesine (Q_f) oranlanmış satış (Yatırım) maliyeti (C) ve işletme maliyeti de COP_{EX} cinsinden göz önünde tutulur.

Ekserji-tabanlı yatırım maliyeti EXC , ağırlık ortalamalı gömülü malzeme maliyetleri de (\bar{M}) dahil olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [9]:

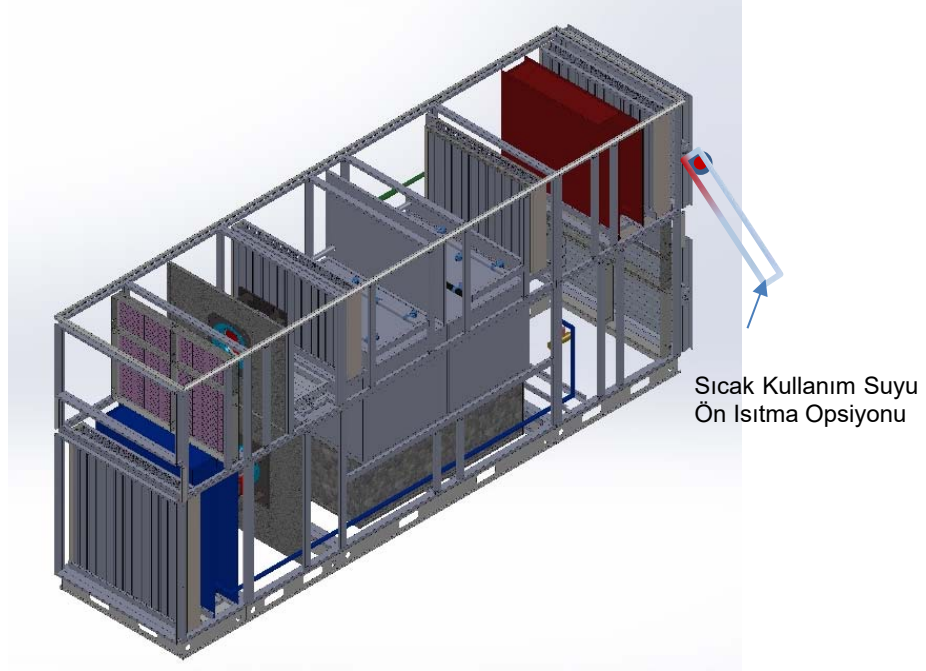
$$EXC = \left(\frac{C}{Q_f \times COP_{EX}} \right) \left(1 + \frac{\bar{M} \times W_t}{C} \right) \quad (12)$$

3. TASARIM

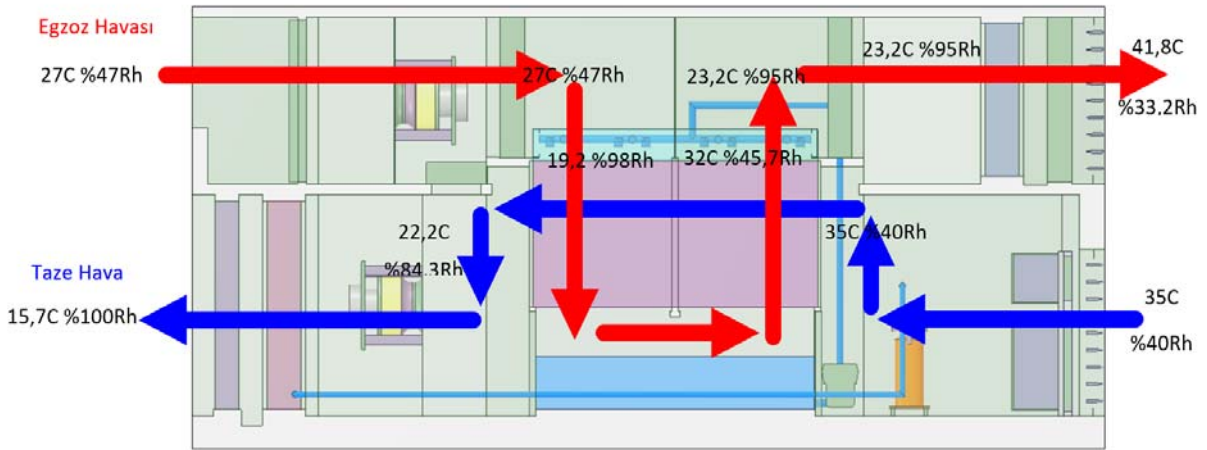
Bugünün koşullarında klima sistemleri ile konfor soğutmasında en ön planda aşağıdaki koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir:

- 1- %100 taze havanın ekonomik ve ekserji akılcı biçimde sağlanabiliyor olması,
- 2- Bu amacın iki aşamayı geçmeyen bir dizinle gerçekleştirilmesi,
- 3- Her iki aşamadaki COP değerlerinin de 5 veya çok yakın olması,
- 4- Pandemi riskine karşı iç konfor bağıl nem tasarım değerinin %50 olması. Bu değerden sapmalar en fazla $\pm\%5$ olması [2],
- 5- Cihazların Akılcı Ekserji Verimlerinin (ψ_R) mümkün olduğunca yüksek olması (Eşitlik 15 ve 17).
Bu iki eşitlik özelinde ve $\psi_R \geq 0.70$ koşulunda klima cihazlarına *Yeşil Cihaz* denilebilir,
- 6- odi değerinin en az olması,
- 7- Adyabatik soğutmada su sarfiyatının az olması, suyun steril edilmesi ve Lejyoner riskinin önlenmesi,
- 8- EXC maliyetinin az olması.
- 9- Atık ısıdan yararlanılması.

Bu amaçlara uyumlu yeni bir örnek cihaz tasarımı Şekil 6-a, b ve c`de gösterilmiştir. Şekil 7 ve 8 de ise hesaplamalı akışkanlar mekaniği örnek çözümler gösterilmiştir.



Şekil 6-a. Örnek Tasarımın Perspektif Görünüşü



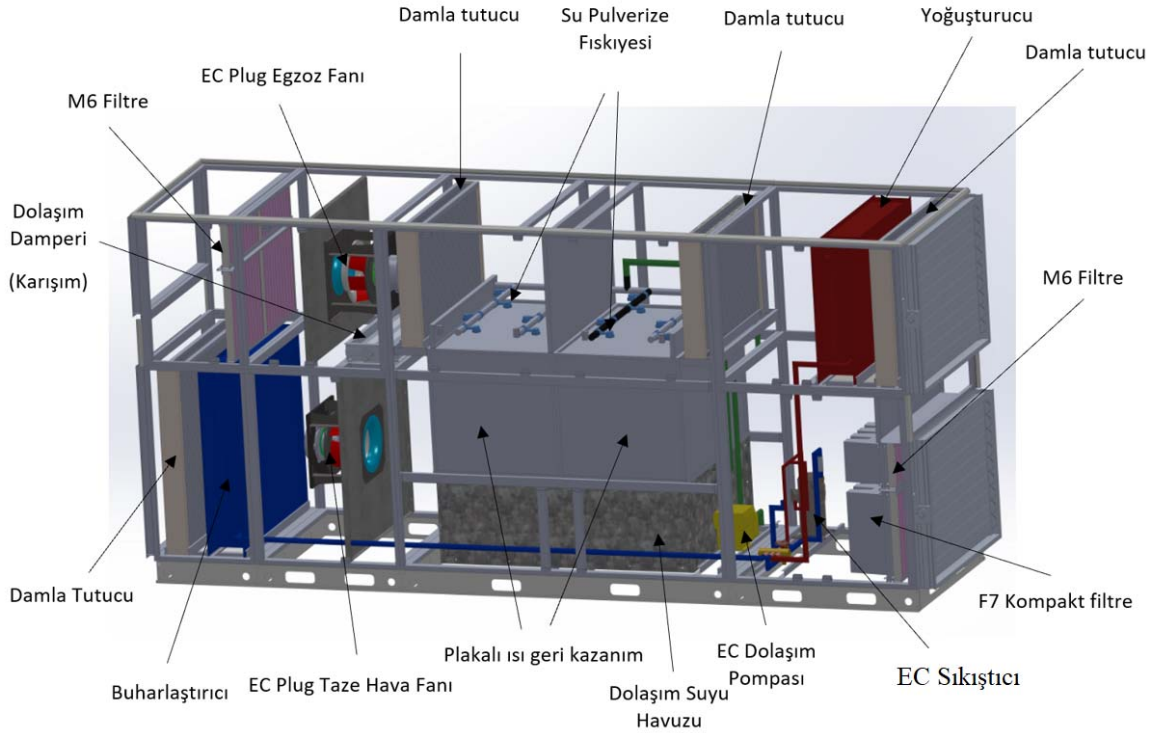
Şekil 6-b. Cihazın Çalışma Prensibi

Cihaz %100 taze havalı rejim için tasarlanmıştır. İç ortamdan 27°C sıcaklık ve %47 Rh bağıl nemde (EN14511:2013 (RA 27C ;19 C YT- OA 35 C ;24 YT)) EC Plug fan aracılığı ile egzoz ederek fiskeye sistemine gönderir. Fiskeye sisteminde su EC pompa aracılığı ile havuzdan çekilerek, fiskeyeler üzerinde pulverize edilmesiyle doğrudan buharlaştırılır. Su buharlaştırılırken egzoz havasından ısıyı çeker ve 27°C ve %47 Rh koşulundaki egzoz havası 19,2 C %98 Rh a kadar buharlaştırma yöntemi ile 19,2°C sıcaklık ve %98 Rh bağıl neme kadar soğutulmuş olur. Plakalı ısı geri kazanım değiştiricisine gönderilir ve dışarıdan EC Plug fan aracılığı ile alınan 35°C %40 Rh koşulundaki taze havanın ısı alınarak sıcaklık 22,2°C, %84,3 Rh düzeyine koşullandırılır (Plakalı ısı geri kazanım sırasında hava egzoz havasına karışmamaktadır. Dolaylı adyabatik evaporatif soğutma). Gerekirse, plakalı ısı geri kazanımdan çıkan 22,2°C %84,3 Rh koşulundaki hava buharlaştırıcıda mekanik olarak (sıkıştırıcıda) 15,7°C %100 Rh koşuluna soğutulur. Taze havanın ısı alındığı için plakalı ısı geri kazanımının egzoz çıkışında hava 19,2°C %98'den 32°C %45 Rh'a ısınmış olur. Isınan egzoz havası için tekrar doğrudan buharlaşma ile soğutma yapılarak havanın sıcaklığı 32°C %45 Rh'dan 23,2°C %95 Rh'a düşürülür. Bunun nedeni, yoğuşturucu girişinde havanın sıcaklığını düşürmek; böylelikle sıkıştırıcı çok daha düşük basınçlarda yoğuşmaya gerek duyacak ve sıkıştırıcı daha az yükleneceği için tesir katsayısı

yükselecektir. Yoğuşturucu üzerinden geçen hava 23,2°C %95 Rh'dan 41,8°C %33,2Rh'a kadar ısınacaktır ve dış ortama verilecektir. Bu kademede havalı yoğuşturucu kullanılmıştır. Bir seçenek olarak sulu yoğuşturucu kullanılarak atık ısının kullanım sularının ön ısıtılmasında kullanılabilir. Böylelikle sistemin toplam COP değeri daha da yükselir.

M6 Filtre: Egzoz ve taze havanın ön temizlenmesinde kullanılmalıdır. Cihaz içerisindeki kirlenmeyi önler. Eko-tasarım yönergelerine uygun olarak seçilmiştir. Cihaz içerisindeki kirlenmeyi önler.

F7 Sıkışık (Kompakt) Filtre: Taze havanın daha hassas olarak temizlenmesi için kullanılmıştır. Eko-tasarım yönergelerine uygun olarak seçilmiştir.



Şekil 6-c. Cihaz Bileşenleri

EC Plug Egzoz Fanı: Egzoz havasının mahalden emişini sağlar. Enerji verimliliği düşünülerek yüksek verimli EC Motorlu Fan olarak seçilmiştir. Bu fan kendinden motorlu ve devrlidir, filtreler kirlense de fan devri artarak sürekli sabit debide performansın optimum düzeyde kalmasını sağlar.

EC Plug Taze Hava Fanı: Taze havasının dış ortamdan emişini sağlar. Enerji verimliliği düşünülerek yüksek verimli EC Motorlu Fan olarak seçilmiştir.

Damla Tutucu: Önlem için eklenmiştir, hava çığ noktasına ulaşıp cihaz içerisinde yoğuşma oluşturduğunda oluşan damlacıkları tutmak için kullanılır.

Dolaşım Damperi: Cihaz uyku fazında iken mahalde çok düşük debili olarak bakteri oluşmaması için hava akımını sağlar. (Kompresör ve pompa çalışmaz ve aynı zamanda cihaz çalışırken talebe göre karışım sağlar)

Pulverize Su Fiskiyesi: Suyun pulverize (3-4 bar) edilip buharlaştırılmasını sağlar. Böylece su buharlaşırken ortamdaki buhar enerjisi kadar ısı çeker ve havanın soğutulması sağlanır. (Doğrudan buharlaşma etkisi)

Plakalı Isı Geri kazanım: Buharlaşan suyun etkisi ile soğuyan havanın ısı enerjisinin dolaylı adyabatik olarak taze havaya aktarılmasını sağlar. Böylece suyun nemi taze havaya karışmamış sadece ısının enerjisi taze havaya aktarılması gerçekleşir. Bu şekilde dış ortamdan 35°C'de alınan hava 21-22° C sıcaklığa su ile adyabatik yöntemle soğutulmuş olur.

EC Dolaşım pompası: Suyun havuzdan fiskiyelere iletimini sağlar. Enerji verimliliği düşünülerek EC motorlu olarak seçilmiştir, pompa devrini ayarlayarak optimum performansa ulaşılmasını sağlar.

Dolaşım Suyu Havuzu: Sirkülasyon suyu için havuz görevi yapmaktadır. Su Derinliği 280 mm'dir.

Buharlaştırıcı Isı Değiştirici: Plakalı ısı geri kazanımdan çıkan havanın ihtiyaç duyulması halinde 21-22° C'den 15-16°C'ye kadar soğutulmasını sağlar. (R 410 A Çevreci gaz kullanılır)

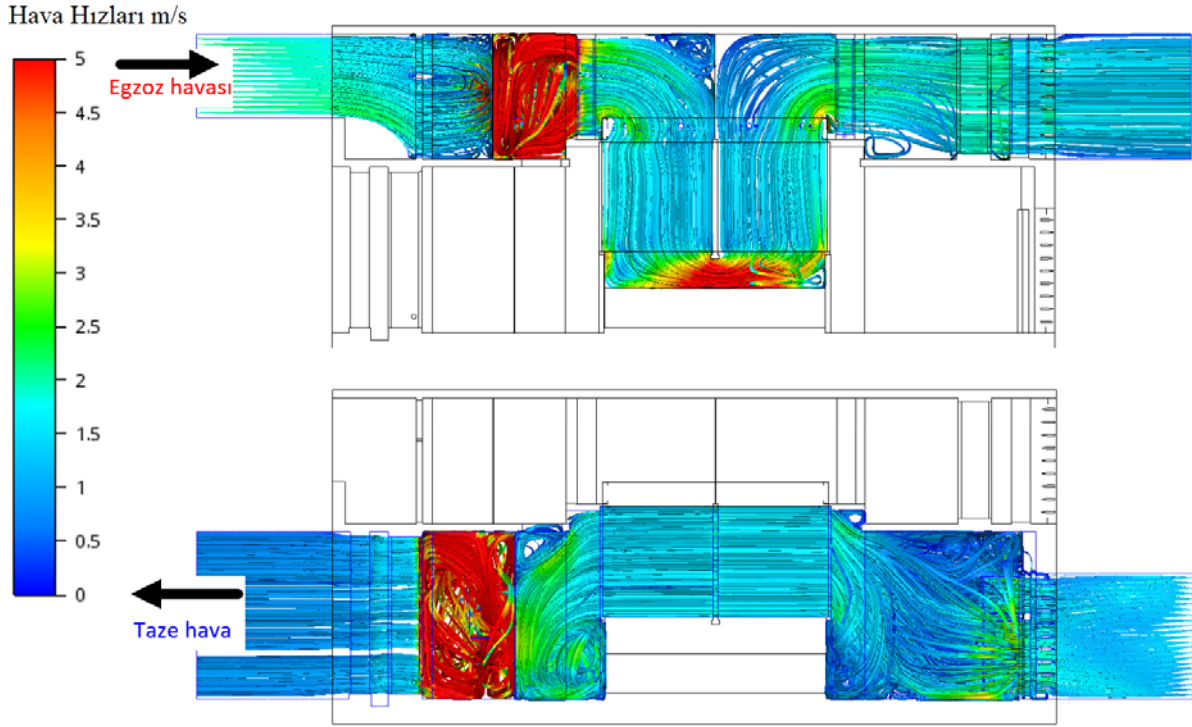
Yoğuşturucu Isı Değişirici: Yoğuşturucudan alınan ısının dış ortama atılmasını sağlar.

R 410 A gazı kullanıldığında: $ODP=0$, $GWP= 2088$, $ODI = 0.175$ (Eşitlik 10).

EC Sıkıştırıcı: Yoğuşturucudan emdiği gazı sıkıştırarak, basıncını yükselterek yoğuşturucuya gönderilmesini sağlar. Verimlilik için EC olarak seçilmiştir, ihtiyaca göre devrini ayarlayarak optimum performansta çalışmaktadır.

Örnek CFD Çözümleme Sonuçları

Şekil 7'de görüldüğü üzere, fan kabini dışındaki hava akışlarının oldukça düzgün olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni, damla tutucu, ısı değişirici, filtre, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu gibi ardışık elemanların akışı düzeltici etkisidir.

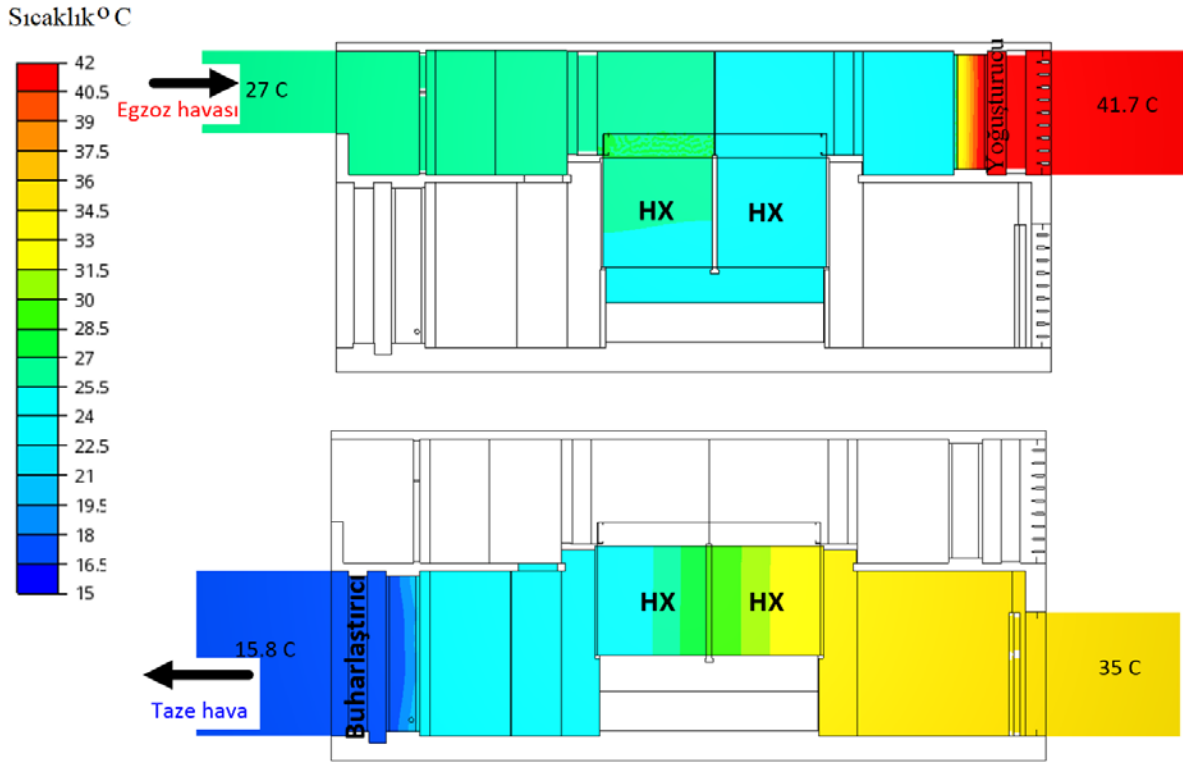


Şekil 7. Sistemdeki Örnek Hava Akım Çözümlemeleri

Cihazın Temizlenmesi ve Lejyoner Risklerinin Giderilmesi

Lejyonella bakterileri yaşayabileceği uygun bir ortam buldukları takdirde hızla çoğalır. 20 ile 50°C arasındaki ılık veya sıcak durgun suda, bakterilerin gelişmesi için uygun bir ortam oluşur.

1.Yöntem: Bu tür cihazlarda belli aralıklarda cihazın kendi kendini temizle fazında damperler kapanıp, fanlar ve kompresör durdurulup, havuz suyuna klor ve kimyasal temizleyiciler eklenip fiskiyelerden plakalı ısı geri kazanım üzerine bu karışımli suyu püskürtme yaparak havuzun içerisini ve plakalı ısı geri kazanımı temizlemesidir.



Şekil 8. Sıcaklık Dağılımı

2.Yöntem: Bir diğer önlem ise UVC lambalar ile sterilizasyon yöntemidir. Standartlara göre seçilmiş bu lambaları fısıkiye sistemine ve buharlaştırıcı bataryasının çıkışına bağlayarak son çıkış havasının temiz olarak iç mekâna üflenmesini sağlar. UVC lambalar her zaman aktif olarak çalışmalıdır.

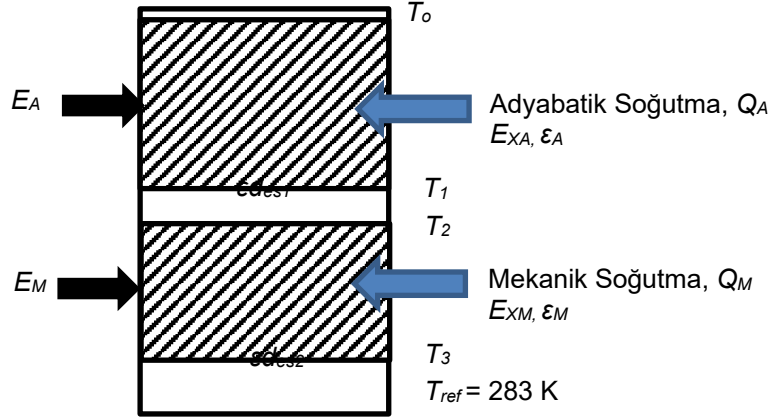


Şekil 9. Örnek Tasarımın Yan Görünüşü

4. EKSERJİ TABANLI ÇÖZÜMLEME

Örnek tasarım bir referans klima cihazı ile ekserji tabanında karşılaştırılmıştır. Şekil 10'da gösterildiği üzere, yıkılan ekserji miktarı çok azdır ve işlem dış havanın çok yakınından başlar ve oradaki ekserji yıkımı ihmal edilmiştir. Burada %100 taze hava kullanılmaktadır. Bu cihaz tasarımında iç mekân sıcaklığını 27°C ve %47 bağıl nem düzeyinde tutmak üzere tasarlanmış olup, cihazın 15°C-16°C aralığında %100 bağıl neme sahip hava üflenmesi gerekmiştir. Şekil 9'da ise referans klima cihazı değerleri görülmektedir. Tasarıma en yakın ürün debisi 5500 m³/seçilebildiğinde bu referans cihazın performansı ileriki bölümde 5000 m³/h değerine uyarlanarak eş baz hesapları yapılacaktır. Şekil 10'da

ise referans cihazın ekserji akış diyagramı gösterilmektedir. Şekil 8 ve 10 arasında önemli ekserji yıkım farkları olduğu görülmektedir. Örnek tasarımda dış ortamdaki ekserji öncelikle adyabatik soğutmada değerlendirilmekte, daha sonra da alışımlı gaz sıkıştırılmalı sistemde mekanik soğutma yapılmaktadır.



Şekil 10. Örnek Tasarımın Ekserji Akış Diyagramı

Örnek cihazın kendi performansı ve ekserji akış diyagramına göre üçüncü CO₂ salım sorumluluğu aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\sum \varepsilon_{des} = \varepsilon_{des1} + \varepsilon_{des2} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) + \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_3}\right) \quad (13)$$

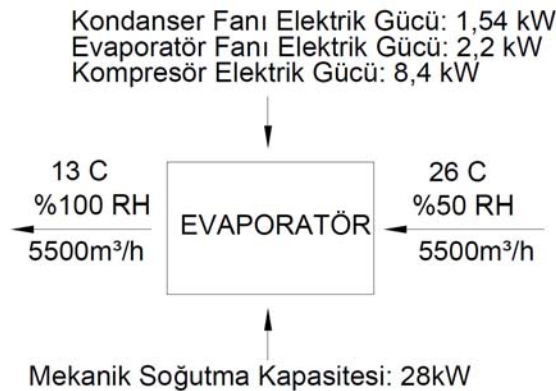
$$\Delta CO_2 = 0.27 \times \sum \varepsilon_{des} \quad \{\text{Üçüncü salım sorumluluğu}\} \quad (14)$$

$$\psi_R = \frac{\varepsilon_{xM} + \varepsilon_{xA}}{0.95} = \frac{\left(1 - \frac{T_3}{T_2}\right) + \left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right)}{0.95} \quad (15)$$

Burada 0.95 kW/kW elektrik gücünün birim ekserjisidir.

Referans Klima Cihazı

Her şeyden önce bu cihaz %100 tekrar dolaşım (resirküle) hava ile çalışmaktadır. Referans klima cihazının performans değerleri Şekil 9'da gösterilmektedir. Bu cihazın debisi hesaplarda 5500 m³/h değerinden 5000 m³/h değerine uyarlanmıştır.



Şekil 11. Referans Klima Cihazı (n=1 ve sadece mekanik soğutma)

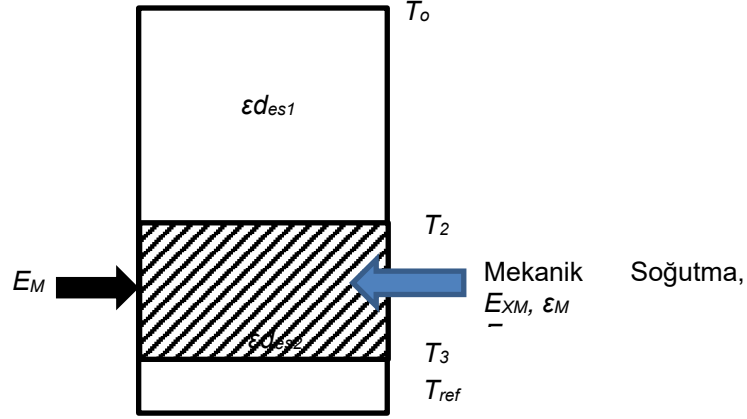
Toplam Elektrik Güç Girdisi = (1.54+2.2+8.4) kW = 12.14 kW

Güç uyarlaması ile = 12.14 x (5000/5500)³ = **9.12 kW**

Güç uyarlaması ile mekanik soğutma gücü = 28 kW x (5000/5500) = **25.45 kW**

COP = 25.45 kW/9.12 kW = **2.79**

COP_{EX} = 25.45 x (1-[273+13]/[273+26])/(0.95 x 9.12) = **0.128**



Şekil 12. Referans Klima Cihazı (Şekil 9) için Ekserji Akış Diyagramı

$$\sum \mathcal{E}_{des} = \mathcal{E}_{des1} + \mathcal{E}_{des2} = \left(1 - \frac{T_2}{T_o}\right) + \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_3}\right) \quad (16)$$

$$\psi_R = \frac{\mathcal{E}_{xM}}{0.95} = \frac{\left(1 - \frac{T_3}{T_2}\right)}{0.95} \quad (17)$$

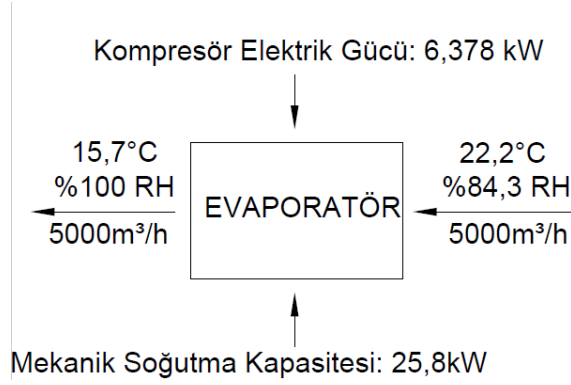
Şekil 12`den görüldüğü üzere, \mathcal{E}_{des1} örnek projeye oranla daha fazla olduğundan ΔCO_2 sorumluluğu daha yüksek ve değeri de oldukça düşüktür.

5. ÖRNEK CİHAZ TASARIMININ HESAPLARI

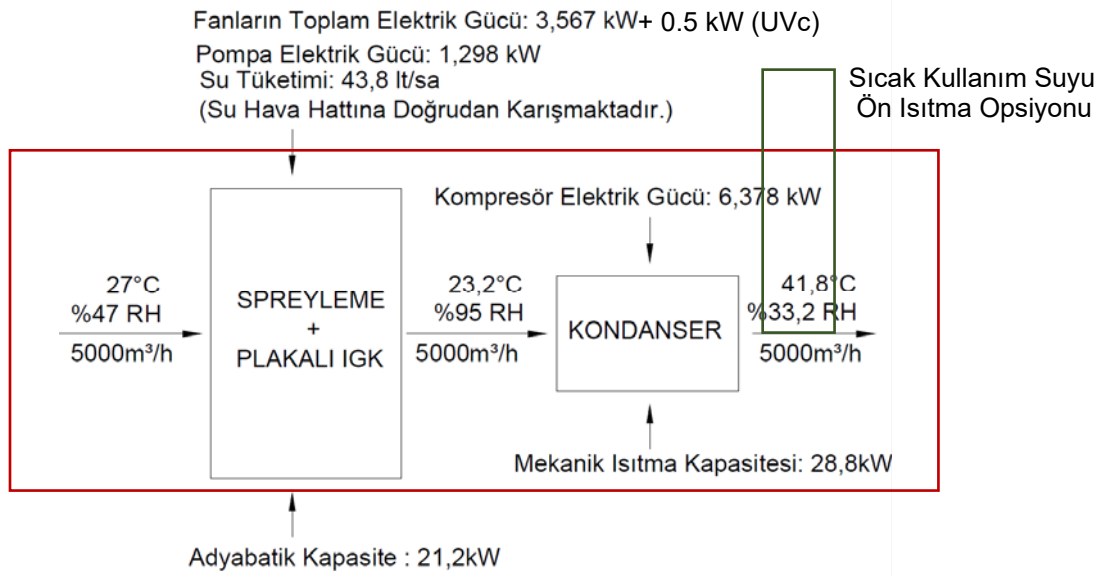
Örnek cihaz projesi için dış tasarım ortam değerleri: $T_o = 35^\circ\text{C}$, 40% RH, Dışa atım (Egzoz) hava sıcaklığı: 41.8°C . İşletim değerleri Şekil 13 ve 14`de gösterilmiştir.

COP = (25.8+21.2)/(3.567+1.298+6.378+0.5) = **4.00**

COP_{EX} = 25.8 x (1-[273+15.7]/[273+22.2])/(0.95 x 6.378)+21.2 x (1-[273+23.2]/[273+35])/(0.95 x ...
...x (3.567+1.298+0.5) = 0.093 + 0.159 = **0.252**



Şekil 13-a. Mekanik Soğutma Bölümünün Performans Değerleri



Şekil 13-b. Adyabatik Soğutma Bölümünün Performans Değerleri.

Adyabatik soğutma işlemi sırasında tüketilen suyun önce sterilize edilmesi gerekir [10]. Spreyleme işlemi yapıldığı bölmede ve başka su birikintisi olan bölmeler var ise bu gibi yerlerde gerekli dozda UVc lambalarla Lejyoner ve benzeri risklere karşı önlem alınmalıdır. ANSI/ASHRAE Standard 188 bu konuda gerekli tasarım ve işletim önlemlerini ve ilgili bilgileri vermektedir [11, 12].

Tüketilen Suyun Çevresel ve Parasal Etkileri

Tüketim: 43.8 l/h. Şebeke suyunun satış bedeli ASKİ değerlerine göre 8.5 TL/m³ alındığında, 43.8/1000 x 8.5 = 0.37 TL/h

Şehir suyunun gömülü elektrik enerjisi yaklaşık 1.25 kW-h/m³ değerindedir [14]. Dolayısı ile:

$$= 1.25 \text{ kW-h}/1000 \text{ kg} \times 0.95 = 0.00125 \times 0.95 \text{ kW-h/l}$$

Bu nedenle:

$$1\text{- Gömülü Enerji} = 43.8 \text{ l} \times 0.00125 \times 0.95 = 0.054 \times 0.95 \text{ kW-h/h (Elektrik)}$$

Elektrik cinsinden hesaplanan bu gömülü enerjinin CO₂ salım sorumluluğu, doğal gazlı bir termik santral tabanında hesaplanmıştır:

$$0.054 \times 0.95 \times PEF \times 0.2 \times (1+0.27 \times (1-0.5)) = 0.029 \text{ kg CO}_2/\text{h} \{ \psi_R = 0.5 \text{ kabulü dahil, } PEF = 2.5 \}$$

2- Buharlaştırmanın CO₂ Eşleniği:

Buharlaştırmanın sadece %1 oranında atmosferde süreli kaldığı gibi iyimser bir tahminle ve su buharının aslında yer yüzeyine yakın atmosferde CO₂ salımına oranla 10 kat daha zararlı olduğu bilindiğinden (441/59 x 1.37 ≈ 10, 1988-2018 verilerine göre) = 0.1 x 43.8 kg/h = 4.38 kg CO₂/h [13]:

Toplam CO₂ sorumluluğu: 4.38+0.029 = 4.4 kg CO₂/h

CO₂ Salımında Net Tasarruf:

$$CO_2 = [(11.43 - 9.12) \times \{1 + 0.27 \times (1 - 283 / 600)\}] \times PEF \times 0.3 = +1.98 - (28.8 / 0.85) \times 0.3 - 28.8 \times 0.27 \times \left(0.95 - \left(1 - \frac{283}{313}\right)\right) = +1.98 - 10.16 - 6.64 = 14.82 - 4.4 = 10.42 \text{ kg CO}_2/\text{h}$$

Birim İşletme Gideri:

$$= [11.43 + 0.37] \text{ kW} \times 0.60 \text{ TL/kW-h} / (25.8 + 21.2) \text{ kW} = 0.151 \text{ TL/kW-h}_{\text{soğutma}}$$

{Ticarethane tek tarife, 0.60 TL/kW-h Ocak 2021}

Referans klima sisteminde ise bu maliyet aşağıdaki gibidir:

$$[9.12 \times 0.60 \text{ TL/kW-h}] / 25.45 = 0.215 \text{ TL/kW-h}_{\text{soğutma}}$$

Dolayısıyla, örnek proje, birim soğutma gücü için yaklaşık %30 daha ucuz işletilebilmekte ve bu arada çevreye 10.42 kg CO₂ salımında azaltma sağlamaktadır.

Atık Isının Değerlendirilmesi

Referans klima cihazında egzoz edilen hava bulunmamaktadır (Resirküle hava). Bu nedenle atık ısı geri kazanımı söz konusu pratikte söz konusu değildir. Ancak önerilen proje seçeneğinde %100 atmosfere salınan sıcak egzoz havası sıcak kullanım suyunun ön ısıtılmasında kullanılabilir. Binaya giriş sıcaklığı yazın 20°C olan şebeke suyunun 40°C sıcaklığa, kapalı devreli bir havadan suya ısı değiştirici vasıtası ile (Verim = 0.75) ön ısıtılmasının yapıldığı varsayılmıştır.

40°C sıcaklıkta havanın yoğunluğu = 1.127 kg/m³, C_p = 1.00 kJ/kg,

$$Q_{GK} = [5000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.127 \times 1 \times (40-20) \text{ K}] \times 0.75 = 23.5 \text{ kW ısı.}$$

Bu ısı kazanımı COP ve COP_{EX} verilerine eklenebilir:

$$COP = (25.8 + 21.2 + 23.5) / (3.567 + 1.298 + 6.378 + 0.25) = 6.13$$

$$COP_{EX} = 25.8 \times (1 - [273 + 15.7] / [273 + 22.2]) / (0.95 \times 6.378) + 21.2 \times (1 - [273 + 23.2] / [273 + 35]) / (0.95 \times \dots) \dots \times (3.567 + 1.298) + 23.5 \times (1 - [273 + 20] / [273 + 40]) / (0.25 \times 0.95) = 0.093 + 0.176 = 6.59$$

Bu suyun açık devreli sistemlerde kullanılması durumunda en az 65°C`a ayrıca ısıtılması gerekir.

CO₂ Salımından Ek Tasarruf:

$$= 23.5 \times 0.2 / 0.85 = 5.53 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$$

Burada 0.2 kg CO₂/kW-h doğal gazın birim CO₂ içeriği, 0.85 ise ısı kaynağı olarak kabul edilen doğal gazlı kazan verimidir.

Atık ısının da değerlendirilmesi ile toplam CO₂ tasarrufu 10.42+5.53 = 15.95 kg CO₂/kW-h_{soğutma}

Ayrıca şebeke suyunun ön ısıtması ile de doğal gaz tasarrufu gerçekleştirilmektedir:

Doğal Gazdan Tasarruf

$$23.5 / 0.85 \times 0.15152217 \text{ TL/kW-h (İGDAŞ Abone Perakende Fiyatı: 1 Şubat 2021)} = 4.2 \text{ TL/h}$$

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada pandemi dirençli binalarda hem %100 taze hava ile çalışma hem de küresel kriz boyutunda enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra çevreci bir sistemin mümkün olduğu ekserji tabanlı yeni ölçütler yardımıyla gösterilmiştir. Örnek tasarımda adyabatik soğutmada dikkat edilmesi gereken konular da izah edilerek bunların genel performans içerisinde ihmal edilebilir boyutlarda olduğu hesaplanmıştır. Dışarı atılan sıcak havanın ısısının geri kazanımı ile soğutma COP değerinin 6 değerinin üzerine çıkabileceği görülmüştür. COP değerinin bu tür yüksek değerlere ulaşması en çok CO_2 salımlarının azaltılmasına yarar sağlayacaktır ve şu anda sera gazı salımlarında en çok artış CO_2 gazındadır [15]. Bu çalışmada gösterilen ekserji tabanlı çözümler ve yeni ölçütler özellikle çevre ve enerji konularında farkındalık yaratmakta olup kademeli ısı pompalı soğutma sistemlerinde (Laboratuvar ve medikal gibi uygulamalar hariç) en fazla ikiz seri bağlı ısı pompasının ekserji ve çevre bağlamında akılcı olabileceği gösterilmiştir. Bu nedenle de sektördeki genel kaniya (Daha fazla kademe) yeni bir anlayış getirilmiştir [16].

Tablo 3. Mukayese

PERFORMANS ÖLÇÜTÜ	Birim	ÖRNEK PROJE (n = 2)	REFERANS KLİMA* (n = 1)
E	kW	11.43	9.12
Q_f	kW	47**	25.45
COP	-	4***	2.79
COP_{EX}	-	0.252	0.128
$EXTI$	-	+0.09****	-
ψ_R	-	0.075 > 0.070 Yeşil Uygulaması (Eşitlik 15)	0.043 (Eşitlik 17)
odi	-	0.14	0.45
Net CO_2 azaltım	kg CO_2 /h	10.42	-
Su Gideri	l/h	43.8	-
Ek UVc El. Talebi	kW	0.5	-
EXC (Eşitlik 12 paydası $1/[Q_fCOP_{EX}]$)	-	0.084	0.307
İşletme Gideri	TL/kW	0.151	0.215

* 5000m³/h debiye düzeltili

** Ekzoz havasından ısı geri kazanımı ile 70.5 kW

*** Ekzoz havasından ısı geri kazanımı ile 6.13

**** Ekzoz havasından ısı geri kazanımı ile

Yapılan hesaplarda dış hava sıcaklığına bağlı en fazla brüt COP değerinin (Egzoz havasının geri kazanımı ve UVc gideri hariç) 33°C'da gerçekleştiği görülmektedir. Diğer uç sıcaklıklarda ise COP değeri bir miktar düşmektedir. Bu sonuç bizlere mevsimlik COP değerlerinin bu gibi değişimler göz önüne alınarak saatlik değerlere göre düzenlenmelidir. Ayrıca soğutma derece-saat değerleri gizli yükleri içermediğinden çözümlerinin değişik işletme koşullarında tekrarı gerekir.

Tablo 4. Örnek Tasarımda Dış Ortam Sıcaklığına Bağlı COP Değerleri (UVc gideri ve egzoz ısısının geri kazanımı hariç)

Dış Ortam Sıcaklığı °C	COP
29	4.17
31	4.34
33	4.53
37	4.2

7. SİMGELER

ALT	Atmosferde kalış süresi, yıl
a, b	Isı pompasının doğrusallaştırılmış karakteristik COP eşitliğindeki sabitler
C	Yatırım maliyeti, TL
COP	Tesir katsayısı
COP_{EX}	Ekserji tabanlı tesir katsayısı
E	Elektrik gücü, kW
EXC	Ekserji tabanlı maliyet, TL
$EXTI$	Ekserji-tabanlı dizi sayısı endeksi
GWP	Küresel ısıtma potansiyeli
n	Kademedeki ısı pompa sayısı
ODI	Birleşik ozon katsayısı
odi	Ekserji-tabanlı COP değerine karşılık gelen birim ODI
ODP	Ozon seyreltim potansiyeli
Q	Isıl güç, kW
PEF	Birincil enerji katsayısı
T_f	Üfleme sıcaklığı, K
T_o	Dış hava sıcaklığı, K
ΔT_o	Sıcaklık farkı, K
ΔT_i	Kademedeki ısı pompalarının her birindeki sıcaklık farkı
W	Bir saatte atmosfere salınan su miktarı, kg/h
W_t	Cihazın net ağırlığı, kg
\bar{M}	Gömülü malzeme maliyeti, TL/kg
ε	Birim ekserji, kW/kW
ψ_R	Akılcı ekserji yönetim verimi

Alt Simgeler

A	Adyabatik
B	Baz, temel değer
des	Ekserji yıkımı
EX	Ekserji tabanlı değer
M	Mekanik
ref	Çevre referans değeri

8. KAYNAKÇA

[1] Hunt J, Zakeri B, Nascimento A, Garnier B, Pereira M, Bellezoni R, de Assis Brasil Weber N, Smith Schneider P, et al. 2020. High-Velocity Seawater Air-Conditioning with Thermal Energy

- Storage and Its Operation with Intermittent Renewable Energies. *Energy Efficiency*, DOI: 10.1007/s12053-020-09905-0.
- [2] Kılış, B. 2020. Küresel Salgının Hatırlattıkları, İklimsel Isınma ve Klima Sistemleri, *Tesisat Mühendisliği*, MMO, Sayı 177/Özel Sayı-Haziran 2020, s: 16-24.
- [3] Kılış, B. 2019. The Importance of Exergy Rationality and Storage for 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion, Invited Lecture, UNIDO Workshop, Sept. 16-17, 2019, Antalya.
- [4] Kilkis, B. 2021. Metrics of Exergetic Sustainability for Renewable Energy-to-Heat In District Energy Systems, *Energy J.*, Under Review, Manuscript No: EGY-D-20-10362.
- [5] Schoen, L. J. 2020. Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic, *ASHRAE J.* May 2020, pp: 72-74.
<https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/ashrae%20journal/2020journaldocuments/72-74_ieq_schoen.pdf >
- [6] Kilkis, B. 2020. Exergy-Optimum Coupling of Heat Recovery Ventilating Units with Heat Pumps in Sustainable Buildings, *JSDEWES*, Vol. 8, Issue 4, pp: 815-845.
- [7] Kılış, B. 2018. Isı Pompası Tesir Katsayısı Kaç Olmalıdır, *Başyazı, TTMD Dergisi*, Sayı 113, s:3-5
- [8] Shen, O., Abdelaziz, O., Keith R., and Baxter, V. D. 2016. Cold Climate Heat Pumps Using Tandem Compressors, Proc. 2016 ASHRAE Winter Conference Paper: OR-16-C039, January 23-27, Orlando, Florida, Corpus ID: 112426095.
- [9] Kılış, B. 2020-a. Accelerating the Transition to 100% Renewable Era. But How? Exergy Rationality in the Built Environment (Ed. Uyar, T. S.), *Lecture Notes Energy*, Vol. 74, Chapter 1, Springer Nature.
- [10] Aydın, K. 2009. Ultraviyole Işınları ile Suların Dezenfeksiyonu, IX TESKON Kongre Kitabı, s: 989-1004. <https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/08f96d5fdb800b6_ek.pdf>
- [11] ANSI/ASHRAE. 2018. *Standard 188-2018*, Legionellosis: Risk Management for Building Water Systems, AHRAE: Atlanta
- [12] Kowalski, W J. 2009. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, Springer, DOI: 10.1007/978-3-642-01999-9_2
- [13] Pangburn, D. 2020. Water Vapor vs CO₂ For Planet Warming (14), DOI: 10.13140/RG.2.2.17727.87205
<https://www.researchgate.net/publication/338805648_Water_vapor_vs_CO2_for_planet_warming_14>
- [14] Sharon deMonsabert, S., Bakhshi, A., Maas, C., Liner, B. 2009. Incorporating Energy Impacts into Water Supply and Wastewater Management, 2009 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, s:6-13-6-21.
- [15] <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-climate-forcing>
- [16] Gassera, and et.al. 2017. High Efficiency Heat Pumps For Low Temperature Lift Applications, Abstract: 0.1.4.5, 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam 2017.

9. ÖZGEÇMİŞLER

BİROL KILKIŞ

1949 yılında Ankara'da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999'da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri



mevcuttur. Avrupa Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.

Metin UĞUZ

1982 yılında İstanbul'da doğdu. Gazi Üniversite Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü'nden (Makine Teknik Öğretmeni) 2006 yılında mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğinden 2019 yılında mezun oldu.

2012-2013 yılında Yeni Nesil, Yüksek Verimli ve Küçük Hacimli, Isı Transfer Yüzeyi Artırılmış Klima Santrali Tasarımı Projesinde AR-GE ve Tasarım sorumlusu olarak görev aldı.

2013-2014 yılında EC Motorlu, Yüksek Verimli, Sessiz, Özel Dizayn Panjurlu Fancoil Unit Tasarımı Projesinde Ar-Ge ve Tasarım sorumlusu olarak görev aldı.

2020-2021-2022 yılı itibari ile 3 adet TÜBİTAK TEYDEB Projelerinde Proje yürütücüsü olarak görev yapmaktadır.

ALDAĞ A.Ş. bünyesindeki bütün standart cihazların Revit çizimlerinin ve akıllı elemanlarının üretimlerinin yaptırılmasında proje yürütücüsü olarak görev aldı. (İSKİD URGE projesi BIM Danışmanlık desteği kapsamında, kendi alanında BIM sürecine geçişi sağlayan ilk firma ALDAĞ A.Ş.'dir) ÜSİB (Üniversite Sanayi İşbirliği Komisyonu) üyesi olarak devam etmektedir.

Halen ALDAĞ Isıtma Soğutma Klima San. ve Tic. A.Ş.'de AR-GE Müdürü olarak görev yapmaktadır.



GELECEĞE UYUMLU İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Hvac Systems Compatible For The Future

Birol Yavuz

ÖZET

Bu çalışma, yakın gelecekte yıkıcı faktörlerin azaltılması planlanıyor olsa bile, iklim değişikliğinin iklimlendirme sistemleri üzerindeki etkilerine odaklanmak üzere hazırlanmıştır. İklim değişikliğiyle birlikte gelen daha şiddetli yağış, sel, fırtına, aşırı sıcak veya aşırı soğuk nedeniyle sağlık, güvenlik ve yapısal uyum sorunlarının yoğunlaşması beklenmektedir. Bu konuların, uygun mekanik tesisat sisteminin tasarımında, sistem seçiminde ve donanım adaptasyonlarında dikkate alınması ilgi çekicidir. Bu çalışmada, mekanik tesisat sistem bileşenleri bölgesel iklim değişikliği verilerine göre değerlendirilmiştir. Mesleki ve sosyal sorumluluğumuz kapsamında, yeni mekanik tesisat tasarımlarımız iklim değişikliklerine cevap verebilmelidir.

Anahtar Kelimeler: İklimlendirme, İklim Değişikliği, Uyum, Tasarım, Gelecek

ABSTRACT

This study has been prepared to focus on the effects of climate change on air conditioning systems, even if destructive factors are planned to be reduced in the near future. Health, safety and structural adjustment problems are expected to intensify due to more severe rainfall, floods, storms, extreme heat or extreme cold that come with climate change. It is interesting to consider these issues in the design of the appropriate mechanical installation system, system selection and equipments adaptation. In this study, mechanical system and installation the components are evaluated according to regional climate change data. Within the scope of our professional and social responsibility, our new mechanical installation designs should be able to respond to climate changes.

Keywords: HVAC, Climate Change, Harmony, Design, Future

GİRİŞ

Bu çalışmayı yapmaya bizi yönlendiren, meteoroloji uzmanları tarafından ifade edilen; küresel iklim değişikliği etkisini azaltmak için uygulanan en sert politikalar başarılı olsa bile, gelecek 30 yıl boyunca iklim değişiklikleri devam edecektir ifadesidir.

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerinin tüm donanımlarıyla; değişen koşullara hazır olma hali, dayanıklılık duyarlılığı, stress veya rahatsız esnasında işlevselliği ve canlılığını koruması yani direnci, herhangi bir kesinti sonrası geri dönme yeteneği ise sistemin esnekliği olarak nitelendirilmiştir. Bunların tamamının gerçekleşmesi için yapılan çalışmalar, iklimlendirme sisteminin geleceğe uyumu üzerine hazırlıklar olacaktır.

Önümüzdeki 30-50 yıl boyunca yaşayacak yeni binaların iklimlendirme sistem tasarımlarında bu uyum kriterleri ile çalışabilmek, öncelikle iklim olarak gelecekte tasarım bölgesini nelerin beklediğini bilmekle mümkün olabilecektir.

Bu konu, en detaylı ve güncel olarak WMO ve IPCC tarafından çalışılmaktadır. Meteoroloji uzmanları, gelecekteki iklimi tahmin etmek için, iklim sisteminin bileşenleri etkileşimlerinin ve geri bildirimlerinin matematiksel gösterimleri olan modeller kullanmışlardır.

IPCC çalışmaları, radyasyonel zorlamalara ve iklim sisteminin bu zorluklara tepkisine dayanan, insan kaynaklı iklim değişikliği senaryolarıdır.

Çalışmanın ilk bölümünde, tasarım önerilerde bulunulacak Türkiye/Ege Bölgesi için TSMS 'ye ait iklim değişikliği senaryoları incelenmiştir. Burada, iklim değişikliklerinden kaynaklanacak tüm olumsuzluk ve tehlikeler dikkate alınmıştır. Tüm bu tehditlere hazırlıklı olmak ve geleceğe uyum sağlayabilmek için, mekanik tesisat ve iklimlendirme sistemleri konusunda geleceğe uyum kriterleri üzerine çalışılmıştır.

Bazı kısaltmalar:

WMO: Dünya Meteoroloji Örgütü

UNDRR: Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi

TSMS: Türkiye Devlet Meteoroloji Servisi

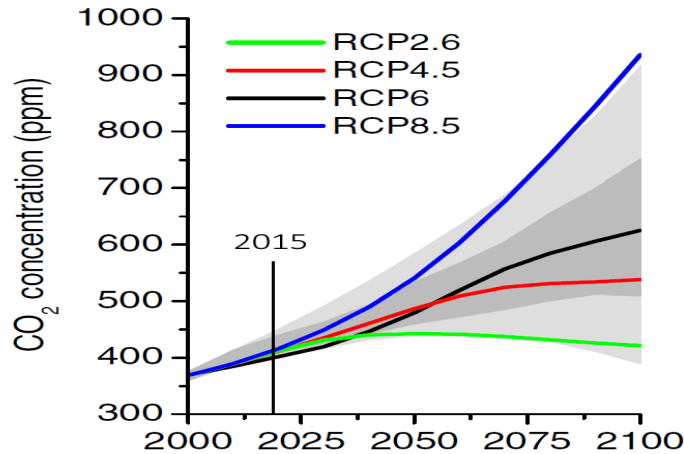
IPCC: Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

RCP: Temsili Konsantrasyon Yolları

İklim değişikliği senaryoları

Dünya Meteoroloji Örgütü ile koordineli çalışan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli kapsamında tüm sektörlerden uzman bilim insanlarının katılımıyla geliştirilen senaryolarda; Nüfus artışı, enerji kullanımı, ekonomiler, teknolojik gelişmeler, tarım ve arazi kullanım değişiklikleri için farklı varsayımlar dikkate alınmıştır.

IPCC çalışmaları, radyasyon ve iklim sisteminin bu zorluklara tepkisinin Temsili Konsantrasyon Yolları (RCP's) şeklinde ifade edilen modellerdir (Şekil 1 - Tablo 1).



Şekil 1. IPCC Emisyon azaltma seviyesi ve RCP's [2]

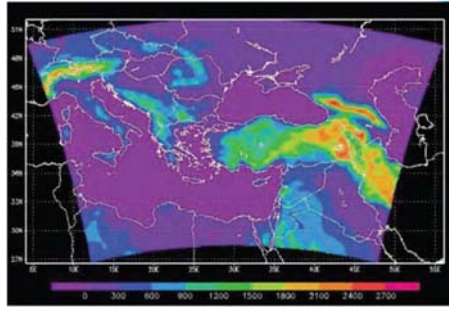
Bu çalışmada, gelecekteki iklim değişikliği senaryoları RCP4.5 modeli üzerinden incelenmiştir. Bunun nedeni 2070 sonrası iklim değişikliklerinin kontrol altına alınması ve radyal zorlama değerinin metrekare başına 4,5 Watt olması yani orta stabilizasyon senaryo değerleri ile gerçekleşmesi beklentisidir (Şekil 1). Tablo 1'de görüldüğü gibi, RCP4.5 için, 2070'de öngörülen CO2 konsantrasyon seviyesi 450 ppm'dir.

Tablo 1. Temsili Konsantrasyon Yolları (RCPs)

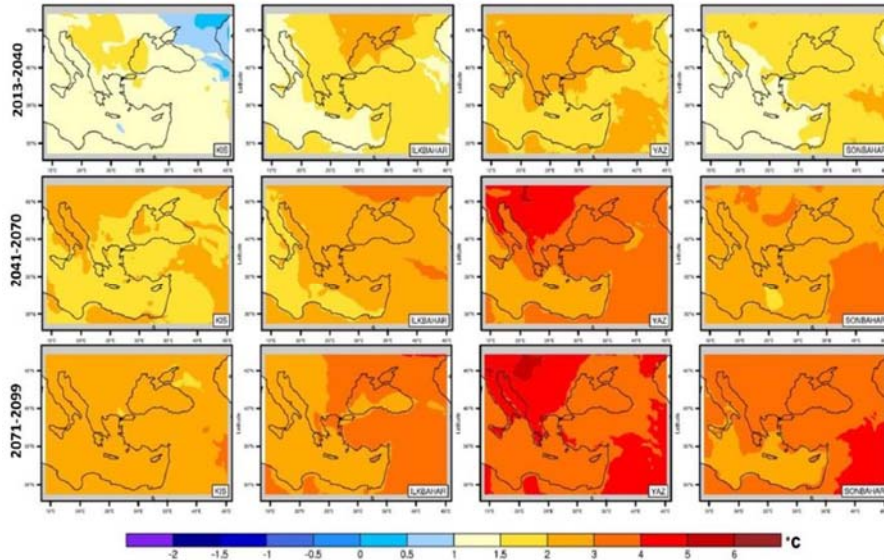
Temsili Konsantrasyon Yolları (RCPs)	Radiation	CO2 (ppm)-2070
RCP2.6 Düşük emisyon seviyesi (sanayi devrimi öncesi)	2.6 W/m ²	350
RCP4.5 Orta stabilizasyon senaryosu değerleri	4.5 W/m ²	450
RCP6 Ara stabilizasyon senaryosu değerleri	6 W/m ²	550
RCP8.5 Azaltma politikası olmadan yüksek emisyon senaryosu	8.5 W/m ²	800

Ege Bölgesi / IPCC-TSMS Türkiye için sıcaklık ve yağmur senaryoları

IPCC küresel iklim değişikliği senaryolarına paralel olarak, TSMS tarafından yapılan çalışmada, tasarım bölgesi olan Ege Bölgesi'nin gelecekteki sıcaklık ve yağış senaryoları incelenmiştir [3].

**Şekil 2.** Çalışma alanının topoğrafya görünümü**Sıcaklık senaryosu**

ilk dönemde (2013-2040), genel olarak 1.5-2 ° C arasındaki sıcaklıklarda bir artış olacağı ve bu artışın ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Yaz aylarında 2-3 ° C, ikinci dönemde (2041-2070), ilk ve sonbahar sıcaklıklarında 2-3 ° C ve yaz sıcaklıklarında 4 ° C artış olacağı tahmin edilmektedir. Son dönemde (2071-2099), kış sıcaklıklarında 2 ° C, ilk ve sonbahar sıcaklıklarında 3 ° C ve yaz sıcaklıklarında, özellikle de kıyı bölgelerinde 5 ° C artış olacağı tahmin edilmektedir (Şekil 2 - Tablo 2).

**Şekil 3.** RCP4.5 Sıcaklık senaryoları [1], soldan sağa, kış, ilkbahar, yaz, sonbahar

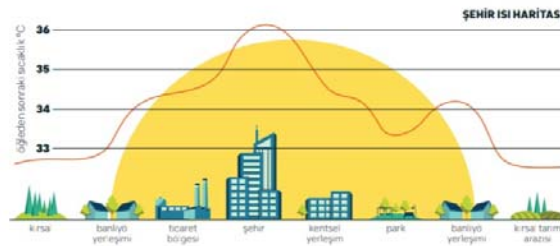
Tablo 2. Sıcaklık senaryo değerleri (°C) [1]

RCP4.5				
Periyot	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
2013-2040	1,5-2	1,5-2	2-3	1,5-2
2041-2070	1,5-3	2-3	2-4	2-4
2071-2099	2-3	2-4	3-5	3-5

2070 yılında faaliyete geçmesi beklenen bina için Tablo 2'den yaz ayları için tasarım sıcaklığı mevcut iklim verilerinden + 4 ° C daha yüksek alınmalıdır (Tablo 2).

Isı Adası etkisi

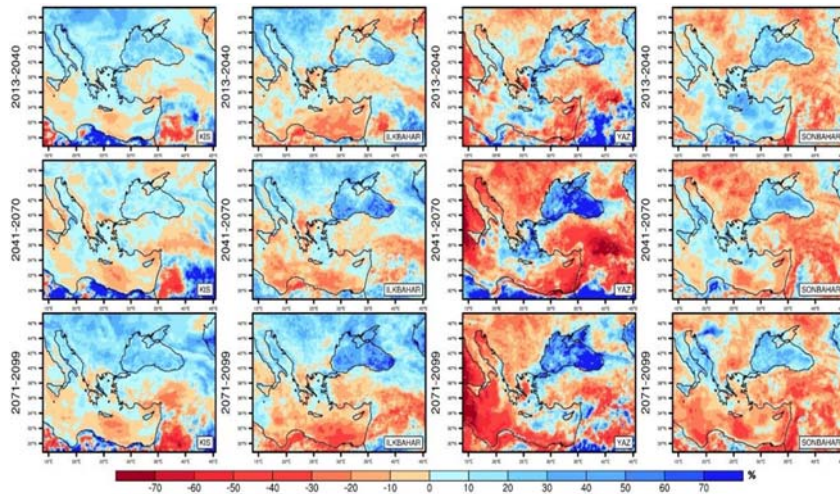
Yaz mevsimi için, ısı adası etkisi de dizaynımızda dikkate alınmalıdır.

**Şekil 4.** Isı adası etkisi

Son olarak Ege bölgesi / İzmir Karşıyaka lokasyonu için standart tasarım sıcaklığı olan 37 °C 'den Tsummer = 41°C çıkmış iken, ısı adası için de +2°C ilavesi ile son tasarım sıcaklığı Tsummer= 43°C olmalıdır.

Yağmur senaryosu

İlk dönemde (2013-2040) yağışların kış aylarında, özellikle kıyı kesimlerde, artacağı tahmin edilmektedir. Ülkenin büyük bir bölümünde ilkbahar yağışlarında %20'ye kadar azalma öngörülmektedir. Sonbaharında %30'a varan düşüşlerin olacağı tahmin edilmektedir. Son dönemde (2071-2099), özellikle kıyı şeridi boyunca kış yağışlarında %10 artış olması beklenmektedir. Kıyı bölgelerinde bahar yağmurlarında %20'lik bir azalma olacağı tahmin edilmektedir. Yaz aylarında özellikle kıyı bölgelerinde yağışların %40'a kadar düşeceği tahmin edilmektedir (Şekil 3 - Tablo 3).

**Şekil 5.** RCP4.5 Yağmur senaryosu [1], soldan sağa, kış, ilkbahar, yaz, sonbahar

Tablo 3. Yağmur senaryo değerleri (%) [1]

RCP4.5				
Periyot	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
2013-2040	-10 - +20	-20 - +20	-30 - +40	-30 - +10
2041-2070	-30 - +30	-40 - +20	<u>-50 - +60</u>	-40 - +10
2071-2099	-20 - +30	-50 - +20	-50 - +50	-50 - +10

Türkiye, 36 ve 42 derece enlemleri arasında yer alır ve tropiklerin tepesinde yüksek basınçlı havanın ani yağışlara çok yakın olması kritik bir durumdur [4]. Bu özellik beraberinde yaz ayları için hem kuraklığı hem de ani yağış ve selleri beraberinde getirmektedir. Tehditler açısından bakıldığında, 2041 ile 2070 yılları arasında yaz yağışlarında hem %50 azalma ve hem de %60 artış dengesizliği dikkat çekicidir (Tablo 3).

İklim değişikliği senaryolarına göre tasarım bölgesini bekleyen tehditler

Tablo 4. Gelecekteki iklim senaryoları değerlendirmesi [4]

İklim değişikliği	SICAKLIK	YAĞMUR
	Aşırı Sıcaklık	Mevsimsel yağışlarda değişim
Sonuç	Güneş saatlerinde artış ve kuraklık	Şiddetli yağmurlar ve seller
	Isı adası etkisinin artması	Fırtınalar
	Kirlenici, bakteri ve virüs hareketleri	Deniz seviyesi yükselmesi

Meteorologların gelecekteki iklim değişikliği senaryoları, hem mekanik tesisat mühendisleri hem de tüm ilgili paydaşlar için, geleceğe uyumlu sistemleri tasarlamak üzere ana verileri sağladığı görülmektedir.

İklimlendirmede bölgesel iklim değişiklikleriyle uyumlu esnek sistem öngörülleri

İklim değişikliği sonucu, yerelde meydana gelmesi beklenen değişimler ve ani doğa olaylarına karşı Ege Bölgesi kıyı kesiminde bir yapı için, iklimlendirme sistem ve donanımları dikkate alınmıştır.

İklimlendirme sisteminin değişen koşullara hazırlıklı ve rahatsızlık anında dirençli olması ayrıca oluşabilecek bir kesintiden sonra en kısa zamanda işlevsellik kazanabilmesi için gereken uyumluluk kriterleri öngörülmüştür.

Geleceğe uyumlu iklimlendirme sistem tasarımı konusunda henüz standartlar oluşmamasına rağmen, konu tasarımcıların inisiyatif ve hassasiyetleri ile çalışılmaktadır.

Geleceğe uyumluluk kriterleri

1. Birincil Önlemler, Karbonsuzlaştırma

Mekanik Tesisat tasarımcısı tarafından seçilen sistemin iklim değişikliğine karşı, Termodinamik ve Verimlilik esaslı adaptasyon önlemlerini içerir.

Tablo 5.1 Karbonsuzlaştırma kriterleri

1	BEP-TR Faliyetleri
2	EVD Faliyetleri
3	LEED, BREAMS ve BEST Faaliyetleri
4	ASHRAE Standart 90.1
5	ASHRAE Standart 62.1-2
6	EN 378 Standartı
7	ASHRAE Standart 84 (TC5.5)
8	ASHRAE Guidline 36
9	GES/RES ve Diğer Alternatif Enerji Kaynakları
10	Hidrojen Yakıtı
11	Elektrifikasyon
12	Isı Pompası
13	Evaporatif Soğutma (Ashrae TC5.7)
14	Güneş Duvarı
15	Doğal Havalandırma
16	Kişisel Havalandırma

2.İkincil önlemler, Esneklik

Seçilen Sistem ve ekipmanların, beklenen doğa olaylarına karşı hazırlığını(adaptasyonunu), rahatsızlık anında direnç ve dayanıklılığı ayrıca, eğer rahatsızlık sonunda sistemde bir zarar oluştuysa, sistemin tekrar işlevselliğini kazanma kabiliyetini içerir.

Tablo 5.2 Esneklik kriterleri

1	.İklim değişikliği bölgesel sıcaklık senaryosuna göre, dış ortam sıcaklığı standart iklim verilerinden 4 °C daha yüksek alınmıştır (Tablo 2).
2	.Kentsel ısı adası etkisi için, binanın konumuna göre TSMS yaz verilerine göre 2 °C eklenmiş ve ekipman seçimi için toplam +6 °C ilavesi ile, tasarım dış hava sıcaklığı 37 °C yerine 43 °C olarak alınmıştır.
3	.Kentsel ısı adası etkisini azaltmak için mimari ve peyzaj ekipleri ile iç mekan çevre kalitesine odaklanan ortak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.
4	.Yeni termal kapasiteler için yeni enerji yükleri belirlenmiştir.
5	.Tesisat makine dairesi binanın birinci katına inşa edilerek sellerden korunma sağlanmıştır.
6	.Çatıdaki ekipmanları fırtınalardan korumak amacıyla ankrajlarla güçlendirilmiş ve barınak önlemleri alınmıştır.
7	.Enerji yükünü azaltmak için mimari ofis ile pasif ısıtma ve soğutma çalışmaları yapılmıştır. İç hacmi güneşten korumak için özel camlar ve doğal havalandırma için mimari açıklıklar sağlanmıştır.
8	.Yerinde yenilenebilir enerji olarak PVT sistemleri kullanılarak uzun süreli güç kaybına karşı koruma sağlanmıştır.
9	.Yeterli yakıt kapasitesine sahip bir elektrik jeneratörü ile yedek elektrik güç sistemi oluşturulmuştur.
10	.Karmaşık bina kontrolleri yerine, arızalar veya geçici elektrik kesintileri durumunda manuel geçersiz kılmalara izin veren daha basit sistem seçilmiştir.
11	.Su tasarrufu uygulamaları planlanmıştır. Yağmur suyu depolama ve bir rezerv su deposu dahil olmak üzere yedek su kaynakları düşünülmüştür.
12	.Daha büyük menfez ve altyapı kanalları, artan yağmur suyu akışlarını ve atık suyu idare edebilmek için tasarlanmıştır.

3.Toplumsal Önlemler, Sürdürülebilirlik

Tüm bu çalışmaların, Sürdürülebilirliği mümkün kılmasını istenir.

Hükümetler arası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC) ve Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Üzerine Hükümetler Arası Bilim-Politika Platformu'nda (IPBES), iklim değişikliğinin ve biyolojik çeşitlilik kayıplarının önlenmesi için, aşağıdaki stratejileri destekleyen politikaların dikkate alınması istenmiştir.[8]

Tablo 5.3.1 Toplumsal Önlemler 1, İlgili destek Politikaları

· Az gerekli üretimin azaltılması
· Toplumsal hizmetlerin geliştirilmesi
· Yeşil iş garantisinin oluşturulması
· Çalışma zamanının azaltılması
· Sürdürülebilir gelişmenin mümkün kılınması

Bu stratejilerin yanında ayrıca, beş başlıkta ifade edilen aşağıdaki temel önlemler önerilmektedir.[7]

Tablo 5.3.2 Toplumsal Önlemler 2, Sürdürülebilirlik

· Büyümeye bağlılıktan vazgeçilmesi
· Toplum hizmetlerinin fonlanması
· Çalışma zamanının düşürülmesinin başarılması
· (Mal ve hizmet) sağlama sistemlerinin yeniden şekillendirilmesi
· Politik fizibilite ve muhalefet

Geleceğe uyumlu iklimlendirme sistemlerinden beklenen faydalar

Geleceğe uyumlu tasarlanan esnek sistemler, temel insan ihtiyaçlarını karşılar. Bunlar yaşanabilir koşullar içindir; yeterli enerji, yeterli içme ve kullanma suyu, yeterli termal koşullar, iç ortam çevre kalitesi (IEQ), güvenli ve yeterli havalandırma, iç mekan hava kalitesi (IAQ) gibi.

Çeşitli ve yedekli olarak tasarlanmış sistemler, doğal olarak daha esnek bir yapı sağlar ve kesintilere veya değişikliklere daha iyi yanıt verebilir.

Basit, pasif ve manuel geçersiz kılma sistemleri, arızalanabilen ve sürekli bakım gerektiren karmaşık çözümlerden daha dayanıklıdır. Esnek çözümler, kısa ve uzun vadede değişen koşullara uyum sağlar.

Yerel olarak kullanılan yenilenebilir veya geri dönüştürülmüş kaynaklar dayanıklı sistemi destekler. Güneş enerjisi kullanmak, yıllık yenilenen yeraltı suyu ve yerel kaynaklar, yenilenemeyen veya uzak kaynaklara göre daha güvenli ve daha dayanıklı özellikler sağlar.

Geleceğe uyumlu esnek tasarımlar dayanıklılığını artırır. Bu şekilde, dayanıklılık sadece mekanik uygulamaların daha güvenli olmasını sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda yapıyı daha dayanıklı hale getirecek ve çok daha çeşitli sistem iyileştirmeleri için fırsatlar oluşturacaktır [5].

SONUÇ

İklim değişikliği senaryolarına göre, bölgesel iklim değişikliği sonucu oluşacak tehditler belirlendi ve bu tehditlerden kaynaklanacak yapısal uyum sorunlarına önlem oluşturmak üzere, geleceğe uyumlu iklimlendirme sistemleri üzerinde çalışıldı.

Mekanik tesisat sisteminin tehditlere hazırlığı, tehditler anında direnci ve bir kesinti sonrasında tekrar işlevsellik kazanma kapasitesi için sistem tasarım kriterleri sunuldu. Ayrıca bina için çalışan tüm mimari ve mühendislik disiplinlerinin, geleceğe uyumlu bir yapının, tasarımından itibaren bütüncül çalışmalarının önemi ortaya koyuldu.

Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi (UNDRR) tarafından 2020 Haziran ayında açıklanan, en son afet tanımı ve sınıflandırma incelemesi teknik raporunda, dünyamızı bekleyen 300 tehlikeden 60'ının iklim değişikliği tehditleri olarak belirtti [6]. Bu ifadenin, duyarlı, dirençli ve esnek kısaca geleceğe uyumlu iklimlendirme sistemleri çalışmasının amacını desteklediği görüldü.

Geleceğe uyumlu iklimlendirme sistemleri çalışmasının, UNDRR tarafından iklim değişikliği dışında açıklanan diğer jeolojik, nükleer, biyolojik, kimyasal, teknolojik ve çevresel tehditlerine karşı da, hem yapı hem de insan güvenliği stratejileri için yeni referanslar ortaya koyabileceği görüldü.

KAYNAKLAR

- [1] DEMİRCAN, M., DEMİR, Ö., ATAY, H., ESKİOĞLU, O., TUVAN, A., and AKÇAKAYA, A., "Climate change projections for Turkey with new scenarios", The Climate Change and Climate Dynamics Conference-2014 – CCCD2014, 8-10 October, Istanbul, Turkey, pp. 31-32.
- [2] IPCC, <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html> "Definition of Terms Used within the DDC Pages", Retrieved June, 2013, Vol.I.
- [3] The Ministry of Forestry and Water Affairs, Turkish State Meteorological Services (TSMS) TR2015-CC, "Turkey Climate Projections with New Scenario 's and Climate Change", April 2015, Ankara, Turkey (Turkish), pp. 174-177.
- [4] KADIOĞLU, M., Istanbul Teknik Üniversitesi "Afet Yönetimi", Tekin Yayınevi, 2018, pp.139-142.
- [5] RESILIENT DESIGN INSTITUTE, "<https://www.resilientdesign.org/resilient-design-strategies/>", Vermont-USA, 2020, Strategies page.
- [6] UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR), "Hazard, Definition & Classification review Technical Report", 2020 pp. 72-81.
- [7] HICKEL, J. vd. "Degrowth can work — here's how science can help". Nature, Vol.612, 15 December 2022.
- [8]. MORAWSKA, L. ve and MİLTON, D.K. "It Is Time to Address Airborne Transmission of Coronavirus Disease 2019 (Covid-19)". Clinical Infectious Diseases, 6 July 2020].

ÖZGEÇMİŞ

Birol YAVUZ

1965 Kırşehir doğumludur. Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1987 yılında ve aynı Üniversite'nin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji Bilim Dalı'ndan 1991 yılında mezun olmuştur.

Uzmanlık alanı, iklimlendirme sistem ve ekipmanlarıdır. İş Geliştirme ve Teknik Danışmanlık faaliyetlerinde bulunmaktadır.

MMO, TTMD ve ASHRAE TC5.5 üyesidir.

ISIL YÜK HESAPLARINDA TÜRKİYE İÇİN YENİ İKLİM VERİLERİ

New Climate Data for Turkey in Heat Load Calculations

Hüseyin Bulgurcu
Necati Koçyiğit

ÖZET

Binalarda ve endüstriyel sistemlerde kullanılacak olan ısıtma/soğutma ekipmanlarının kapasiteleri etkileyen en önemli faktör iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Ülkemizde kullanılan maksimal (yaz) ve minimal (kış) dış hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri uzun yıllar boyunca coğrafi bölgelerimiz için hep sabit kabul edilmiştir. Halbuki bu değerlerin, meteorolojik verilerin son yirmi-otuz yıllık ortalamaları olarak güncellenmesi gerekmektedir. Çünkü seçilen mekanik tesisatların gereğinden küçük seçilmesi konforsuzluklara veya süreçlerin yetersiz olmasına, büyük seçilmesi ise ilk yatırım masraflarının artmasına, verimsizliklere neden olmaktadır. Bu çalışmada web üzerindeki iklim verilerinden yararlanarak ülkemizdeki birçok il ve ilçe merkezi için maksimal ve minimal dış hava sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri tablolar halinde hazırlanmış olup eski veriler ile farkları ortaya konmaktadır. Yine bu farklardan kaynaklanan yük hesaplamalarındaki oluşan kapasite değişimleri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı yükleri, Isıtma-soğutma yükü, İklim verileri, Türkiye iklim değerleri

ABSTRACT

The most important factor affecting the capacities of heating-cooling equipment to be used in buildings and industrial systems is the difference between indoor and outdoor temperatures. The maximum (summer) and minimal (winter) outdoor temperatures and relative humidity values used in our country have been considered constant for our geographical regions for many years. However, these values need to be updated as the averages of the last twenty three years of meteorological data. Because choosing the selected mechanical installations smaller than necessary causes inconveniences or insufficient processes, and choosing large ones causes an increase in the initial investment costs and inefficiencies. In this study, using the climate data on the web, the maximum and minimal outdoor temperatures and relative humidity values for many provinces and districts in our country have been prepared in tables and their differences with the old data are presented. Again, the capacity changes in the load calculations caused by these differences were analyzed.

Key Words: Heat loads, Heating-cooling load, Climate data, Turkey climate data

1. GİRİŞ

Ülkemizin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliğine karşı yerkürenin en hassas bölgelerinden birisidir. Akdeniz Havzası'nda gerçekleşecek 2°C'lik bir sıcaklık artışı, beklenmeyen hava olayları, sıcak hava dalgaları, orman yangınlarının sayısında ve etkisinde artış, kuraklık ve dolayısıyla biyolojik çeşitlilik kaybı, turizm gelirlerinde azalma, tarımsal verim kaybı ve en

önemlisi kuraklık olarak etkilerini hissettirecektir [1]. Buna göre sıcaklık artışı 2030'lu yılların sonuna kadar yavaş artacak, daha sonra hızlı bir artış gösterecektir. Kış mevsiminde 4 °C, yaz mevsiminde 6 °C'ye ulaşan sıcaklık artışları beklenmektedir.

İklim değişikliklerinde insan eliyle yapılan büyük su havzaları ve baraj gölleri de etkili olmaktadır. Özellikle güneydoğu Anadolu bölgesinde yapılan GAP projesi bu bölgelerin iklimini ılımanlaştırmış, sıcaklık ve nem oranlarını yükseltmiştir.

Binaların projelerinin ısıtma-soğutma-iklimlendirme hesaplarında ısı yüklerinin hesaplanmasında yerleşim yerlerinin yaz maksimum ve kış minimum ortalama değerleri referans alınmaktadır. Ancak bu sıcaklıklar, son yirmi-otuz yılın meteorolojik ölçüm ortalamaları olması gerekirken yaklaşık 60 yıldır hiç değişmemiştir.

Binalar dışındaki tüm endüstriyel süreçlerin hesaplanmasında yine dış hava sıcaklıkları, psikrometrik özellikler ve güneşlenme sürelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Yanlış veriler hesaplarda kapasite hatalarına, yetersiz veya gereğinden fazla büyük kapasite seçimlerine, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetlerine yol açmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'deki il ve ilçelerin yaz ve kış dış hava sıcaklık ortalamaları incelenmiş, eski tablo değerleri ile farklılıklar ortaya konmuştur. Bunun yanında hesaplamalarda kolaylık sağlamak üzere Excel hesaplama sayfaları oluşturulmuştur.

2. İKLİM ÖLÇÜMLERİ

Coğrafik bir yerde uzun bir süre boyunca gözlemlenen sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgâr, yağış, yağış şekli gibi meteorolojik olayların ortalamasına iklim adı verilmektedir. Hava durumundan farklı olarak iklim bilimi (klimatoloji), bir yerin meteorolojik olaylarını uzun süreler içinde gözlemler. Bir yerin iklimi o yerin enlemine, yükseltisine, yer şekillerine, kalıcı kar durumuna ve denizlere olan uzaklığına bağlıdır. İklim türleri, sıcaklık ve yağış rejimi gibi durumlara bakılarak sınıflandırılabilir. Ancak günümüzde en çok kullanılan sınıflandırma sistemi, aslen Wladimir Köppen tarafından geliştirilmiş olan Köppen iklim sınıflandırmasıdır.

İklim; yeryüzünün herhangi bir yerinde hava olaylarına bağlı olarak gerçekleşen etkilerin uzun yılların ortalamasına dayanan durumu olarak tanımlanır. Bu ortalama süre yaklaşık olarak 30-35 yıldır. Ancak yine de bu süreler duruma göre değişebilmektedir. Bunun yanında iklimin ortalama değerleri hesaplama işlevinin yanında değerlerin günlük, yıllık değişken istatistikleri de hesaba katılıp incelenmektedir.

İklim ile hava durumu arasındaki fark ise "İklim beklenen, hava durumu ise elde edilendir." şeklinde açıklanmaktadır. Tarihsel süreçte iklime etki eden temel etmenler dışında bazı dinamik etmenler de etkili olmaktadır. Bu etmenlerden olan okyanus akıntıları nedeniyle Atlantik Okyanusu'nun iki kuzey yakasından batıda olan Kanada kıyılarındaki hava olması gerekenden daha soğukken, doğu yakasındaki Avrupa kıyıları olması gerekenden yaklaşık 5 °C daha sıcaktır. Yine bir yerdeki bitki örtüsünün sıklığı, o bölgedeki yer katmanının daha serin olmasına neden olur. Bitki örtüsünün yoğun olması bölgesel olarak yağışı artırır. Bunun dışında sera gazlarında görülen değişiklikler dünyadaki sıcaklığı değiştirerek "küresel ısınma" veya "küresel soğuma" gibi iklimsel değişiklikleri ortaya çıkarır. Bu bağlamda iklime etki eden tüm durumlar tam olarak açıklanamayan karmaşık bir sistemin parçalarıdır [2].

2.1 Köppen İklim Sınıflandırması [3]

Köppen iklim sınıflandırması; aylık ve yıllık sıcaklıklar, yıllık yağış miktarı, yağışın yıl içindeki dağılışı ve yağış ile sıcaklığın doğal bitki örtüsü ile olan ilişkilerine dayanan bir sistemdir. Bu nedenden dolayı Köppen'in sınıflandırması, bitki örtüsüne dayalı iklim sınıflandırmasına kabataslak biçimde uymaktadır. Köppen sınıflandırmasına göre iklimler beş ana kuşakta, yirmi dört farklı tipte

toplanmıştır. Ana kuşaklar A, B, C, D ve E harfleri ile belirtilirken, iklim tipleri de bu harflere eklenen ikinci, üçüncü ve kimi zaman da bir dördüncü harfle belirtilmiştir. İkinci harfler bölgedeki yağış rejimini, üçüncü harfler sıcaklık karakterini, dördüncü harfler de özel durumları gösterir.

A grubundaki iklimlerde en soğuk aydaki ortalama sıcaklık 18 °C üzerindedir. Öyle ki bütün mevsimler sıcaktır ve kış mevsimi yoktur. Bu gruptaki iklimlerde, yıllık yağış 750 mm üzerindedir. Bu gruptaki iklimler aşağıdaki gibidir:

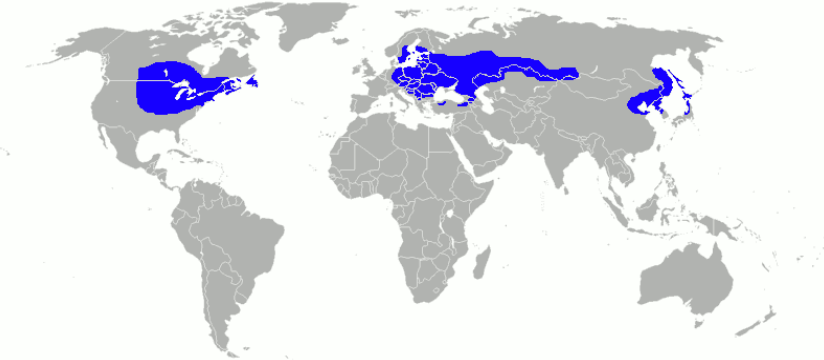
- Her mevsimi yağışlı tropikal iklim – Af
- Bütün aylar sıcak-kurak geçen 2-3 ay dışında yağışlı muson iklimi – An
- Kış ve bazen ilkbaharı kurak, tropikal iklim ya da savan iklimi – Aw

B grubundaki iklimler kurak iklimlerdir. Özellikle step ve çöl sahalarında görülür. Buralarda buharlaşma yağıştan fazladır. Step alanlarda yıllık yağış miktarı 100 ilâ 700 mm arasında, çöllerde ise 50 ilâ 350 mm arasındadır. Bu gruptaki iklimler aşağıdaki gibidir:

- Sıcak step iklimi ya da sıcak yarı kurak iklim – BSh
- Soğuk step iklimi ya da soğuk yarı kurak iklim – BSk
- Sıcak çöl iklimi ya da sıcak kurak iklim – BWh
- Soğuk çöl iklimi ya da soğuk kurak iklim – BWk

C grubundaki iklimler ılıman iklimlerdir. Bu iklimlerde en soğuk ayın ortalama sıcaklığı -3 °C ile 18 °C arasındadır. Aynı şekilde en sıcak ayın ortalama sıcaklığı 10 °C'nin üzerindedir. Kışlar genelde kısadır ancak yine de birkaç ay boyunca toprak karla örtülü olabilir veya donabilir. Bu grupta yer alan iklimler aşağıdaki gibidir:

- Kış kurak ve ılık, yazı çok sıcak iklim (Muson iklimi) – Cwa
- Kış kurak ve ılık, yazı sıcak fakat kısa iklim – Cwb
- Kış ılık, yazı sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi) – Csa
- Kış ılık, yazı sıcak, kurak fakat kısa iklim – Csb
- Kış ılık, yazı çok sıcak her mevsimi yağışlı iklim – Cfa
- Kış ılık, yazı sıcak her mevsimi yağışlı iklim – Cfb
- Kış ılık, yazı kısa ve serin, her mevsimi yağışlı iklim – Cfc



Şekil 1. Dünya çapında gözlenen ılıman karasal iklim kuşağı haritası [3]

D grubundaki iklimler, soğuk orman iklimleridir. Kışların şiddetli olduğu bu iklim grubundaki en soğuk ayın ortalama sıcaklığı -3 °C'nin altında, en sıcak ayın ortalaması 10 °C'nin üzerindedir. Bu kuşaktaki iklimlerde aylar boyunca toprağın karla örtülü kalır. Aşağıdaki iklimler bu gruptadır:

- Kış şiddetli ve kurak, yazı uzun ve sıcak iklim – Dwa
- Kış şiddetli ve kurak, yazı serin iklim – Dwb
- Kış şiddetli ve kurak, yazı kısa ve serin iklim – Dwc
- Kış çok şiddetli, yazı kısa ve nemli iklim – Dwd
- Kış şiddetli yazı uzun ve sıcak, her mevsimi yağışlı iklim – Dfa
- Kış şiddetli yazı kısa ve sıcak, her mevsimi yağışlı iklim – Dfb
- Kış şiddetli yazı kısa serin, her mevsimi yağışlı iklim – Dfc
- Kış çok şiddetli yazı kısa, her mevsimi yağışlı iklim – Dfd

E grubundaki iklimler ise kutup iklimleridir. Bu kuşaktaki iklimlerde en sıcak aydaki ortalama sıcaklık 10 °C'nin altındadır. Aşağıda bu gruptaki iklimler yer almaktadır:

- Yazı çok kısa tundra iklimi – ET
- Sürekli donmuş topraklar iklimi – EF



Şekil 2. Dünya çapında gözlenen ılıman karasal iklim kuşağı haritası [3]

2.2 Meteorolojik Ölçümler

Meteoroloji Genel Müdürlüğü uzmanları, yer ölçümleri ve yüksek atmosfer ölçümleriyle elde edilen verileri analiz ederek, hava durumu tahmininde bulunuyor. Bu ölçümler için otomatik meteoroloji istasyonları, radarlar, uydular, meteoroloji balonları kullanılıyor. Denizcilik, tarım, havacılık gibi pek çok sektör bu verileri takip etmektedir.

Türkiye’de yer seviyesinde 1636, hava alanlarında 74, denizlerde ise 83 otomatik meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar, deniz seviyesinden 0 ila 3500 metre arasında değişen yüksekliklerde konuşlandırılmıştır.



Şekil 3. Türkiye’deki meteoroloji istasyonlarının coğrafik konumları

Meteorolojik verileri kullanan sektörlerin ihtiyaçlarına göre bu ölçüm çeşitleri artırılabilir. Tarım için toprak nemi ölçümü, denizcilik için ise deniz suyu sıcaklığı, deniz dalga boyu, tuzluluk oranı gibi farklı ölçümler de yine Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesindeki birimler tarafından yapılmaktadır.

Diğer bir meteorolojik veri elde etme yolu ise radarlardır. Türkiye’de 20 radar kurulmuş durumda olup bu radarlar sayesinde atmosfer sürekli takip edilmektedir. Kısa süreli tahminler için sistemin kapsama alanına giren bulutlar takip edilerek radarlardan elde edilen veriler kullanılır. Radarlar 2-3 saat sonrasında olabilecek yağışların tahmininde kullanılmaktadır.

Yüksek atmosfer gözlemi için ise meteoroloji balonu kullanılır. Büyük bir balonun altına bir cihaz bağlanarak atmosferin farklı yüksekliklerinde ölçümler yapılıyor. Balon yerden 35 kilometre yüksekliğe kadar çıkarak atmosferdeki rüzgâr, basınç, nem ve sıcaklık bu sayede ölçülebilir [4].

Meteorolojik uydular hava olaylarını küresel olarak inceleme olanağı sağlayan uzaktan algılama cihazlarıdır. Dünya çevresindeki yörüngelerinde hareket ederlerken, sensörleri (radyometre) tarafından kaydedilen verileri belirli aralıklarla yer istasyonlarına gönderirler [5].

Jeostatik hava uyduları, 35,880 km yükseklikte ekvator üzerinde Dünya yörüngesinde döner. Bu yörünge nedeniyle, dönen Dünya'ya göre sabit kalırlar ve böylece görünür ışık ve kızılötesi sensörleriyle aşağıdaki tüm yarımkürenin görüntülerini sürekli kaydedebilir veya iletebilirler [6].

2.3 İklim Değişikliği

İklim değişikliği, tüm dünyanın veya belli bir bölgenin ikliminin tarih boyunca değişikliğe uğraması demektir. Bir yerin birkaç yıl ilâ milyon yıl arasında belli sebeplerden dolayı atmosfer ile ilgili niceliklerinin değişmesi iklim değişikliği ile ilgilidir. Bu değişikliklerin nedeni, Dünya'nın kendisine ait olabileceği gibi, güneş ışığı veya son zamanlarda insan gibi dış etkenlerden dolayı da olabilir.

Son yıllarda özellikle çevre politikalarındaki kullanıma göre, iklim değişikliği kavramı sadece çağdaş dönemdeki değişiklikleri konu almaktadır. Özellikle küresel ısınma ile iklim değişikliği kavramları birbirine ilintilidir. Bazı durumlara göre kavram, sadece beşerî etmenlerle için de kullanılabilir. Bunun en önemli örneği Amerika Birleşik Devletleri'nde iklim üzerine bir kuruluş olan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC)'dir. Bu kuruluş, insanlardan dolayı kaynaklanmayan iklim değişiklikleri için "iklim değişkenliği" terimini kullanmaktadır.

Dünya, geçmişte birçok iklimsel dalgalanmaya sahne olmuştur. Bu dalgalanmalar içinde en iyi bilinen örnek buz çağlarıdır. Buzul dönemleri, buzul arası dönemlerle birbirinden ayrılmış durumdadır. Buzul dönemlerinde kar ve buz yığınlarının artmasıyla, ışınların yansıtılabilirlik değerini yükselterek güneş ışınlarının daha fazla bir kısmı geri yansıtılmakta, bu da atmosfer sıcaklığında düşmeye neden olmaktadır. Volkanik etkinlikler CO₂ ve metan gibi sera gazlarının atmosfere salınmasını beraberinde getirdiği takdirde buzul dönemleri yeniden ısınma periyoduna girer küresel ısınma nedeniyle buzul arası bir dönemi de beraberinde getirebilir. Ancak birçok volkanik aktivite atmosfere salınan ve güneş ışığını geri yansıtan partiküller nedeniyle kısa dönemli küresel soğumayı beraberinde getirmektedir. Bu durum volkanın atmosfere saldığı gaz ve tozların yapısı ve miktarı ile ilgili bir konudur.

Buz devirlerinin yaşanmasındaki tahmin edilen nedenler arasında kıtaların o zamanki durumları, Dünya'nın yörüngesindeki farklılıklar, güneş ışınlarının yayılımındaki değişiklikler ve volkanizma yer almaktadır [7].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir: Birinci aşama verilerin derlenmesi, ikinci aşamada verilerin işlenmesi ve üçüncü aşamada verilerin bir yazılım desteği ile elektronik ortama aktarılmasıdır.

Verilerin derlenmesi: Bu aşamada kullanılan iklim verileri için kullanılan kaynaklar web tabanlı olup bunlardan ilki Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verileridir. Buradaki veriler incelendiğinde "İllere ait mevsim normalleri" değerleri 1991-2020 yılları arasında ölçümlere dayalı olarak aylık ortalama, en düşük ve yüksek sıcaklıkları, ortalama bağıl nem değerlerini, güneşlenme saatlerini, aylık yağış ortalamalarını, aylık yağışlı gün sayılarını vermektedir (Şekil 4) [8].

Çalışmada kullanılan iklim veri kaynaklarının ikincisi Birleşik Krallık merkezli Climate-Data.org web sayfasındaki iklim verileridir (Şekil 5) [9]. Buradaki iklim verileri ECMWF verilerine dayanmaktadır. ECMWF, Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi'dir. Model, 1,8 milyardan fazla veri noktasına ve 0,1 - 0,25 derecelik bir hassasiyete sahiptir.



BALIKESİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1999 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	4.7	6.2	9.0	12.7	17.9	22.6	25.6	25.5	21.2	15.9	10.2	6.1	14.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.0	11.3	15.3	19.8	25.5	30.1	32.6	32.6	28.7	22.6	16.5	10.6	21.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	0.9	1.8	3.4	6.3	10.5	15.0	18.0	18.5	14.2	10.0	5.2	2.4	8.9
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.0	4.0	5.3	6.8	8.7	10.3	11.4	10.4	8.1	6.2	4.2	2.8	6.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı													NaN
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	88.0	73.2	65.3	53.6	36.8	35.0	10.0	4.6	29.8	50.7	73.0	79.4	599.4

Şekil 4. MGM web sayfasında örnek olarak Balıkesir ilinin iklim verileri [8]



CONTINENTS COUNTRIES REGIONS PLACES

Select a continent Select a country Select a region Select a place

Climate-Data.org > Turkey

POPULAR PLACES

Climate Manali

Şekil 5. Climate-data.org ana sayfası [9]

Bu hava durumu verileri, sıcaklık, yağış, su sıcaklığı, nem, yağışlı günler değişkenleri için 1991 ile 2021 yılları arasında toplanmıştır. Güneşlenme saatleri, 1999-2019 zaman çerçevesini kullanmaktadır. Grafikler ve tablolar, 1991 ile 2021 yılları arasındaki Copernicus İklim Değişikliği Servisi bilgileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu veriler de zaman zaman yenilenmektedir. Önceki yenileme Şubat 2021'de, son yenileme Mayıs 2022'de yapılmıştır.

Bu verilerde Türkiye'deki tüm iller, ilçeler ve bazı küçük yerleşim yerlerindeki iklim verilerine ulaşılabilmektedir. Bizim çalışmamızda tüm il ve ilçeler için sıcaklık, nem değerleri ham olarak climate-data.org sitesinden alınmış ve bu değerlerin yaz, kış ortalamaları, rakım, sıcaklık ve bağıl neme bağlı olarak hava yoğunlukları hesaplanmıştır (Şekil 6).

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	6 °C (42.9) °F	6.5 °C (43.8) °F	8.5 °C (47.3) °F	12 °C (53.6) °F	16.9 °C (62.5) °F	21.7 °C (71) °F	24.3 °C (75.8) °F	24.6 °C (76.3) °F	21.1 °C (69.9) °F	16.4 °C (61.5) °F	12.2 °C (54) °F	8.1 °C (46.6) °F
Min. Temperature °C (°F)	3.8 °C (38.8) °F	4.1 °C (39.4) °F	5.5 °C (42) °F	8.5 °C (47.4) °F	13.4 °C (56.1) °F	18.2 °C (64.7) °F	20.9 °C (69.6) °F	21.7 °C (71) °F	18.3 °C (64.9) °F	14 °C (57.3) °F	9.9 °C (49.9) °F	6 °C (42.8) °F
Max. Temperature °C (°F)	8.2 °C (46.8) °F	9 °C (48.2) °F	11.4 °C (52.5) °F	15.4 °C (59.7) °F	20.3 °C (68.6) °F	25 °C (77) °F	27.7 °C (81.9) °F	28 °C (82.4) °F	24.1 °C (75.3) °F	18.8 °C (65.9) °F	14.6 °C (58.2) °F	10.2 °C (50.3) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	88 (3)	75 (2)	75 (2)	50 (1)	38 (1)	35 (1)	26 (1)	24 (0)	52 (2)	80 (3)	78 (3)	107 (4)
Humidity(%)	79%	77%	75%	75%	73%	70%	69%	69%	70%	75%	77%	78%
Rainy days (d)	10	9	8	6	5	4	3	3	5	7	8	10
avg. Sun hours (hours)	5.0	5.8	7.4	9.4	10.8	11.8	11.7	10.6	9.1	6.9	6.0	5.0

Veri: 1991 - 2021 Minimum Sıcaklık °C (°F), Maksimum Sıcaklık °C (°F), Yağış / Yağış mm (inç), Nem, Yağmurlu günler. Veri: 1999 - 2019: ortalama güneş saatleri

Şekil 6. Climate-data.org sayfasında İstanbul için iklim verileri [10]

Verilerin işlenmesi aşamasında yaz ve kış aylarına ait verilerin ortalama (sıcaklık, bağıl nem, yağış miktarı ve güneşlenme zamanı) değerleri hesaplanmış, sıcaklıkların yaz maksimal ve kış minimal ortalama değerleri hesaplanmıştır. Bu süreçte 35892 veri işlenip tabloya aktarılmıştır. Ayrıca ASHRAE

(2017) psikrometrik bağıntıları kullanılarak rakıma bağlı açık hava basınçları [11], hava özelliklerini hesaplamak için oluşturulan MATLAB kodları [12] kullanılarak yaz ve kış açık hava yoğunlukları ve psikrometrik verileri hesaplamak için oluşturulmuş MATLAB kodları ile yaz ortalama yaş termometre sıcaklıkları hesaplanmıştır. [13]

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Bu çalışmada Türkiye il ve ilçelerinin tümüne ait iklim verileri güncellenmiş ve bu değerlerin yaz/kış aylarına ait ortalamaları listelenmiştir. Bu veriler yardımıyla ısıtma-soğutma ve iklimlendirme hesapları daha hassas olarak yapılabilecektir.

MGM iklim verilerine dayalı illerin yaz (maksimal) ve kış (minimal) ortalama sıcaklıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu tabloda eski iklim değerleri de listelenmiş ve yeni veriler ile oluşan farkları gösterilmiştir.

Bu tablo incelendiğinde iller bazında yaz aylarındaki sıcaklık farklarının ortalaması 4,81 °C, kış aylarındaki farkların ortalaması 9,15 °C ve yaz bağıl nem farklarının ortalaması %18,9 olmuştur. Bu farklar oldukça anormaldir.

Climate-data.org web sayfasından tüm iller ve ilçelerimiz için alınan ham iklim verileri yaz maksimal, yaz ortalama (gece/gündüz), kış minimal, kış ortalama sıcaklıkları, yaz ve kış ortalama bağıl nemleri, yaz-kış hava rakıma ve bağıl neme bağlı atmosferik hava yoğunlukları, yaz ortalama sıcaklığına ve bağıl nemine bağlı yaş termometre sıcaklıkları, atmosferik basınçlar hesaplanmış ve tablolar halinde listelenmiştir. Bu tablolar Türkiye'deki tüm il ve ilçelere (997 yerleşim yeri) ait ve yukarıdaki tüm bilgileri kapsadığından bu bildiri içinde tümüne yer verme şansımız olamamıştır. Ancak bu verilere kolayca ulaşabilmeyi sağlamak üzere bir Excel hesaplama sayfası oluşturulmuş olup uygun görüldüğü takdirde MMO web sayfasında paylaşılacaktır (Şekil 7).

Tablo 1. Türkiye'deki il merkezlerinin yaz/kış tasarım değerleri ile (1939-2020) MGM ölçüm ortalamaları arasındaki farklar

İLLER	T _y (E)	T _y (M)	ΔT _y	T _k (E)	T _k (M)	ΔT _k	Φ _{yE} (%)	Φ _y (%)	ΔΦ(%)
Adana	38	33,4	4,6	0	6,4	6,4	38,3	70	+31,7
Adıyaman	38	36,3	1,7	-9	2,6	11,6	23,4	33,3	+9,9
Afyon	34	28,2	5,8	-12	-1,9	10,1	30	55	+25
Ağrı	34	27,9	6,1	-24	-12,9	11,1	47,9	53,3	+7,4
Aksaray	34	29,5	4,5	-15	-2,1	12,9	26,7	48	+21,3
Amasya	31	30,5	0,5	-12	0,2	12,2	40,1	54,7	+14,6
Ankara	35	29,2	5,8	-12	-1,2	10,8	27,2	50,7	+23,5
Antalya	39	33	6	3	6,6	3,6	43,2	59,7	+16,4
Ardahan	27	23	4	-21	-14,1	6,9	41	69	28
Artvin	30	25,5	4,5	-9	0,7	9,7	72,7	69	-3,7
Aydın	39	35,1	3,9	-3	5	8	35,3	52	+16,7
Balıkesir	37	31,8	5,2	-3	1,7	4,7	42,4	61,7	+19,3
Bartın	31	27,6	3,4	-3	1,1	4,1	40	78,3	+38,3
Batman	40	38	2	-9	-0,3	8,7	22	23,7	+1,7
Bayburt	33	25,9	7,1	-15	-8,9	6,1	29,4	55,3	+25,9
Bilecik	34	27,6	6,4	-9	0,7	9,7	38,6	59,3	+20,7
Bingöl	33	32,9	0,1	-18	-4,5	13,5	33,1	39	+5,9
Bitlis	34	27,6	6,4	-15	-7	8	34,2	53	+18,8
Bolu	34	26,7	7,3	-15	-2,5	12,5	43,2	72,3	+29,1
Burdur	36	30,7	5,3	-9	-0,1	8,9	24,6	47,7	+23,1
Bursa	37	30,1	6,9	-6	2,5	8,5	37,3	59,7	+22,4
Çanakkale	34	29,7	4,3	-3	4	7	47,9	70,7	+22,8
Çankırı	34	29,8	4,2	-15	-3	12	47,9	59,7	+11,8
Çorum	29	28,2	0,8	-15	-3,2	11,8	37,8	62,3	+24,5
Denizli	38	33,5	4,5	-6	3,2	9,2	30,5	49	+18,5
Diyarbakır	42	36,7	5,3	-9	-1,1	7,9	19	32,3	+13,3
Düzce	35	28,5	6,5	-9	1,4	10,4	--	71,7	?
Edirne	36	31	5	-9	0,4	9,4	40,6	58,7	+18,1



Elâzığ	38	32,8	5,2	-12	-2,7	9,3	20	38,3	+18,3
Erzincan	36	30,2	5,8	-18	-5,4	12,6	28,4	51,7	+23,3
Erzurum	31	25,2	5,8	-21	-12,3	8,7	50,3	54,7	+4,4
Eskişehir	34	28,8	5,2	-12	-3,1	8,9	43,2	58,7	+15,5
Gaziantep	39	33,9	5,1	-9	0,2	9,2	24,5	49	+24,5
Giresun	29	25,4	3,6	-3	5,3	8,3	72,2	78,3	+6,1
Gümüşhane	33	27,4	5,6	-12	-4,5	7,5	42,2	64	+21,8
Hakkâri	34	29,4	4,6	-24	-6,5	17,5	26	40	+14
Hatay	37	30,8	6,2	0	5,5	5,5	50,3	65,3	+15
İğdir	36	32	4	-18	-6	12	27,9	44,3	+16,4
Isparta	34	29,2	4,8	-9	-1,1	7,9	30	51	+21
İstanbul	33	27,8	5,2	-3	3,9	6,9	47	71,7	+24,7
İzmir	37	32,3	4,7	0	6,5	6,5	37,3	52,7	+15,4
K.maraş	36	34,6	1,4	-9	2,4	11,4	28,4	54	+25,6
Karabük	32	31,3	0,7	-12	0,3	12,3	-	59,3	?
Karaman	34	29,9	4,1	-12	-2,6	9,4	25,5	48	+22,5
Kars	30	24,3	5,7	-27	-14,3	12,7	39	71	+32
Kastamonu	34	26,9	7,1	-12	-3,5	8,5	34,2	61,7	+27,5
Kayseri	36	29,5	6,5	-15	-5,4	9,6	32,3	54	+21,7
Kırıkkale	35	29,9	5,1	-12	-1,7	10,3	31,7	55	+23,3
Kırklareli	35	29,7	5,3	-9	1,1	10,1	44,1	62,3	+18,2
Kırşehir	35	28,7	6,3	-12	-3,1	8,9	27,2	54,7	+27,5
Kilis	39	35,2	3,8	-6	3,2	9,2	16	49	+33
Kocaeli	36	28,9	7,1	-3	4	7	40,6	71	+30,4
Konya	34	29	5	-12	-3,3	8,7	34,2	44,3	+10,1
Kütahya	33	27,2	5,8	-12	-2,3	9,7	33,1	56,7	+23,6
Malatya	38	32,5	5,5	-12	-2	10	20	37	+17
Manisa	40	34	6	-3	3,7	6,7	32,5	46,7	+14,2
Mardin	38	33,4	4,6	-6	1,6	7,6	26,9	31	+4,1
Mersin	35	30,2	4,8	3	7,1	4,1	63,9	77	+13,1
Muğla	37	32,2	4,8	-3	2,2	5,2	25,8	51	+25,2
Muş	32	31,2	0,8	-18	-8,6	9,4	31,9	44,3	+12,4
Nevşehir	28	27,3	0,7	-15	-2,6	12,4	31,4	52,3	+20,4
Niğde	34	28,3	5,7	-15	-3,5	11,5	26	50,3	+24,3
Ordu	30	26,1	3,9	-3	4,6	7,6	49,4	72	+22,6
Osmaniye	38	33,1	4,9	-3	4,4	7,4	-	63	?
Rize	30	25,3	4,7	-3	4,4	7,4	72,7	78,3	+5,7
Sakarya	35	28,8	6,2	-3	3,8	6,8	44,1	73,3	+29,2
Samsun	32	25,8	6,2	-3	4,8	7,8	56,5	75	+18,5
Siirt	40	35,5	4,5	-9	0,6	9,6	22,3	32	+9,7
Sinop	30	25,1	4,9	-3	5,2	8,2	66,6	76,3	+9,7
Sivas	33	26,8	6,2	-18	-6	12	28,8	53,3	+24,5
Şanlıurfa	43	37,3	5,7	-6	3	9	20	37	+17
Şırnak	37	32,2	4,8	-6	0,2	6,2	-	50,7	?
Tekirdağ	33	27,2	5,8	-6	2,9	8,9	52	72,7	+20,7
Tokat	29	28,6	0,4	-15	-0,6	14,4	43	59	+16
Trabzon	31	25,3	5,7	-3	5,3	8,3	61,3	76	+14,7
Tunceli	37	33,5	3,5	-18	-3,9	14,1	25,8	42,3	+16,5
Uşak	35	29,1	5,9	-9	-0,4	8,6	31,2	53,3	+22,1
Van	33	26,9	6,1	-15	-6,4	8,6	33,1	44,3	+11,2
Yalova	33	27,6	5,4	-3	4,1	7,1	52,8	72	+19,2
Yozgat	32	25	7	-15	-4,2	10,8	31,9	62	+30,1
Zonguldak	32	24,6	7,4	-3	4,2	7,2	56,5	73	+16,5
		Yaz sic. farklarının ortalaması: 4,81		Kış sic. farklarının ortalaması: 9,15		Yaz bağ. Nem değerlerinin farkı: %18,9			

Açıklama: $T_Y(E)$: Eski yaz sic. tablo değerleri, $T_Y(M)$: Yaz meteorolojik sic. değerler, ΔT_Y : Yaz sic. farkları, $T_K(E)$: Eski kış sic. tablo değerleri, $T_K(M)$: Kış meteorolojik değerler, ΔT_K : Kış sic. farkları, Φ_{YE} : Eski yaz bağıl nem değerleri, Φ_{YM} : Meteorolojik bağıl nem değerleri, $\Delta\Phi$: Bağıl nem farkları

TÜRKİYE YENİ İKLİM VERİLERİ (1991-2021)			Hazırlayanlar	Tarih
			Hüseyin BULGURCU/Necati KOÇYİĞİT	15.01.2023
Seçilen İl/ilçe merkezi	İSTANBUL		UÇ DEĞERLER (TÜRKİYE GENELİ)	
Rakım	55	[m]	En yüksek rakım	
Yaz Ort. Hava yoğunluğu (ρ_{yo})	1,1870	[kg/m ³]	2450,00	[m] Karayazı/Erzurum
Kış Ort. Hava Yoğunluğu (ρ_{ko})	1,2523	[kg/m ³]	ORTALAMA DEĞERLER (TÜRKİYE GENELİ)	
Yaz Ortalama Bağıl Nem (Φ_{yo})	71,7	[%]	Ortalama yağış-kış	
Yaz Maksimal Sıcaklık (T_{ym})	26,10	[°C]	84	[mm]
Yaz ortalama Sıcaklık (T_{yo})	22,30	[°C]		
Kış Ortalama Bağıl Nem (Φ_{ko})	78,0	[%]		
Kış Minimal Sıcaklık (T_{km})	4,60	[°C]		
Kış Ortalama Sıcaklık (T_{ko})	6,90	[°C]		
Yaz yağış ortalaması	28,33	[mm]		
Kış yağış ortalaması	90	[mm]		
Yaz Güneşlenme Saati	11,36	[Saat]		
Kış Güneşlenme Saati	5,27	[Saat]		
Yaz Ort. Yaş Termometre	18,79	[°C]		

Şekil 7. Türkiye il ve ilçelerine ait 1991-2021 yıllarını kapsayan İklim Verileri-1.0 yazılımının ana sayfası

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Türkiye için elde edilen verilerle, hesaplamalarda kullanılmış olduğumuz eski dış sıcaklık ve nem verilerinin çok önemli ortalama farklar oluşturması düşündürücüdür. İklimin 50-60 yıllık sürede bu kadar değişmesi mümkün olamayacağına göre yıllardır kullandığımız iklim verilerinin saha ölçümlerine bakılmadan hazırlanmış olduğu kanaatindeyiz.

Örnek olarak Sivas'ta inşa edilen 3827 m²'lik bir iş hanında -18 °C'ye göre hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 1471 MJ olmaktadır. Dış sıcaklığı yeni iklim verilerine göre -7,3 °C aldığımızda bu ısıtma enerjisi 365 MJ değerine düşmektedir [14]. Bu durumda ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde aynı oranda düşüş meydana getirecektir. Bu da ülkemizin karbon ayak izinin azaltımında çok önemli etkiye neden olacaktır.

Bu çalışmanın sonraki aşamasında tüm yılı kapsayacak şekilde ilkbahar ve sonbahar verilerini de eklemeyi hedeflenmektedir. Yine bu çalışmaya il ve ilçelerin coğrafik konumuna göre ortalama güneş ışınım seviyeleri (W/m²), mevsimsel rüzgâr hızı ortalamaları eklenirse yenilenebilir enerji yatırımlarında fizibilite etütleri için katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/iklim_degisikligi/kuresel_iklim_degisikligi_ve_turkiye/ (16.12.2022 tarihinde erişildi)
- [2] <https://tr.wikipedia.org/wiki/İklim> (12.01.2023 tarihinde erişildi)
- [3] https://tr.wikipedia.org/wiki/Köppen_iklim_sınıflandırması#:~:text=Köppen%20iklim%20sınıflandırması%2C%20iklimleri%20beş,gruplar%20bir%20harfle%20temsil%20edilmektedir. (14.01.2023 tarihinde erişildi)
- [4] <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/hava-tahminleri-nasil-hazirlaniyor-437482.html> (14.01.2023 tarihinde erişildi)
- [5] <https://www.mgm.gov.tr> (12.1.2023 tarihinde erişildi)
- [6] https://tr.wikipedia.org/wiki/Meteoroloji_uyduları (13.1.2023 tarihinde erişildi)
- [7] https://tr.wikipedia.org/wiki/İklim_değişikliği (10.1.2023 tarihinde erişildi)
- [8] <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> (12.10.2022 tarihinde erişildi)
- [9] <https://en.climate-data.org/asia/turkey/istanbul/istanbul-715086/> (15.12.2023 tarihinde erişildi)
- [10] <https://en.climate-data.org/asia/turkey/istanbul/istanbul-715086/> (15.12.2023 tarihinde erişildi)
- [11] ASHRAE Fundamentals Handbook, 2017. Chapter 1: Psychrometrics.



- [12] S. Fitz (2023). Calculation of air properties (<https://github.com/sjfitz/AirProperties/releases/tag/v2.0.1>), GitHub. Retrieved January 19, 2023.
- [13] (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/49154-si-psychrometric-chart>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved January 18, 2023.
- [14] İLHAN, M.Onur (Mak. Yük. Müh.) Balıkesir Vakıflar Bölge Müdürlüğü (18.01.2023 tarihli görüşme)

ÖZGEÇMİŞLER

Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık Poyracık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-D.B projesi kapsamında İngiltere'de Manchester College'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Mart 2017'de emekli oldu. Sektör firmalarında danışmanlık yapmaktadır.

Necati KOÇYİĞİT

1965 yılında Trabzon Araklı'da doğdu. 1988 yılında Marmara Üniversitesi Makine Eğitimi dalında lisans, 1991 yılında aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek Lisans, 2009 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2010 yılında Y. Doçent oldu. 1994-95 yıllarında İngiltere, Manchester College'de mesleki araştırmalarda bulundu. 2013-14 yıllarında Florida International University, Department of Mechanical and Material Engineering'de Post Doktora yaptı. 1991-1993 yıllarında Kadırga Teknik Lisesinde, 1993-2013 yıllarında Rize Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Programında öğretim elemanı olarak çalıştı. 2013-2016 yılları arasında Rize Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde çalıştı. Emekli, serbest bilimsel araştırmacılık ve danışmanlık yapmaktadır.

KENTSEL GEOMETRİNİN KONUT YERLEŞMELERİNDE ENERJİ VE GÜNIŞIĞI PERFORMANSINA ETKİSİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

The Effect of Urban Geometry on Energy and Daylight Performance in Housing Settlements: The Case of Istanbul

İdil Erdemir Kocagil
Gül Koçlar Oral

ÖZET

Kentsel geometri, bina yüksekliğinin (H) sokak genişliğine (W) oranı (H/W) olarak tanımlanmaktadır. Yerleşme dokusunun H/W oranına bağlı olarak binalar arasında kurulan geometrik ilişki, binaların güneş ışınlamayı ve günışığı erişim düzeylerini belirlemektedir. Dolayısıyla, enerji ve günışığı etkin binalar için yeterli düzeyde güneş erişimine izin veren yerleşme dokularının tasarlanması uygun H/W oranının belirlenmesi ile mümkündür. Bu çalışmada kentsel geometrinin bina performansına etkisini değerlendirmek için dikdörtgen planlı, 5 katlı konut binalarının tanımladığı H/W oranı 0.50, 1.00 ve 2.00 olan üç yerleşme dokusu alternatifi geliştirilmiştir. Sokak genişliği farklı olan yerleşme dokularının izin verdiği güneş erişimi düzeylerinin bina performansına etkisi referans binada farklı katlarda yer alan ve farklı yönlendirilmiş durumlarına sahip modüllerin enerji tüketimi ve günışığı etkinliği üzerinden analiz edilmiştir. Enerji performansı değerlendirmeleri için yıllık nihai ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimleri DesignBuilder simülasyon programı, günışığı performansı değerlendirmeleri için ise faydalı günışığı aydınlığı (UDI) Daysim aydınlatma simülasyon programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, bütüncül bir yaklaşımla, aynı bina tasarım parametrelerine sahip yerleşme dokularında H/W oranının değiştirilmesi sonucu zemin kat ve üst katta yer alan modüllerin enerji tüketim düzeyleri arasındaki farkın %22 oranından %2 oranına ve faydalı günışığı aydınlığı (UDI) düzeyleri arasındaki farkın %54 oranından %7 oranına düşürülerek, binaların performansı iyileştirmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkinliği; Günışığı, Kentsel geometri; Bina enerji performansı; Konut binaları; Yerleşme dokusu tasarımı.

ABSTRACT

Urban geometry is defined as the ratio of building height (H) to street width (W). The geometric relationship established between the buildings depending on the H/W ratio of the settlement texture determines the solar radiation and daylight access levels of the buildings. Therefore, it is possible to design settlement textures that allow optimum level of solar access for energy and daylight efficient buildings by determining the appropriate H/W ratio. In this study, three settlement texture alternatives with H/W ratio of 0.50, 1.00 and 2.00 defined by rectangular planned, 5-storey residential buildings were developed to evaluate the effect of urban geometry on building performance. The effect of the solar access levels allowed by the geometry of the different settlement alternatives on the building performance was analyzed through the energy consumption and daylight efficiency of the modules located on different floors and directed to different directions in the reference building. For energy performance evaluations, annual heating, cooling and lighting energy consumptions were calculated via DesignBuilder simulation program and for daylight performance evaluations, useful daylight illuminance (UDI) was calculated via Daysim lighting simulation program. According to the results, by means of a holistic approach, it is possible to improve the performance of buildings by changing the H/W ratio in the settlements designed with the same building design parameters in order to reduce the

difference between the modules located on the lower floor and the upper floor on energy consumption from 22% to 2% and on useful daylight illuminance (UDI) levels ranged from 54% to 7%.

Key Words: Energy efficiency; Daylighting; Urban geometry; Building energy performance; Residential buildings; Settlement texture design.

1. GİRİŞ

İnsanın gereksinmelerini karşılaması için doğaya karşı verdiği çaba, hızlı yapılaşma ve plansız kentleşme, ekolojik yapının bozulmasına ve enerji kaynaklarının tükenmesine yol açmaktadır. Enerji ve çevre sorunlarına çözümler geliştirerek gelecek kuşakların gereksinmelerini karşılamalarına olanak sağlamayı hedefleyen sürdürülebilir yapma çevrelerin oluşturulmasında güncel bir yaklaşım olarak enerji etkin tasarım anlayışı benimsenmelidir. Özellikle, küresel enerji tüketiminin önemli bölümünden sorumlu olan kentsel yerleşmelerin uzun yıllar boyunca değişmeden binaların konfor koşulları üzerinde etkili oldukları göz önünde bulundurulduğunda, sürdürülebilir enerji kaynaklarından yarar sağlayan enerji etkin sistemler olarak tasarlanmaları önem taşımaktadır.

Ülkemiz için yüksek bir potansiyel olması nedeni ile sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden kentsel yerleşme ölçeğinde yarar sağlamak, yerleşme dokusunu oluşturan binaların güneş ışınımı ve günüşiği kazançlarını optimize ederek gerekli konfor koşullarını daha az aktif enerji gereksinimi ile gerçekleştirmekle mümkün olabilir. Konuyla ilgili olarak Strømman-Andersen ve Sattrup farklı kentsel geometrileri kıyaslayarak yaptıkları çalışmada yerleşme dokusu tasarımının konut binalarının toplam enerji tüketimi üzerinde %19 oranına varan bir etkiye sahip olduğunu açıklamışlardır [1]. Bu bağlamda, yerleşme dokusu ve bina etkileşimini kentsel geometri kavramı ile belirlemek olanaklıdır. Doğal kanyonlara benzer geometrik özellikleri nedeniyle kent kanyonu olarak adlandırılan ve bina yüksekliğinin (H) sokak genişliğine (W) oranını tanımlayan H/W oranı yerleşme dokusu-bina etkileşiminin temelini oluşturmaktadır. Bu kavramı ilk ortaya koyan araştırmacılardan Oke, iki boyutlu kesitte sokak kavşaklarını ihmal ederek ve kanyon eksenini boyunca binaların yarı-sonsuz uzunlukta olduğunu varsayarak kent kanyonunu basit bir geometri ile tanımlamıştır [2]. Kent kanyonları, geometrilerine bağlı olarak binaların güneş erişimini önemli ölçüde etkilemektedirler.

Yerleşmelerde kentsel geometrilerle tanımlanan güneş erişimi düzeyi binaların pasif performansı üzerinde son derece etkili olarak binaların enerji tüketim düzeylerini belirlemektedir. Güneş erişiminin enerji etkin yerleşme ve bina tasarımı için önemini analiz edebilmek için güneş ışınımı kazancının ısıtma ve soğutma enerjisi üzerindeki etkilerinin yanı sıra günüşiği erişiminin aydınlatma enerjisi üzerindeki etkisi birlikte ele alınmalıdır. Bu doğrultuda geliştirilecek yöntem, her bir tasarım parametresindeki değişimin münferit etkilerini bina enerji ve günüşiği performansı bakımından analiz ederek sonuca ulaşmalıdır. Ancak yerleşme tasarımı gibi çok değişkenli durumlarda optimizasyon yaparak en "ideal" durumu belirlemek mümkün değildir. Kompleks tasarım süreçlerinde Oke'nin açıkladığı gibi farklı çevresel bağlamların, kentsel geometrilerin, iklim değişkenlerinin ve tasarım kararlarının neredeyse sonsuz kombinasyonu vardır [2]. Böyle durumlarda tek bir çözüm; diğer bir deyişle, evrensel olarak optimum geometri yoktur. Bu nedenle, yerleşme tasarımına ilişkin çalışmalarda optimum çözümü aramak yerine tasarım parametrelerine tanımlanan değerlerin bina enerji ve günüşiği performansı üzerindeki etkileri karşılaştırılarak elde edilecek çözüm seçenekleri sunmak uygun bir yaklaşım olacaktır.

2. YÖNTEM

Yerleşme dokularının binalara optimum düzeyde güneş erişimi sağlayarak binaların enerji tüketimini minimize etmeyi amaçlayan sistemler olarak tasarlanması sürdürülebilirlik bağlamında son derece önemlidir. Bu amaçla yerleşme dokuları tasarlanırken kentsel geometriyi tanımlayan tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sayede binaların güneş erişim

düzeylerini optimize ederek gerekli konfor koşullarının minimum düzeyde aktif enerji tüketimi ile sağlanması mümkündür.

Çalışma kapsamında kentsel geometri bağlamında ele alınan H/W oranı parametresinin bina enerji ve güneşiği etkinliği üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için farklı H/W değerlerine sahip yerleşme dokusu alternatifleri geliştirilerek bu yerleşme dokularında yer alan referans binanın performansı analiz edilmiştir. Ancak, kentsel geometrinin bina performansına ilişkin olarak daha önce yapılan çalışmalarda aynı bina içinde farklı katlarda yer alan ve farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modüllerin güneş ışıınımı ve gün ışığı kazançları arasında farklar olduğu ve bu durumun modüllerin enerji ve gün ışığı performanslarına belirgin farklar olarak yansıdığı görülmektedir [3]. Bu doğrultuda çalışmadan elde edilen sonuçların bütüncül bir tasarım anlayışı bağlamında yerleşme dokuları içinde yer alan referans binada farklı katlarda yer alan ve farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modüller için enerji ve güneşiği performansları analiz edilmiştir. Çalışma kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında son derece hızlı bir konut üretim sürecinden geçen ve ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul için uygulanarak İstanbul'da üretilen konut yerleşmelerinin enerji ve güneşiği performansının artırılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2.1. Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışmada değerlendirilmek üzere geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin tanımlanmasında dikkate alınan iklime ilişkin tasarım parametreleri, kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri, yerleşme ve binaya ilişkin tasarım parametreleri ve aktif bina alt sistemlerine ilişkin tasarım parametreleri aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.1.1. İklimle İlişkin Tasarım Parametreleri

Yerleşme dokusunda referans konut binasına ilişkin enerji tüketim değerleri iklimsel farklılıklara bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Çalışma kapsamında İstanbul ili için dış iklime ilişkin, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, güneş ışıınımı ve rüzgar verileri, "Tipik Meteorolojik Yıl" formatında Meteororm 7.0 isimli iklim verileri elde etme programı ile oluşturulmuştur.

İç iklime ilişkin tasarım parametreleri kapsamında ısıtma istenen dönemde iç hava sıcaklığının konutların aktif olarak kullanıldığı 07:00-23:00 saatleri için 20°C, diğer saatler için 13°C değerini sağladığı kabul edilmiştir. Soğutma istenen dönemde ise, iç hava sıcaklığının 07:00-23:00 saatleri için 26°C, diğer saatler için ise 32°C değerini sağladığı varsayılmıştır. Soğutma istenen dönemde ayrıca, doğal havalandırmanın aktif konumda olacağı kabul edilmiştir. Kişi başına düşen minimum taze hava miktarı, 10 (l/s) olarak belirlenmiştir [4].

2.1.2. Kullanıcıya İlişkin Tasarım Parametreleri

Kullanıcıya ilişkin tasarım parametreleri, hesaplamalarda yaşama mekânı koşulları ve iklimsel konfor koşulları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Referans binaya ilişkin kullanıcı yoğunluğu 0.04 m²/kişi ve kullanıcı aktivite düzeyi 110 W/kişi olarak tanımlanmıştır. Kullanıcı giysi tipi, ısıtma istenen dönem için 1 clo, soğutma istenen dönem için ise 0.5 clo olarak kabul edilmiştir

2.1.3. Yerleşme ve Binaya İlişkin Tasarım Parametreleri

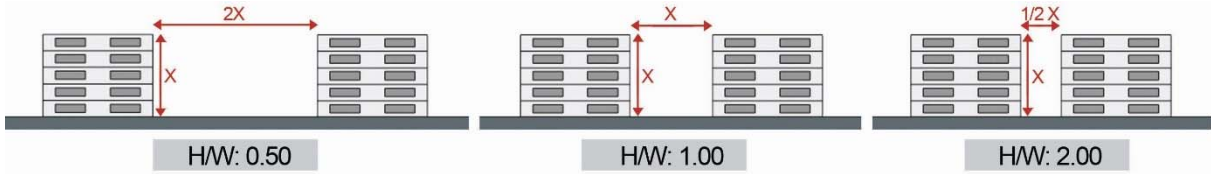
Çalışma kapsamında, 40.97° enlem ve 28.82° boylam koordinatlarında ve denizden 37 m yükseklikte olduğu kabul edilen İstanbul ilinde yaklaşık 30.000 m²lik düz bir yerleşme alanı dikkate alınmıştır.

Referans konut binasına ilişkin bina formunun tanımlanmasında 100 m² brüt taban alanına sahip olan modüllerin kullanılması öngörülmüştür. Planda binanın uzunluğunun (L) bina derinliğine (W) oranı olarak tanımlanan biçim faktörü (L/W)) 2.00 olan iki adet modülün birleştirilmesi ile oluşturulan dikdörtgen taban alanlı plan tipi kullanılmıştır (Şekil 1). Binalar, döşeme üstünden döşeme üstüne yükseklik 3.00 m kabul edilerek, 5 katlı (15 m) olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan binalar modüllerin yönlendiriliş durumlarının etkisini analiz edilebilmek için dört yönden güneş erişimine sahip olacak şekilde ayrıncı nizamda nokta blok olarak yerleştirilmiştir.



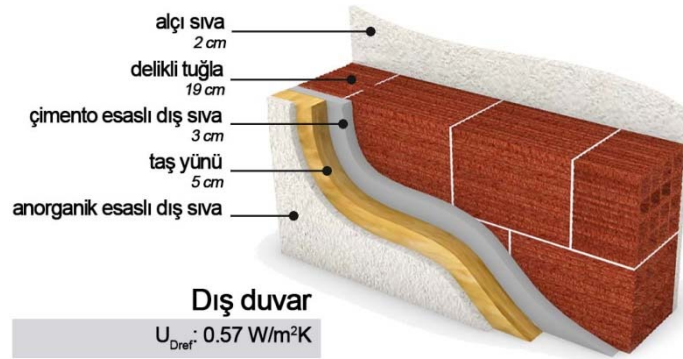
Şekil 1. Referans binayı tanımlamak için kullanılan iki modüllü dikdörtgen taban alanlı plan.

Çalışmada kentsel geometrinin etkisini değerlendirmek için 0.50 (sığ), 1.00 (üniform) ve 2.00 (derin) olmak üzere çalışmalarda yaygın olarak kullanılan üç farklı H/W oranı değerlendirilmek üzere belirlenmiştir (Şekil 2) [5].



Şekil 2. Yerleşme dokusu alternatiflerini geliştirmek için kullanılan üç farklı H/W oranı.

Bina kabuğuna ilişkin olarak tanımlanan opak ve saydam bileşenlerin katmanlaşma detayları, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı TS 825'te İstanbul ili için belirtilen limit U değerlerine (toplam ısı geçirme katsayısı) uygun olarak dış duvar 0.57 W/m²K (Şekil 3) ve pencere 1.40 W/m²K olarak geliştirilmiştir [6]. Binaların her cephesinde saydamlık oranı %30 olarak belirlenmiş ve modüllerin bütün cephelerine bu oranı sağlayan eşit büyüklükte pencereler yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Referans binayı tanımlamak için kullanılan dış duvar katmanlaşması.

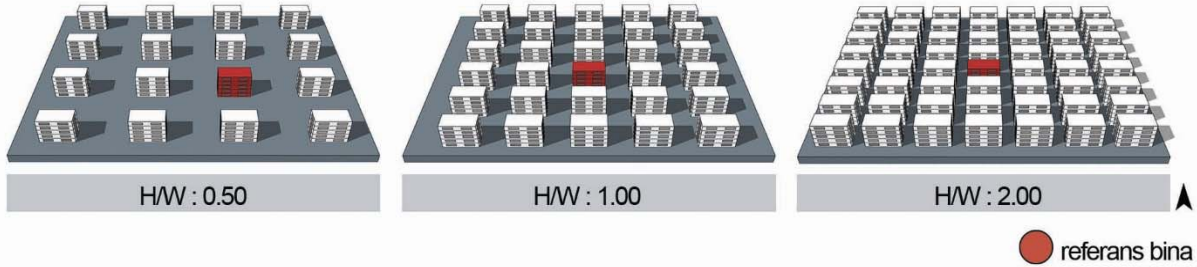
2.1.4. Aktif Bina Alt Sistemlerine İlişkin Tasarım Parametreleri

Aktif bina alt sistemleri kapsamında referans konut binasına ilişkin ısıtma sistemi yoğunlaşmalı kazan tipli merkezi sistem ve kullanılan enerji türü doğalgaz olarak belirlenmiştir. Çalışmada 4.50 performans katsayısına (COP değerine) sahip soğutma sisteminin mevcut olduğu ve soğutma için elektrik enerjisinin kullanıldığı varsayılmıştır. Konut modülleri tek zonlu olarak ele alınmış ve zonlar yaşama mekânı olarak belirlenerek gerekli olan aydınlık düzeyi değeri yapma aydınlatma sistemi için 100 lux olarak belirlenmiştir [7]. LED aydınlatma elemanları kullanılarak, günışığı aydınlık düzeyi ile entegre olarak çalışan üç kademeli bir aydınlatma kontrolüne sahip olan yapma aydınlatma sistemi tanımlanmıştır.

2.2. Yerleşme Dokusu Alternatiflerinin Geliştirilmesi

Çalışmada enerji ve gün ışığı performansı analizleri yapılmak üzere değerlendirilecek yerleşme dokusu alternatiflerinin yer aldığı varsayılan yaklaşık 30.000 m²'lik bir alan, çalışma alanı olarak ele alınmıştır. İlgili çalışma alanı içerisinde minimum 9 (3x3) konut binası yerleşecek şekilde tasarım

alternatifleri geliştirilmiş ve yerleşme dokularında yer alan toplam bina sayısı H/W oranına dayalı olarak değişkenlik göstermiştir. Yerleşme dokusu alternatifleri belirlenen tasarım parametrelerine bağlı olarak 5 katlı, dikdörtgen planlı konut binalardan oluşan, H/W oranı 0.50, 1.00 ve 2.00 olan nokta blok yerleşmeler olarak geliştirilmiştir. Çalışmada aynı tasarım parametresi değerlerine sahip binalardan oluşan 3 yerleşme dokusu alternatifi geliştirilmiş ve her bir alternatifte kentsel geometrinin etkisini değerlendirebilmek için analiz edilmek üzere seçilen referans bina belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Değerlendirmek üzere geliştirilen farklı H/W oranlarına sahip yerleşme dokusu alternatifleri ve analiz edilmek üzere seçilen referans bina.

2.3. Enerji ve Güneşli Performansının Değerlendirilmesi

Kentsel geometrinin farklı katlarda yer alan ve farklı cephelere yönlendirilen modüllerin enerji tüketimi ve güneşli erişimi üzerindeki etkisi irdelenmesi amacıyla geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinde seçilen referans binanın zemin, orta ve üst katında yer alan modüllerinin enerji ve güneşli performansları analiz edilmiştir.

Enerji performansı değerlendirmeleri için seçilen referans binanın zemin, orta ve üst katlarında yer alan modüllerin yıllık nihai enerji tüketimleri hesaplanmaktadır. Farklı katlarda yer alan modüllere ait nihai enerji tüketimleri hesaplamaları için Binalarda Enerji Performansı'na ilişkin standartta tanımlanan detaylı dinamik hesaplama yöntemi dikkate alınmış ve performans verilerinin üretiminde EnergyPlus dinamik simülasyon motorunu kullanarak sanal bina modelleri oluşturan DesignBuilder simülasyon programı aracılığıyla hesaplanmıştır;

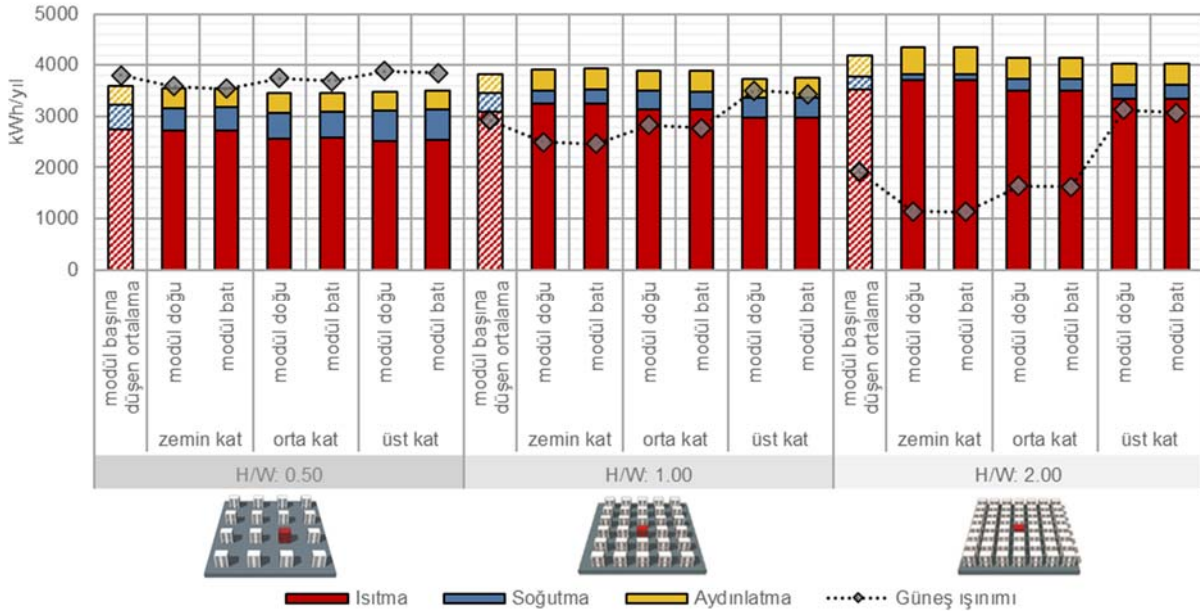
- ısıtma enerjisi tüketimleri (kWh/yıl),
- soğutma enerjisi tüketimleri (kWh/yıl),
- aydınlatma enerjisi tüketimleri (kWh/yıl),
- toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimleri (kWh/yıl) esas alınmıştır [8, 9].

Güneşli performansı değerlendirmeleri için seçilen referans binanın zemin, orta ve üst katlarında yer alan modüllerinde yerden 80 cm yükseklikte konumlandırılan çalışma düzleminde elde edilen faydalı güneşli aydınlığı (UDI) değerleri hesaplanmıştır. Faydalı güneşli aydınlığı (UDI), mekânın yıl boyunca belirlenen limit aydınlık düzeyi değer aralığı içinde kaldığı sürenin, yıl boyunca etkin güneşli aydınlığı periyodu olarak tanımlanan toplam süreye oranı hesaplanarak değerlendirilmektedir. Konut mekânlarında UDI değerlendirme yönteminin kullanımına ilişkin yapılan çalışmalarda belirlenen limit değer aralıkları referans alınarak [10]. Modelde faydalı güneşli aydınlığı limit değer aralığı 100 lx-3000 lx olarak belirlenmiştir. UDI hesabında etkin güneşli aydınlığı periyodu 08:00-20:00 olarak kabul edilerek mekânda bu periyot boyunca sağlanan faydalı güneşli aydınlığı yüzde değer olarak hesaplanmaktadır. Modüller için hesaplanan UDI değerlerinin %50 oranının üzerinde olması durumunda faydalı güneşli değerinin yeterli olduğu kabul edilmektedir. UDI hesaplamaları için doğrudan, yansıyan ve yaygın ışınımını analiz ederek hibrit Monte Carlo yaklaşımı ile hesap yapan Daysim aydınlatma simülasyon motoru araç olarak seçilmiştir.

2.3.1. Enerji Analizleri

Enerji performansı analizleri kapsamında seçilen referans binadan elde edilen modül başına düşen ortalama (bina için elde edilen toplam enerji tüketiminin modül sayısına bölünmesi ile bulunan değer) ve zemin, orta, üst katta yer alan modüllerin yıllık enerji tüketimi sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Binalar arası mesafe arttıkça güneş ışınımı kazançlarının arttığı görülmektedir. Farklı H/W oranlarına sahip

yerleşmelerde yer alan referans bina için hesaplanan modül başına düşen ortalama yıllık güneş ışınımı kazançları karşılaştırıldığında; H/W oranı 2.00 olan alternatifte kıyasla sokak genişliğinin 4 katı olan H/W oranı 0.50 olan alternatifin %50 oranında daha fazla güneş ışınımı kazancına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum sonuçlara ısıtma enerjisi tüketiminde düşüş, soğutma enerjisi tüketiminde ise artış olarak yansımaktadır. H/W oranı 2.00 olan alternatif için modül başına düşen ortalama ısıtma enerjisi tüketimi H/W oranı 0.50 olan alternatiften %22 oranında daha düşük, soğutma enerjisi ise %49 oranında daha yüksektir. Aydınlatma tüketimi analiz edildiğinde güneş erişimi daha fazla olan H/W oranı 0.50 alternatifinin aydınlatma enerjisi tüketiminde H/W oranı 2.00 olan alternatifte kıyasla %15 azalma gerçekleşmiştir. Isıtma, soğutma ve aydınlatmanın enerjisi tüketiminin toplam etkisi ele alındığında ise modül başına düşen ortalama toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketiminin geniş sokak aralıklarına sahip H/W oranı 0.50 olan yerleşme dokusu içinde yer alan referans binada H/W oranı 2.00'ye kıyasla %17 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi H/W oranı küçüldükçe güneş ışınımı kazancı artarak binaların pasif ısıtma potansiyeli yükselmekte ve toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimi azalmaktadır. Nitekim, İstanbul'da ısıtma istenen dönemin uzun olması nedeniyle ısıtma enerjisi tüketiminin azaltılmasına yönelik stratejilerin enerji etkinliği bakımından ön plana çıktığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında analiz edilen H/W oranları arasında 0.50 oranına sahip yerleşme dokusu alternatifinde yer alan referans bina en yüksek güneş erişim düzeyi ve en düşük enerji tüketimi değerine sahip alternatif olarak İstanbul için geniş sokak aralıklarına sahip yerleşme dokularının daha enerji etkin olduğu sonucunu vermektedir.



Şekil 5. Yerleşme dokusu alternatiflerinde yer alan referans binada yer alan modüllerden elde edilen yıllık enerji tüketimleri ve güneş ışınımı kazançları sonuçları.

Farklı H/W oranları ile oluşturulan kentsel geometrilerin sağladıkları güneş erişiminin enerji performansı üzerindeki etkisi sonuçlarda görülmektedir; ancak ortalama modül performansı yerine aynı referans bina içinde yer alan farklı modüller karşılaştırıldığında H/W oranının farklı düzeylerde etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır. Farklı katlarda yer alan modüller kıyaslandığında, H/W oranı arttıkça binalar arası mesafenin azalmasına bağlı olarak zemin katta yer alan modüllerin güneş erişiminin daha fazla kısıtlandığı, üst katta yer alan modüllerin ise bu durumdan daha az etkilendiği belirlenmiştir. Zemin katta yer alan modüller ile üst katta yer alan modüllerin güneş ışınımı kazançları karşılaştırıldığında;

- H/W:0.50 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %8,
- H/W:1.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %29,
- H/W: 2.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %63
-

oranlarında farklar elde edilerek, zemin kat ve üst katta yer alan modüller arasında ortaya çıkan farkların H/W oranı büyüdükçe arttığı ortaya konmuştur. Güneş ışınımı kazançları arasında ortaya çıkan bu farklar, modüllerin performanslarına yansımaktadır. Zemin kat ve üst katta yer alan modüllerin yıllık toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimleri arasındaki farklar;

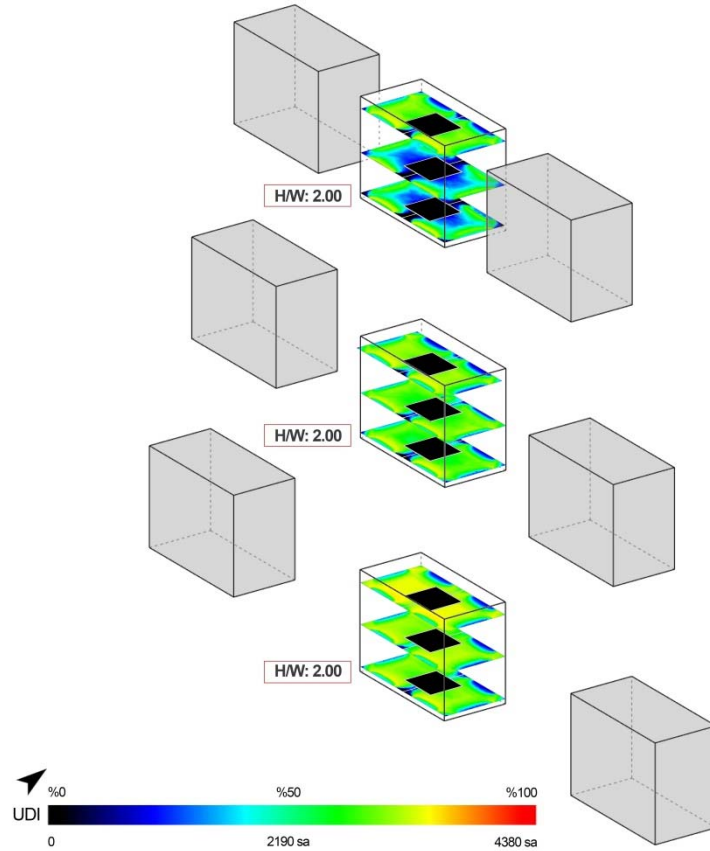
- H/W:0.50 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %2,
- H/W:1.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %5,
- H/W: 2.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %9

oranlarında hesaplanmıştır. H/W oranı küçüldükçe zemin katta yer alan modüllerin güneş erişim düzeylerinin artması sayesinde enerji performanslarında gerçekleşen iyileşme sonucu üst kattaki modüller ile arasındaki farkın azaldığı tespit edilmiştir.

Aynı katta farklı yönlendiriliş durumuna sahip modüller kıyaslandığında; doğu yönüne yönlendirilmiş modüller ile batı yönüne yönlendirilmiş modüllerin güneş ışınımı kazançları karşılaştırıldığında bütün H/W oranları için elde edilen en yüksek fark %2 olmuş ve bu durum yıllık toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimine %1 olarak yansımıştır.

2.3.2. Güneş Işığı Analizleri

Güneş ışığı analizlerinden elde edilen ve Şekil 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde, H/W oranı azaldıkça; yani binalar arası mesafe arttıkça modüllerin faydalı güneş ışığı aydınlığı (UDI) düzeyinin arttığı tespit edilmiştir. H/W oranlarına bağlı olarak farklı katlarda yer alan modüller arası güneş ışığı performansları arasında farkların ortaya çıktığı; ancak aynı katta yer alan doğu ve batı modülleri arasındaki farkların ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Yerleşme dokusu alternatiflerinde yer alan referans bina zemin, orta ve üst katta yer alan modüllerden elde edilen faydalı güneş ışığı aydınlığı (UDI) düzeyleri.

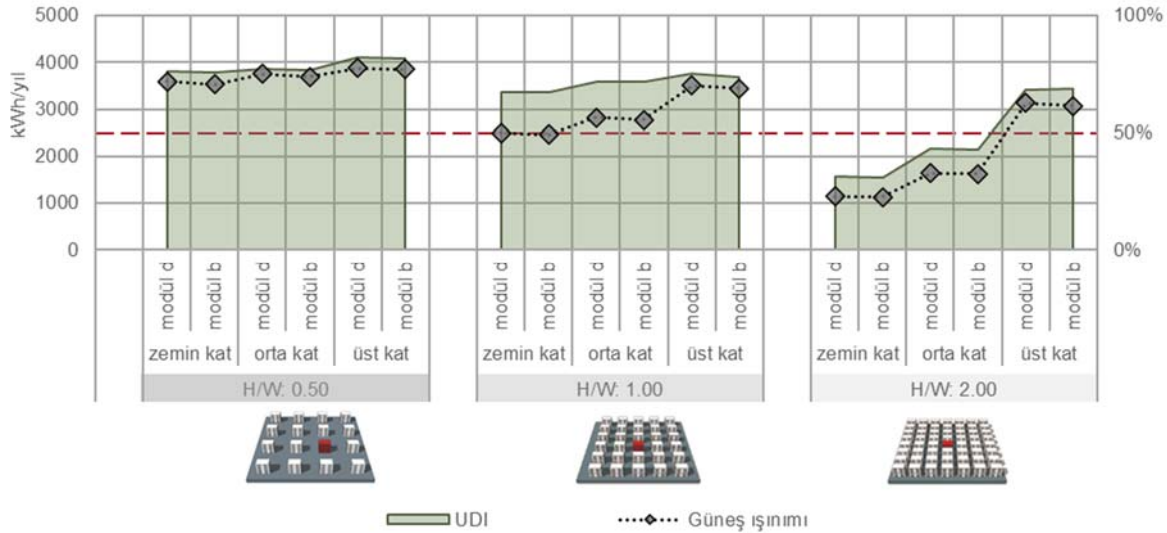
Çalışmada modüllerin yeterli güneşiği erişimine sahip olmalarına ilişkin olarak yıllık faydalı güneşiği aydınlığı (UDI) için limit değer %50 olarak belirlenmiştir. Modüllerin bulunduğu katlara göre güneşiği performansları kıyaslandığında, sonuçların güneş ışınımı kazançlarına paralel oluğu ve zemin katta yer alan modüllerin en düşük faydalı güneşiği aydınlığı (UDI) düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 7'de farklı katlarda yer alan modüllerden elde edilen UDI değerlerinin sonuçları incelendiğinde, H/W oranındaki artışa bağlı olarak zemin katta yer alan modüller için UDI değerleri;

- H/W:0.50 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %76,
- H/W:1.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %67,
- H/W: 2.00 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %32

olarak hesaplanmıştır. Sonuçlarda görüldüğü üzere binalar arası mesafeye bağlı olarak zemin katta yer alan modüllerin güneşiği performansı güneş erişimi düzeyindeki değişimlerden oldukça fazla etkilenmektedir. Ancak, yerleşme dokuları içindeki komşu binaların engel etkisinin üst katlara doğru azaldığı görülmektedir. Referans binanın üst katında yer alan modüllerin UDI değerleri değerlendirildiğinde;

- H/W:0.50 olan yerleşme alternatifinde yer alan referans binada %82,
- H/W:1.00 olan senaryoda yer alan referans binada %75,
- H/W: 2.00 olan senaryoda yer alan referans binada %68

oranları elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, H//W oranı arttıkça güneş erişiminin kısıtlanmasına bağlı olarak aynı binada katlar arası ortaya çıkan farkların da arttığı belirlenmiştir. En büyük H/W oranına, diğer bir deyişle binalar arası en dar mesafeye ve en düşük güneş erişimine sahip H/W oranı 2.00 olan yerleşme alternatifini için hesaplanan UDI değeri kıyaslandığında, zemin kat ve üst kat arası ortaya çıkan fark %54 oranında iken; en küçük H/W oranına yani binalar arası en geniş mesafeye ve en yüksek güneş erişimine sahip H/W oranı olan yerleşme alternatifini için zemin kat ve üst kat arası ortaya çıkan fark %7 oranına kadar düşmektedir.



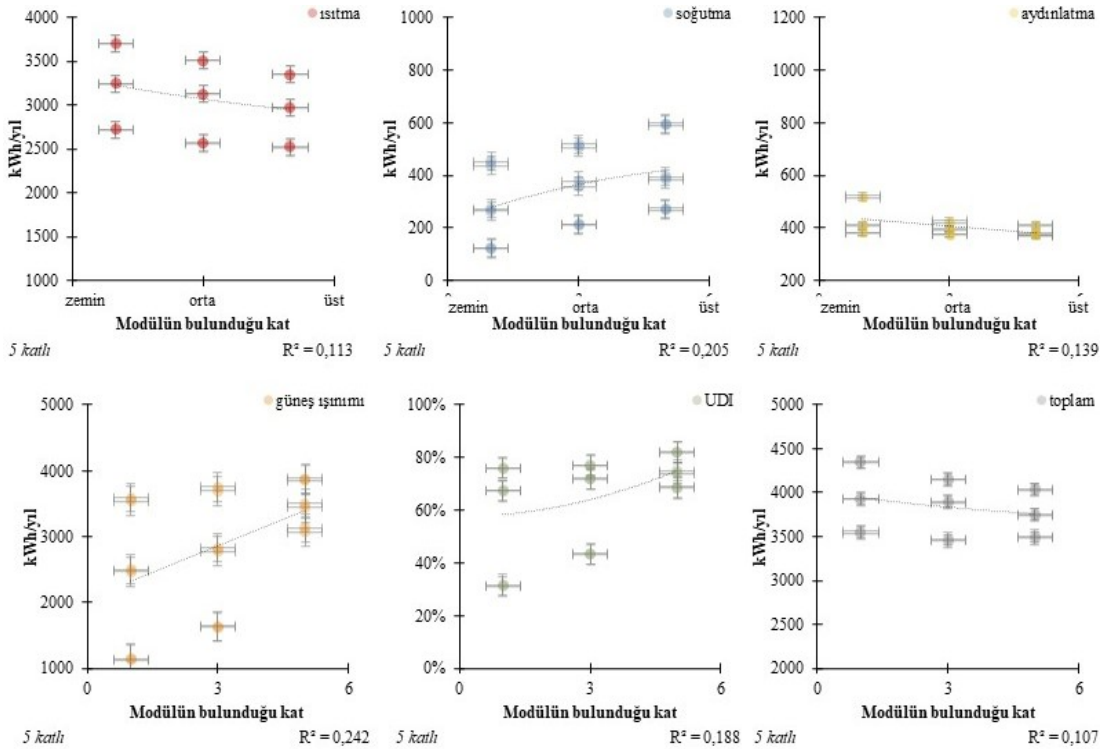
Şekil 7. Yerleşme dokusu alternatiflerinde yer alan referans binada yer alan modüllerden elde edilen faydalı güneşiği aydınlığı (UDI) ve güneş ışınımı kazançları sonuçları.

100 lx-3000 lx aralığında tanımlanan faydalı güneşiği değerinin, H/W oranı 0.50 ve 1.00 olan yerleşme dokularındaki referans binanın zemin, orta ve üst katlarında yer alan tüm modüller tarafından limit değer olan %50 oranının üzerinde sağlandığını tespit edilmiştir. Ulaşılan en yüksek değer %83 olarak H/W oranı 0.50 olan yerleşmede yer alan binanın üst katındaki modüllerden elde edilmiştir. H/W oranı 2.00 olan yerleşme dokusunda referans binanın sıkışık doku içinde yer alması nedeniyle sadece üst kattaki modüllerin limit değeri geçebildiği, zemin ve orta kattaki modüllerin kısıtlı güneş erişimleri yüzünden limit faydalı güneşiği aydınlığı düzeyine ulaşamadığı görülmektedir.

3. SONUÇ

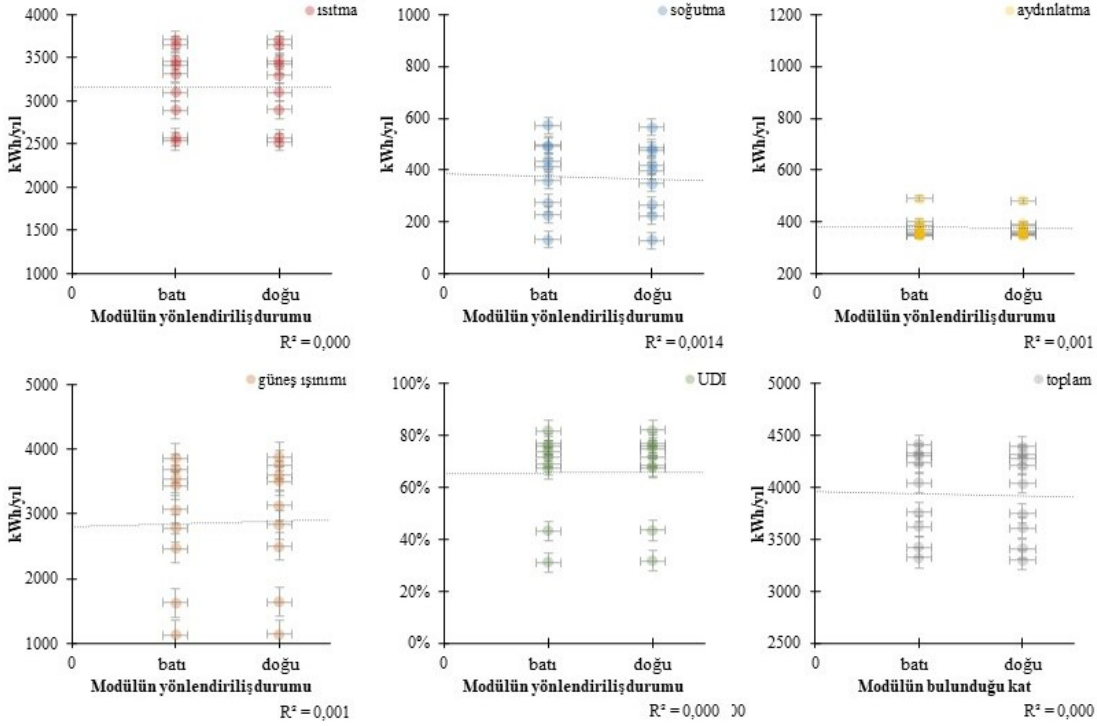
Çalışma kapsamında 5 katlı, dikdörtgen planlı binalardan geliştirilen nokta blok yerleşme dokusunun farklı H/W oranı değerleri (0.50, 1.00 ve 2.00) kullanılarak üretilen alternatiflerde seçilen referans binanın performansı analiz edilerek kentsel geometrinin enerji ve güneşiği performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda referans binadan elde edilen ortalama performans verisinin yanı sıra farklı katlarda yer alan ve farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modüllerin enerji tüketimleri ve güneşiği erişimleri hesaplanarak kentsel geometrinin etkisinin daha kapsamlı incelenmesi hedeflenmiştir.

Modülün bulunduğu kat değişkeninin enerji ve güneşiği performansına etkisinin değerlendirilmesi için referans binanın zemin, orta ve üst katlarında yer alan modüllerin enerji tüketimleri ve güneşiği etkinliğine ilişkin regresyon analizleri yapıldığında modülün bulunduğu katın yüksekliği arttıkça güneş ışınımı kazançları ve faydalı güneşiği aydınlığı düzeyinin arttığı görülmektedir (Şekil 8). Modüllerin enerji tüketimi eğilimleri analiz edildiğinde ise H/W oranı parametresindeki değişikliklerden en fazla R^2 0.205 değeri ile soğutma enerjisi tüketiminin etkilendiği görülmektedir. Sonuçlara göre, binanın zemin katında yer alan modüller düşük güneş ışınımını erişimi düzeyi nedeniyle en düşük soğutma enerjisi tüketimine sahipken, üst katlarda güneş ışınımı kazançlarının artmasına paralel olarak soğutma enerjisi tüketimlerinin de arttığı görülmektedir. Isıtma enerjisi tüketimi sonuçları ise soğutma enerjisinin tam tersi olarak daha fazla güneş ışınımı kazancına sahip üst katlarda yer alan modüllerin alt katlara göre daha az ısıtma enerjisine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Zemin katta yer alan modüller üst kattaki modüllere göre ortalama %9, orta kata yer alan modüller ise %4 oranında daha fazla ısıtma enerjisine ihtiyaç duymaktadırlar. Aydınlatma enerjisi için üst katlarda tüketimin artan güneş erişimi düzeyine bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir. İstanbul'da ısıtma istenen dönemin uzun olduğu ve ısıtma enerjisi tüketiminin en yüksek enerji tüketimi olduğu göz önünde bulundurulduğunda toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketiminin ısıtma enerjisinin eğilimlerinden baskın olarak etkilendiği görülmektedir. Toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji için R^2 değeri 0.107 olarak hesaplanmış ve ısıtma enerjisi performansına paralel olarak üst katlara çıktıkça artan güneş erişimine bağlı olarak modüllerin daha düşük toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimine sahip olduğu belirlenmiştir. Üst kata yer alan modüller zemin kattakilere göre %5 ve orta kattakilere göre %2 oranında daha düşük toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerjiye ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 8. Kentsel geometrinin farklı katlarda yer alan modüllerin enerji tüketimi ve güneşiği performansına ilişkin regresyon analizleri.

Modülün bulunduğu kat değişkenine bağlı olarak çalışma kapsamında ele alınan dikdörtgen planlı referans binanın aynı katında yer alan ve farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modülleri arasında önemli farklar oluşmadığı görülmektedir (Şekil 9). Aynı yerleşme dokusu içindeki referans binanın doğu ve batı modüllerinin benzer düzeylerde güneş erişimine sahip oldukları ve buna bağlı yakın enerji tüketimi değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Simetrik plan yerleşimine sahip referans binada modüller doğu ve batı yönlerinden benzer değerlerde güneş ışınımı ve gün ışığı kazançları elde etmeleri için yönlendiriliş durumu enerji ve günışığı performansı sonuçlarını önemli düzeyde etkilememiştir. Kentsel geometrinin farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modüllerin performansına etkisini ilişkin daha fazla veri elde edebilmek için aynı katta çeşitli yönlendiriliş durumlarına sahip daha fazla modülün yer aldığı plan tiplerindeki binaların performansı analiz edilebilir.



Şekil 9. Kentsel geometrinin farklı yönlendiriliş durumlarına sahip modüllerin enerji tüketimi ve günışığı performansına ilişkin regresyon analizleri.

Kentsel geometrinin binaların enerji ve günışığı performansı üzerinde önemli bir etkisi olmasının yanı sıra güneş erişimindeki değişimin aynı binada yer alan farklı modüller üzerinde farklı düzeylerde etkili olduğu görülmektedir. Çalışmada geliştirilen yöntemin kısıtlamaları göz önünde bulundurularak elde edilen veriler ışığında sokak genişliklerinin değiştirilmesi sonucu aynı binada farklı katlarda yer alan modüller arasında önemli performans farklılıkları ortaya çıkmıştır. Dar sokak genişliklerine sahip derin kent dokularında zemin katlarda yer alan modüllerin oldukça kısıtlı güneş erişimine sahip olmalarına bağlı olarak üst katta yer alan modüllere kıyasla düşük enerji ve günışığı performansına sahip oldukları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak H/W oranı 2.00 olan yerleşmelerdeki binaların zemin katı ve üst katında bulunan modüllerin güneş ışınımı kazançları arasındaki fark %63 iken sokak genişlikleri artırılarak H/W oranı 0.50 olan yerleşmelerin tasarlanmasıyla bu farkı %8 oranına indirmek mümkündür. Nitekim, zemin kat ve üst katta yer alan modüllerin güneş ışınımı kazançları arasında ortaya çıkan bu fark enerji tüketim düzeylerine de yansımaktadır. H/W oranı 2.00 olan yerleşmelerde zemin kat ve üst katta yer alan modüller arası yıllık toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimleri arasında oluşan fark %9 iken H/W oranı 0.50 olan alternatiflerde bu farkın %2 olduğu hesaplanmıştır.

Kentsel geometrinin günışığı erişimi düzeylerinde de benzer etkisi olduğu ortaya konulmuştur. UDI değerleri kıyaslandığında, H/W oranı 2.00 olan yerleşme alternatifi için zemin kat ve üst kat arası ortaya çıkan fark %54 oranında iken H/W oranı 0.50 olan yerleşmede bu fark %7 oranına kadar

düşmektedir. Bu bağlamda, binanın ortalama performansını arttırmayı hedefleyen çözümlerin üretilmesinin yanı sıra modüller arası oluşan performans farklılıklarını azaltacak tasarımların geliştirilmesi hedeflenmelidir. Özellikle çalışmanın yapıldığı İstanbul'da ısıtma enerjisi tüketimleri önem kazandığı için modüllerin güneş ışınımı kazançlarının maksimize edilerek kış aylarında pasif ısıtma sağlanması enerji etkin bir çözüm olarak kabul edilebilir. Bu amaçla, ılımlı iklim bölgelerinde daha geniş sokak aralıklarına sahip küçük H/W oranlarıyla sığ kent kanyonları oluşturarak hem binanın daha fazla güneş erişiminde sahip olması hem de zemin kat ve üst kat arasında oluşabilecek performans farklarının minimize edilmesi mümkündür. Ancak, enerji etkinliği açısından güneş ışınımı kazancını maksimize ederken soğutma enerjisi tüketiminin de güneş kontrolü sistemleri ile kontrol altında tutularak binanın toplam (ısıtma+soğutma+aydınlatma) enerji tüketimini optimize etmek gerekmektedir.

Sonuç olarak, çalışmada sunulan sonuçlar kentsel geometriyi tanımlayan H/W oranının binaların enerji ve günışığı performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Kentsel yerleşmelerin uzun yıllar boyunca değişmeden binaların konfor koşulları üzerinde etkili oldukları göz önünde bulundurulduğunda, doğru H/W oranları belirlenerek tasarlanacak yerleşmeler sayesinde binaların enerji ve günışığı etkinliği düzeyinin önemli ölçüde arttırmak mümkündür. Özellikle enerji krizinin yaşandığı ve küresel ısınmanın etkisini giderek hissettirdiği günümüzde, sürdürülebilir tasarım anlayışı tasarımcıların yanı sıra bütün proje paydaşları tarafından benimsenmeli ve kaynak tüketimini optimize etmek için her bir değişkenin etkisinin analiz edildiği bütüncül bir tasarım anlayışına geçilmelidir. Bu sayede, uzun süre değişmeden varlıklarını koruyan yerleşme dokularının üretimlerinde geri dönüşü olmayan hataların yapılmasına engel olmak ve sürdürülebilir çevrelerin gelişimine katkı sağlamak mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] STRØMANN-ANDERSEN, J. ve SATTRUP, P.A., "The urban canyon and building energy use: urban density versus daylight and passive solar gains". Energy and Buildings, 43(8), 2011-2020, 2011.
- [2] OKE, T.R., "Street design and urban canopy layer climate", Energy and Buildings, 11,103-113, 1988.
- [3] ERDEMİR KOCAGİL, İ. ve Koçlar Oral, G., "The impact of solar gain and daylight availability on building energy loads related to urban geometry", Proceedings of Solar-Tr 2018, 190-199, İstanbul, Aralık 2018. ISBN: 978-605-65469-8-3
- [4] ASHRAE, "Fundamentals Handbook", Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017. ISBN: 978-1-939200-58-7.
- [5] AHMED K. S., KHARE M. ve CHAUDHRY K., "Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections-a review", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 93(9) , 697-717, 2005.
- [6] TS 825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [7] CIBSE, "SLL LL Code for Lighting (SLLCL)", The Chartered Institution of Building Services Engineers, London. ISBN: 9781912034413.
- [8] TS EN ISO 52000-1. "Binaların enerji performansı - Aşırı EPB değerlendirmesi - Bölüm 1: Genel çerçeve ve prosedürler", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [9] DESIGNBUILDER SOFTWARE, "DesignBuilder 5.5.2.007 User Manual", DesignBuilder Software Ltd. İngiltere, 2018.
- [10] MARDALJEVIC, J., ANDERSEN, M., ROY, N. ve CHRISTOFFERSEN, J., "Daylighting metrics for residential buildings", Proceedings of the 27th Session of the CIE, 2011. ISBN: 9788578110796.



ÖZGEÇMİŞ

İdil ERDEMİR KOCAGİL

İdil Erdemir Kocagil 2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nden yüksek onur derecesiyle mezun olmuştur. 2014 yılında İTÜ Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans programını, 2022 yılında Yapı Bilimleri Doktora Programı'nı tamamlamıştır. Doktora eğitimi boyunca İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev almıştır. Özyeğin Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmalarına devam etmektedir. Enerji etkin yapı tasarımı, pasif sistemler, güneşiği kullanımı ve sürdürülebilir mimari konularında çalışmaktadır.

Gül KOÇLAR ORAL

1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nden mezun olmuştur. 1986 yılında, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Yüksek Mimar, 1991 yılında Doktor unvanını almıştır. 1992'de Yardımcı Doçent, 1998'de Doçent, 2004 yılında Profesör unvanlarını almıştır. İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde İç Mimarlık Bölümü Başkanlığı, Mimarlık Bölümü Başkan Yardımcılığı, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yönetim Kurulu Üyeliği, Fakülte Kurulu üyeliği ve Dekan Yardımcılığı, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı Başkanlığı gibi idari görevlerde bulunmuştur. Öğretim üyesi olarak, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde enerji etkin tasarım, ekolojik tasarım, pasif güneş enerjisi sistemleri, akıllı binalar, kabukta ısı ve nem denetimi gibi konularda çalışmalarına devam etmektedir.

YEŞİL BİNA SERTİFİKASYONLARINDA YERLİLİK ve KÜRESEL KRİZ DUYARLIĞINDA TSE GÜVENLİ- YEŞİL BİNA BELGELENDİRME ÖRNEĞİ

Locality In Green Building Certifications And TSE Safe-Green Building Certification Example In Global Crisis Sensitivity

Biröl Kılış
Hasan Alpay Heperkan

ÖZET

Yapıların enerji tüketimlerinin toplam tüketime oranlarının yaklaşık %40 olması sonucu, küresel krizde binaların oynadığı önemli rol kapsamında, sıfır enerjili bina tanımları yetersiz görülmüştür. Bu amaçla, daha bütüncül, enerjinin niteliğini de önemseyen yeni yeşil bina tanımları geliştirilmiş ve örneklerle gerekçelendirilmiştir. Örnek hesaplarla yeşil enerji girdisinin akılcı bir şekilde değerlendirilmediği oranda ek CO₂ salım sorumluluklarının da olacağı vurgulanmıştır. Bu örneklerden hareketle, yeşil bina belgelendirme algoritma ve derecelendirme ölçütlerinin Termodinamiğin 2.ci Yasasına göre revize edilmelerinin gerekli olduğu belirtilerek kısmen de olsa 2. Yasayı gözeten TSE Güvenli-Yeşil Bina Belgelendirme sisteminin esasları tanıtılmış, yeni öneriler getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Bina, TSE Güvenli-Yeşil Bina Belgesi, Ekserji, Yenilenebilir Enerji,

ABSTRACT

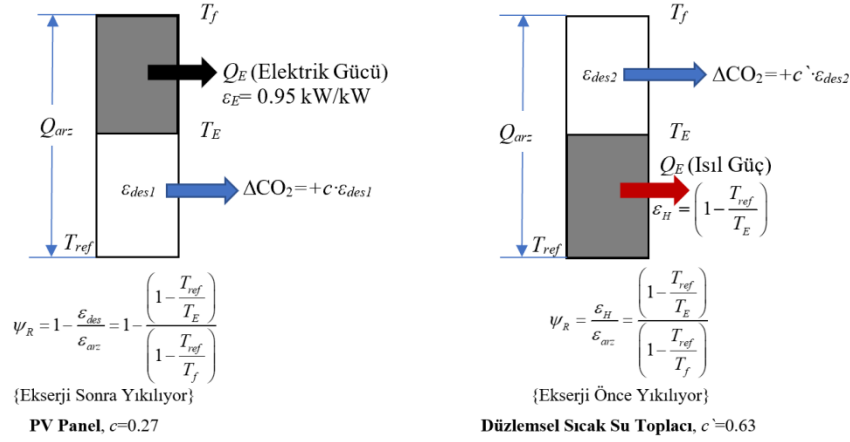
Since the ratio of energy consumption of buildings to the total consumption is almost 40%, it is emphasized, there is a need for new green building definitions to be developed more holistically instead of the zero-energy type of definitions. This paper shows that if any green energy input is not utilized exergy-rationally, additional CO₂ emission responsibilities occur. Based on the examples presented, it has been stated that the green building certification algorithms and rating criteria need to be revised according to the 2nd Law of Thermodynamics. The principles of the TSE Safe-Green Building Certification system, which partly observes the 2nd Law, are explained with new green definitions.

Key Words: Green Building, TSE Safe-Green Building Certificate, Exergy, Renewable Energy

1. GÜVENLİ -YEŞİL BİNA BELGELENDİRMESİNDE ENERJİ NİTELİĞİ

Günümüzün tüm yeşil bina belgelendirme sistemleri ve yönetmeliklerin tamamı sadece 1.ci Yasa üzerine kurgulanmıştır [1]. Şekil 1'de çatısında güneş enerjisini farklı sistemlerle kullanan iki binanın ekserji akış çubuğu gösterilmektedir. İlk bina güneş enerjisinden foto-gözeli paneller (PV) kullanarak elektrik üretmekte ama panellerin soğurduğu ısıyı değerlendiremeyip, bilakis kendileri ısınarak verimleri düşmektedir. İkinci bina ise Türkiye'de çok yaygın biçimde kullanılan düzlemsel sıcak su panelleri kullanarak sadece sıcak üretmekte ve elektrik üretim şansını yıkarak elektrik gücünün birim ekserjisine oranla çok daha düşük birim ekserjisine sahip sıcak su üretmekle yetinmektedir. Ancak, bu iki binanın ürettikleri `enerji` miktarı yıl boyunca (kW-k/yıl) veya anlık elektrik gücü veya ısı güç (kW)

aynı ise, mevcut yeşil bina belgelendirme algoritmalarında bu konudaki puanları eşit olmaktadır ve bu iki farklı uygulamanın hiçbir farkı görülmemektedir.



Şekil 1. Güneşten enerji üretimi aynı olan (q_{arz}) pv panel ve düzlemsel toplaçların ekserji farkları

Halbuki, Şeki1 de görüldüğü üzere:

- 1- Q_{arz} aynı fakat yıkılan ekserjiler farklıdır (Eşitlik 1) (ϵ_{des1} ve ϵ_{des2}):
- 2-

$$\underbrace{Q_{arz} \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_E}\right)}_{\Delta E_{X1}} \neq \underbrace{Q_{arz} \left(1 - \frac{T_E}{T_f}\right)}_{\Delta E_{X2}} \quad (1)$$

Isıl Ekserji Yıkımı Elektriksel Ekserji Yıkımı

PV panellerde ekserji, yararlı üretimden (Elektrik) sonra ısıl güç olarak yıkılmaktadır. Düzlemsel toplaçta ise ekserji yararlı üretimden (Isıl Güç) önce kaybedilen elektrik gücü üretim potansiyeli şeklinde yıkılmaktadır. Bu yıkımların çevresel etkileri de farklı olmaktadır (c ve c' cinsinden):

$$0.27 \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_E}\right) \neq 0.63 \left(1 - \frac{T_E}{T_f}\right) \quad (2)$$

Çünkü bir uygulama elektrik enerjisi elektrik olarak sektörde telafi (ofset) edilirken diğer uygulamada ısıl ekserjinin telafisi söz konusudur.

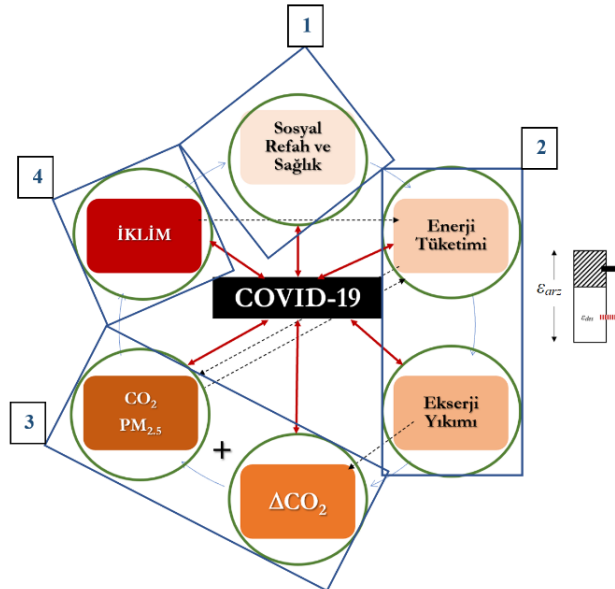
- 2- Ekserji yıkımlarını ideal Karno çevrimi ile tarif eden sıcaklıklar farklıdır (Şekil 1),
- 3- Ürettikleri enerjilerin birim ekserjileri farklıdır (Şekil 1: ϵ_E ve ϵ_H),
- 4- Bu iki sistemin enerji ve stokundan azalttıkları doğrudan CO₂ salımları farklıdır. PV paneller enerji stokundan ürettikleri elektrik enerjisi oranında CO₂ salımı azaltırlar. Düzlemsel toplaçlar ise ancak ısının üretilebileceği bir sıcak su kazanının saldırdığı CO₂ kadar yarar sağlar,
- 5- Buna karşılık, yıktıkları ekserjilerin hem miktarları hem de türleri (Isı veya elektrik gücü) farklı olduğundan önlenebilir □CO₂ salımları da farklıdır (Şekil 1),
- 6- Güneş enerjisini akılcı değerlendirme ölçütü, ψ_R değerleri farklıdır (Şekil 1). Bu nedenle de karbon ayak izleri farklıdır ve güneş enerjisini dönüştüren cihaz ve binalar sıfır karbon salım tarifine girmez:

$$\Delta CO_2 = +Q_{arz} (1 - \epsilon_{des}) \quad (3)$$

Bu binanın bacası olmayabilir ama en az Eşitlik 3'de ifade edildiği biçimde salım sorumluluğu bulunmaktadır. Her birim ekserji yıkımı küresel ısınmanın $0.256 \times 10^{-13} \text{K}$ artmasına neden olmaktadır. Küresel ekserji yıkımlarının yıllık enerji tüketimlerine oranla en az %80 olduğu göz önünde tutulduğunda ekserji yıkımlarının hep göz ardı edilen iklimsel zararının boyutu ortaya çıkmaktadır. Ekserjinin akılcı kullanımı bağlamında ψ_R ölçütünün en az 0.7 olması gerekir. Bu ölçüt Dünyada ilk kez LEED Platin sertifikası alan Eser Yeşil Ofis Binasında kullanılmıştır [2, 3]. Ne var ki yukarıda özetlenen

altı farklılık hala hiçbir belgelendirme programında göz önünde bulundurulmamaktadır ve bunun somut anlamı küresel ısınmanın önüne pratik anlamda geçilemeyecek demektir. Çünkü bu ölçüt tüm sektörler için geçerlidir. Bu yaklaşıma bir tek TSE Güvenli- Yeşil Bina Sertifika Programında dolaylı biçimde yer verilmiştir [4, 5, 6].

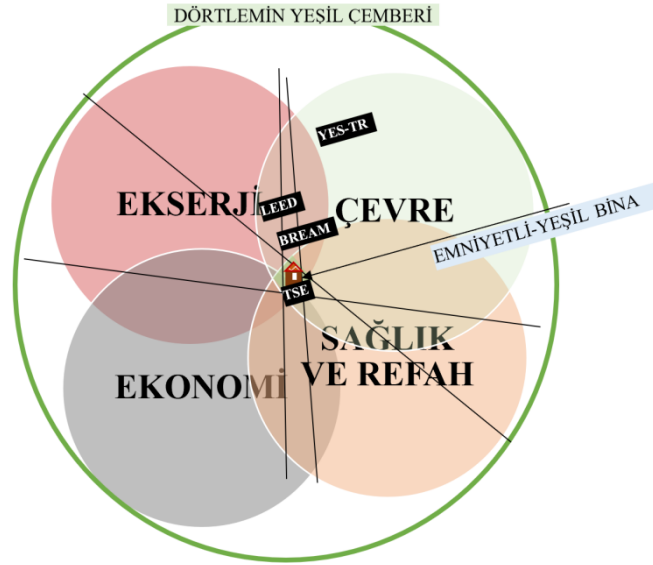
Bunun da ötesinde, mevcut programlarda, örneğin PV panellerde üretilen elektrik binada hangi talepleri karşıladığı sorgulanmaz ve değerlendirmelere katılmaz. Halbuki, üretilen elektrik gücü elektrik dirençli bir ısıtma sisteminde (Elektrikli radyatör gibi) sadece konfor ısıtmasında kullanılıyor ise 1.ci yasa verimi neredeyse bir, fakat enerjinin niteliğinin (Ekserji) değerlendirme oranı %8 kadardır. Kısacası, binanın ürettiği `Yeşil Elektrik Gücü` yararlı ve yüksek katma değerli işlerde kullanılmamakta, sadece bugünün 5.ci nesil bölge ısıtma sistemlerinde olduğu gibi 35°C (308 K) gibi çok düşük sıcaklıklarda yapılacak bir uygulamada (Birim ekserji: $1-283/308=0.08$) birim ekserjisi 0.95 kW/kW olan elektrik tüketilerek büyük oranda ekserji kaybedilmektedir. Bu uygulamada arz ve talep birim ekserjileri arasında büyük fark vardır ve yıkılan ekserji çevreye ve enerji bilançosuna ek ve neredeyse-önlenebilir \square CO₂ salımları olarak yansır. Neredeyse deniyor çünkü PVT paneller kullanılıp aynı çatı alanında hem elektrik gücü hem ısı gücü elde edilse idi ekserji yıkımları büyük ölçüde azalabilecekti. Buda gösteriyor ki yeşil bina değerlendirilmelerinde sadece binaya giren ve/veya binada üretilen yeşil enerjinin niceliği (enerji veya güç) değil bu enerjinin hangi sistemde nasıl üretildiği, ne kadar ekserji yıkımı olduğu, bu bağlamda da binada bu enerjinin nerede ve nasıl tüketildiğinden çok ne denli akılcı değerlendirildiği de sorgulanıp, denetlenip değerlendirilmelidir. Aksi halde binaya yeşil olarak giren bir yenilenebilir enerji gri olarak binadan çıkar. Günümüzün koşullarında pandemi dirençli binalar gündeme gelmiştir. Örneğin, %100 taze havalı klima sistemleri, buna bağlı olarak HEPA ve üstü filtreler, UVC steril lambaları, artan güç ihtiyacının karşılanması havada virüs taşıyan zerrecik kontrolü, hatta büyük toplanma alanlarında tavan yüksekliği gibi yeni kavramlar yeşil bina algısını güvenli bina yönüne çevirmektedir. Şekil 2 bu yeni yönü altı boyutta veren dört kutucukta özetlemektedir. Pandemi de artık zamanımızın %90'ından fazlasını geçirdiğimiz kapalı alan ve binaların gündemine girmiştir ve *Pandemi Dirençli Bina* puanlaması da güvenlik ve refah kapsamında kesinlikle düşünülmelidir. Şu andaki pandemi sürecinde binalar dışındaki tüm sektörlerin pandemiye karşı olumlu tepki verirken binaların olumsuz tepki vererek hava kirliliğinde artışa neden olduğu görülmüştür. Hava kirliliği ise pandemi vaka sayısında en az %15 dolayında artışa neden olmaktadır. İşte bu noktada tüm yeşil bina belgelendirme sistemlerinin bu yönde de gelişime ve tartışmaya açılmalarının zamanının geldiğini hatta geçtiğini göstermektedir.



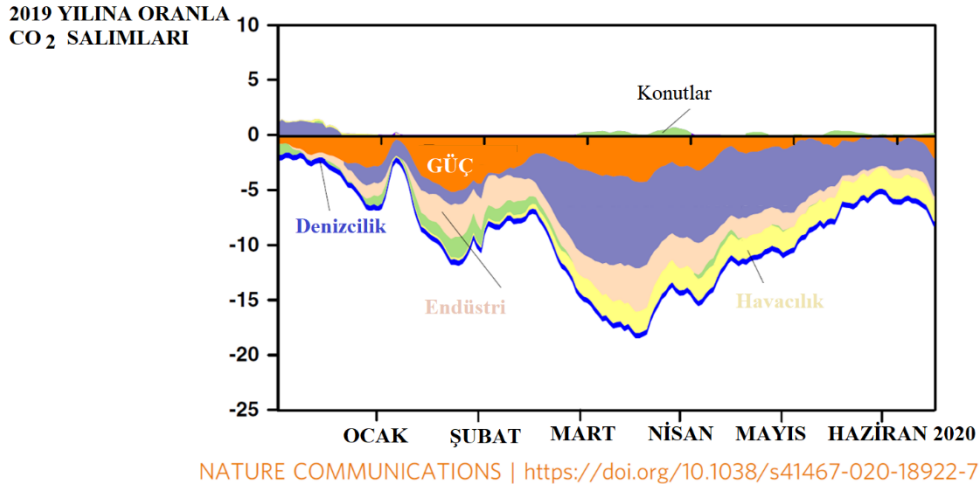
Şekil 2. Küresel Krizin, Pandemi ve Refah, Enerji, Çevre ve İklim Dörtlemi

Şekil 3'de ise ekonomi boyutunun da eklendiği ve mevcut yeşil bina belgelendirme programlarının kapsama alanları gösterilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi enerjinin niteliğinin değerlendirilmesi

konusunda hiç bir program bulunmamaktadır. Dörtlem elemanlarının örtüştüğü küçük alana sadece TSE Belgelendirme Programı yaklaşabilmektedir. Bu bağlamda tüm diğer programların revizyonu gerekir. Ayrıca genelde enerji eknominin içerisinde yorumlanır ki, bu da yanlıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Ekserji tabanlı dörtlemde yeşil bina belgelendirme konumları [7]



Şekil 4. Pandemiye karşı yapılan kısıtlamalarda değişik sektörlerin tepkisi

Yeşil bina kavramında ısı pompalarının kullanılması önemli bir puan kaynağıdır. Ancak bu puanlardan ısı pompalarında kullanılan soğutucu akışkanların neden olduğu ozon seyreltim (*ODP*) ve küresel ısınma potansiyellerinin (*GWP*) birbiri ile olan etkileşimleri de göz önünde tutularak yorumlanmalı ve kazanılan puanlardan gerektiği şekilde eksiltme yapılmalıdır (*ODI*). *ODI* ölçütünün CO_2 salım karşılığı bulunduğu gibi, elektrik gücü binada veya yakın çevrede güneş veya rüzgâr enerjisinden elde edilse bile ısı pompasında kullanılmasının ekserji akılcılığı ve CO_2 karşılığı Eşitlikler 6 ve 7'de verilmiştir. Ayrıca Eşitlik 6 koşulu sağlanmadığında elektrik gücünün üretiminde ve değerlendirilmesindeki ekserji dengesizliği oranında doğrudan CO_2 salım sorumlulukları da bulunmaktadır [8].

$$ODI = \frac{0.1GWP^{0.03}}{(1-ODP)} \left(\frac{ALT}{1} \right)^{0.01} \quad \{ODP < 1\} \quad (4)$$

$$CO_2 = \left(\frac{L}{E_{xarz}} \right) \times GWP \quad (5)$$

$$COP > \frac{0.95}{\left(1 - \frac{T_{dönüş}}{T_{gidiş}} \right)} \quad (6)$$

$$\Delta CO_2 = 0.27 \left(0.95 - \left[1 - \frac{T_{dönüş}}{T_{gidiş}} \right] \right) \quad (7)$$

Son yıllarda BEP-TR ve BREEAM-Turkey ve benzeri yeşil bina belgelendirme sistemleri ile enerji performans belgelerinin birleştirilmesi üzerinde de çalışmalar yapılmakta ise de 2.ci Yasa bir ortak payda olabileceken değerlendirmeye alınmamıştır [9].

2. OLUMSUZ ÖRNEKLER

2.1 Çin Modeli: Rüzgâr Enerjisinden Isıya

Çin hükümeti kuzey eyaletlerindeki dağlık ve soğuk iklime sahip yörelerde kışın yerel odun ve kömür kaynakları ile binaların ısıtılmasından oluşan CO₂ salımlarının ve hava kirliliğinin azaltılması amacı ile yerinde rüzgâr türbinleri ile ısıtma projeleri önermiştir (Şekil 5). Ancak o yörelerde yazın soğutma gereksinimi de olmadığı için rüzgâr türbinlerinin yıllık kullanım faktörleri de -sadece elektrik üretmek dışında-düşük olacaktır. Rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik gücünün birim ekserjisi ile talep edilen iç mekân konfor ısıtmasında talep edilen birim ısı ekserji arasında büyük fark vardır [10, 11, 12]. Eşitlik 5 kapsamında ısı pompası soğutucu akışkanının da salım katkısı göz önünde tutulduğunda rüzgârdan- ısıya türü bir ısı pompalı sistemde CO₂ salım sorumluluğu bulunmaktadır. Bu hesapta COP 2.5 (Soğuk iklim) olarak kabul edilmiştir. COP ışınımsal paneller kullanılarak arttırılabilir [13].

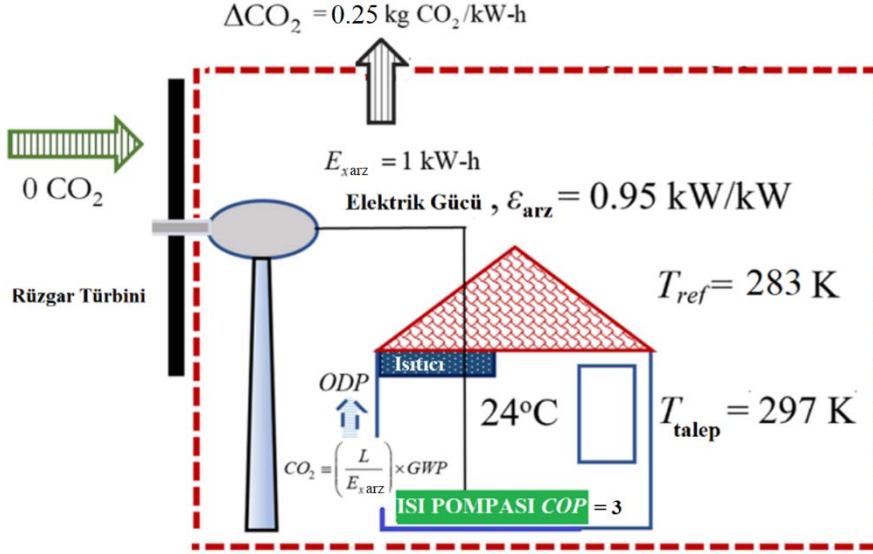
$$\Delta CO_2 = 0.63 \times \left(0.95/2.5 - \left[1 - \frac{283 \text{ K}}{297 \text{ K}} \right] \right) + 0.04 = 0.25 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$$

Eğer rüzgâr enerjisi ısı pompası olmaksızın basit bir elektrikli ısıtıcıda kullanılırsa (COP=1) salım sorumluluğu çok daha fazla olur ve bir kömür sobasından pek farkı kalmaz:

$$\Delta CO_2 = 0.63 \times \left(0.95/1 - \left[1 - \frac{283 \text{ K}}{297 \text{ K}} \right] \right) = 0.57 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$$

Kömür sobalı ısıtmada

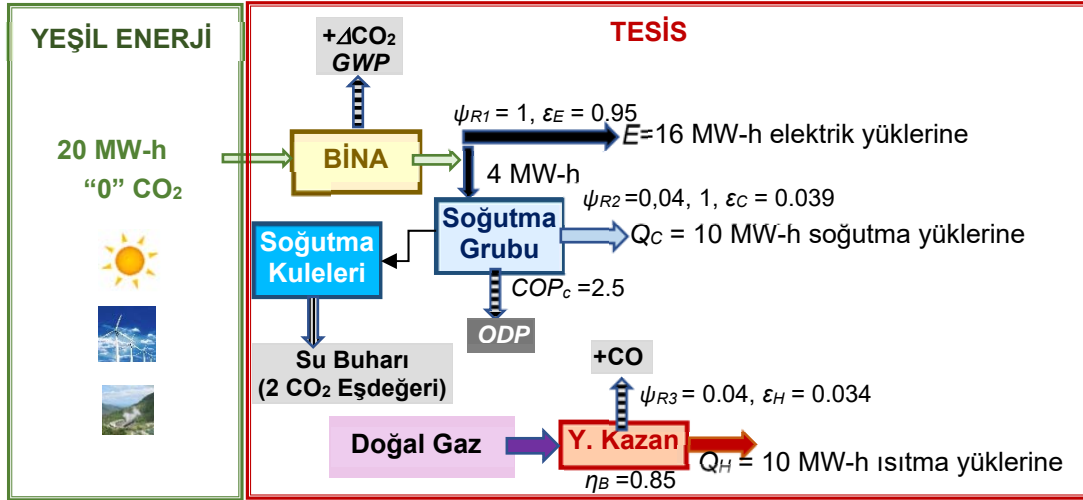
$$CO_2 = \frac{c_K}{\eta_{soba}} = \frac{0.4}{0.55} = 0.73 \text{ kg CO}_2/\text{kW-h}$$



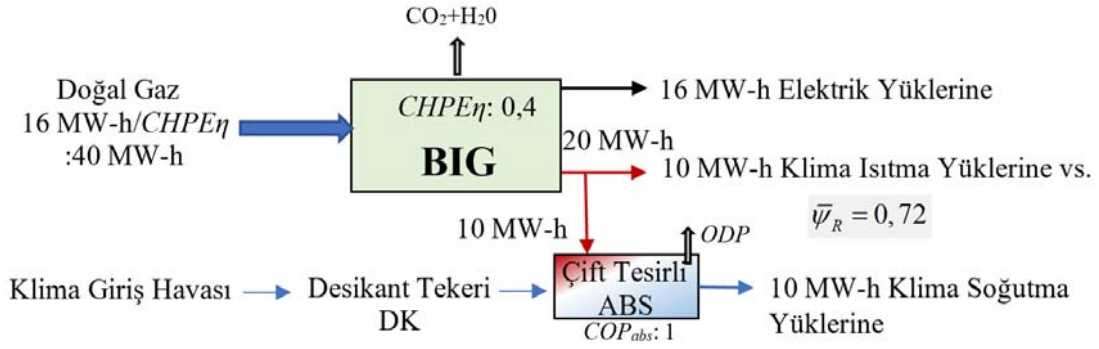
Şekil 5. Rüzgârdan-ısıtmaya uygulaması.

2.2. İstanbul IGA Hava Alanı Terminali

İstanbul IGA Havalimanı ana terminali LEED altın belgesi kazanmıştır [14]. Bu belgenin puanlama kartına göre EAC6 kategorisinde *Yeşil Güç* (green power) maddesinden iki puan aldığı görülmektedir. Tesis bu kapsamda bir yeşil enerji sağlayıcısından 20 MW elektrik gücü temin etmektedir. Bir saat boyunca tesis, 16 MW-h kadarlık bir bölümünü elektrik taleplerinde değerlendirmektedir. Ancak, 4 MW-h elektrik gücü, başka sistemlerle gerçekleştirilebilecek 10 MW-h soğutma sürecinde kullanılması dahil olmak üzere ısı taleplerinin de doğal gazlı yoğuşmalı kazanlar ile karşılanması akılcı seçenekler değildir [15,16]. Akılcı ekserji verimi, ψ_R 0.44 tür. Bu nedenle de satın alınan enerji yeşil fakat kullanımı belirli oranda yeşil değildir. Daha akılcı bir çözüm ise sadece 16 MW elektrik gücü talep edilip, ısıtma, soğutma ve 4 MW elektrik güç üretimi doğal gazlı beraber ısı ve güç sisteminde (CHP) üretilmesidir (Şekil 7).



Şekil 6. Referans senaryo: yeşil enerjinin bir bina tesisinde tam akılcılıkla kullanılmayışı, $\psi_R = 0.44 < 0.70$



Şekil 7. Yeşil enerjinin daha ekserji akılcı değerlendirilmesi, $\psi_R = 0.44 > 0.70$ (Yeşil Terminal)

3. YENİ NESİL YEŞİL BELGELENDİRME PARAMETRELERİ

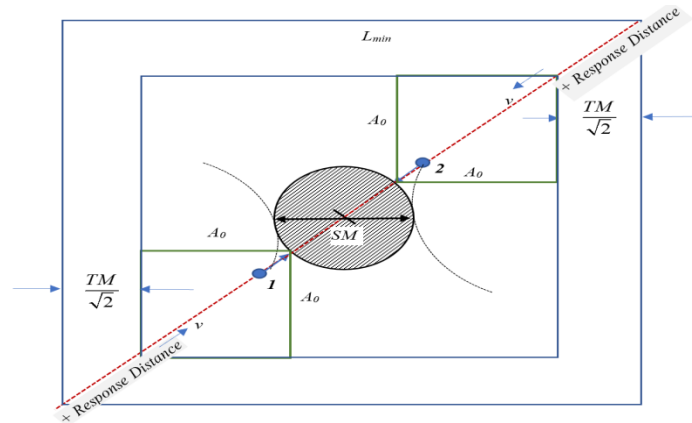
Yeni nesil belgelendirme usul ve esaslarında dört düzey göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 8).

- Bina Düzeyindeki Ölçütler

Bina tipolojisine, boyutlarına, ulusal veya uluslararası boyutlarına (Örneğin, uluslararası hava terminalleri gibi) daha çok önem veren yeni ve alt kırılımları da olan ölçütler geliştirilmelidir. Örneğin, bir hava alanı terminal binasındaki tavan yüksekliğinin pandemik zerrelerin havada yayılımına etkisi, güvenli (Sosyal) mesafe ve alan sınırlamaları bir konuta göre daha önemlidir ve çok daha değişiktir (Şekil 8).

$$SA = (SM + 2A + \sqrt{2}TM)^2 \quad (6)$$

$$SM = A \left(1 + \left[\frac{n}{n_o} \right]^c \right) \quad (7)$$



Şekil 9. Büyük kapalı alanlarda dinamik hareketlilikte 2-boyutlu sosyal mesafe algoritması

4. TSE GÜVENLİ VE YEŞİL BINA

Bu çalışmada; 'Ulusal Güvenli-Yeşil Bina Belgelendirme Sistemi' oluşturulabilmesi amacıyla 'Sürdürülebilir Enerji Yönetimi' ilkelerine uygun bir puanlama sistemi geliştirilmiştir. Bu puanlama sisteminde; ülkemizde hızla gelişmekte olan Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji, Yerli/Yenilikçi Enerji

uygulamalarının sürdürülebilir gelişimini temin edecek şekilde 'Sürdürülebilir Enerji Yönetimi' ağırlığı diğer belgelendirme sistemlerine kıyasla daha ağırlıklı olacak şekilde (%40 olarak) değerlendirilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif ve akılcı kullanımını içeren, ölçülebilir veya hesaplanabilir parametrelerle, mevcut ulusal standartların (TSE 825, TSE EN 13790, vb.) ve mevzuat/yazılım altyapısının (Örneğin BEP-TR Yönetmeliği ve Yazılımı) kullanılmasına olanak sağlayacak şekilde özgün bir puanlama sistemi önerilmiştir.

Tablo 1. TSE güvenli-yeşil bina enerji ana ölçütleri

DEĞERLENDİRME GRUBU		PARAMETRE		EK PUAN		
Bina Sınıfı (9/40)	Enerji	A Sınıfı		6	6	
		B Sınıfı				3
		Diğer Sınıflar (C-G)				0
	CO ₂	A Sınıfı		3	3	
		B Sınıfı				1
		Diğer Sınıflar (C-G)				0
Yenilenebilir Enerji Kullanımı (14/40)	Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı	YEO _{Elektrik}	YEO _{ısı}	3	0.5	
		0.2 < YEO _E < 0.4	0.3 < YEO _I < 0.5			1
		0.4 < YEO _E < 0.7	0.5 < YEO _I < 0.7			
		YEO _E > 0.7	YEO _I > 0.7			
	Fosil Enerji Kullanım Oranına Bağlı Düzeltilmiş Tesir Katsayısı (TK _{FEO})	Isıtma: TK _{FEO} > 2		1	0.5	
		Soğutma: TK _{FEO} > 1.5				0.5
	Yenilikçi, Akılcı Çözümler	Otomasyon		2	2	
		Enerjinin Akılcı Kullanımı	Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Üretilen Doğru Akımın Verimli Kullanımı		1	1
	Akışkanın sisteme giriş sıcaklığı		Isıtma	T _{giriş} ≤ 50°C	1	
				50°C < T _{giriş} ≤ 70°C	0.5	
				T _{giriş} > 70°C	0	
	Soğutma		Isıtma	T _{giriş} > 12°C	1	
				10°C ≤ T _{giriş} ≤ 12°C	0.5	
		T _{giriş} < 10°C		0		
Yerli Teknoloji ve Üretim	%70 < YÜMO < %100		3	3		
	%40 < YÜMO < %70				2	
	%10 < YÜMO < %40				1	
TSE Sertifikalı Ürünler		2	2			
İşletmeye Alma, İşletme ve Bakım, Farkındalık (7/40)	Yetkin (Sertifikalı) Personel		1	1		
	Yenilenebilir Enerji Kullanımının İzlenebilirliği ve Görşelliği		2	2		
	Eğitim		1	1		
	Ayar ve Dengeleme		3	3		

Tablo 1. TSE güvenli-yeşil bina enerji ana ölçütleri (devamı)

DEĞERLENDİRME GRUBU		PARAMETRE	EK PUAN		
Enerji Verimliliği (5/40)	Isıl Enerji Depolama Sistemi, EDS	Isıtma	2	1	5
		Soğutma		1	
	Birincil Enerji Tutumu, <i>BET</i>	1	1		
	Pasif Önlemler	1	1		
	Bölgesel-Merkezi Enerji Sistemleri Katsayısı, <i>BMESK</i>	$BMESK \geq 1$	1	1	
		$0.5 < BMESK < 1$		0.5	
$BMESK < 0.5$		0			
Ek Bina Bileşenleri (2/40)	Dış Aydınlatma	1	1	2	
	Asansörler	1	1		
Enerji Güvenliği ve Kalitesi (2/40)			2	2	2
Enerji Verimli Ev Aletleri (1/40)			1	1	1

Tablo 2. Yenilenebilir enerji kullanım oranına göre kazanılabilecek puanlar

YEO_E	YEO_I	PUAN
$0.2 < YEO_E < 0.4$	$0.3 < YEO_I < 0.5$	0.5
$0.4 < YEO_E < 0.7$	$0.5 < YEO_I < 0.7$	1
$YEO_E > 0.7$	$YEO_I > 0.7$	1.5

Tablo 3. Isıtma ve soğutmada akışkan sıcaklıkları (ekserji) kırılımı

	Akışkanın Sisteme Giriş Sıcaklığı	Puan
Isıtma Sistemi	$T_{giriş} \leq 50^\circ C$	1
	$50^\circ C < T_{giriş} \leq 70^\circ C$	0.5
	$T_{giriş} > 70^\circ C$	0
Soğutma Sistemi	$T_{giriş} > 12^\circ C$	1
	$10^\circ C \leq T_{giriş} \leq 12^\circ C$	0.5
	$T_{giriş} \leq 10^\circ C$	0

Yerli teknoloji gelişimini ve yerli üretimi teşvik etmek amacıyla, enerji tüketim yükünün azaltılması için kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve otomasyon sistemlerinin yerli ürünlerden seçilmesi ek puan olarak değerlendirilir. Kullanılan sistemlerin tümünde, toplam maliyet içinde yerli üretim maliyet oranı **YÜMO** (yerli üretim maliyeti /toplam maliyet);

- %70-%100 arasında ise +3 puan,
- %40-%70 arasında ise +2 puan,
- %10-%40 arasında ise +1 puan



verilir. Maliyet oranı, genel sistem maliyetinin %10'undan az oranda olan yerli sistemler için puan verilmez. Belgeli ürün kullanımını teşvik etmek amacıyla, enerji tüketim yükünü azaltmak için kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerinin, TSE veya eşdeğer sertifikalı ürünlerden seçilmesi +2 ek puan olarak değerlendirilir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yeşil bina kavramının küresel krizde yetersiz kaldığı, bu nedenle Termodinamiğin 2.ci Yasasına da müracaat edilmesinin gereği örneklerle gösterilmiştir. Bir örnek olarak IGA havaalanında LEED sertifikasyon puanlamasında kazanılan 2 yeşil enerji (Rüzgâr) puanının kısmen de olsa doğru taleplerde kullanılmadığından ortaya çıkan salım sorumlulukları gösterilmiştir [17]. Bu bağlamda yeşil kavramının arka plandaki enerji arz ve taleplerinin ekserji dengesini gözeten yeni ölçütlerin gereği tanıtılmıştır.

SİMGELER

<i>ALT</i>	Atmosferde zararlı gaz veya parçacığın kalma süresi, yıl
<i>BET</i>	Birincil Enerji Tutum Endeksi
<i>BMESK</i>	Bölgesel-Merkezi Enerji Sistemleri Katsayısı
<i>c</i>	Yıkılan potansiyel ısı ekserjinin CO ₂ salım karşılığı çarpanı (Şekil 1) veya soğutma (Şekil 6), 0.27
<i>c'</i>	Yıkılan potansiyel elektriksel ekserjinin CO ₂ salım karşılığı çarpanı (Şekil 1), 0.63
<i>c_K</i>	Yakıtın birim CO ₂ salımı, kg CO ₂ /kW-h
<i>COP</i>	Tesir katsayısı
<i>E</i>	Elektrik gücü, kW
<i>E_x</i>	Ekserji, kW veya kW-h
<i>GWP</i>	Küresel Isıtma Potansiyeli
<i>H</i>	Isıl Güç, kW
<i>n</i>	Kapalı alandaki insan (anlık) mevcudiyeti
<i>n_o</i>	Kapalı alandaki müsaade edilen insan sayısı
<i>ODI</i>	Tümleşik Ozon Katsayısı
<i>ODP</i>	Ozon katmanını inceltme potansiyeli
<i>Q</i>	Kaynaktan yararlı işe dönüştürülen enerji veya güç miktarı, kW-h veya kW
<i>SA</i>	Sosyal alan, m ²
<i>SM</i>	Sosyal mesafe, m
<i>TK</i>	Düzeltili tesir katsayısı
<i>YEO</i>	Yenilenebilir enerji kullanım oranı
<i>YÜMO</i>	Yerli üretim maliyet oranı
<i>ψ_R</i>	Akılcı ekserji yönetim verimi
<i>DCO₂</i>	Neredeyse-önlenebilir CO ₂ salım sorumluluğu, kg CO ₂ /kW-h
<i>η</i>	Birinci Yasa verimi
<i>ε</i>	Birim ekserji, kW/kW

Alt simgeler

<i>arz</i>	Enerji arzı
<i>B</i>	Kazan
<i>des</i>	Yıkım
<i>E</i>	Elektrik
<i>f</i>	Yakıt veya enerji kaynağı
<i>FEO</i>	Fosil enerji kullanım oranı
<i>H</i>	Isı
<i>ref</i>	Referans çevre

KAYNAKLAR

- [1] Think Exergy not Energy https://www.scienceeurope.org/media/0vxhcyhu/se_exergy_brochure.pdf
- [2] Cakmanus, I., Kunar, A., Toprak, G., Gulbeden, A. 2010. A Case Study in Ankara for Sustainable Office Buildings, *Clima 2010 - REHVA World Congress Conference*, May 9-12 2010, Antalya. <<http://www.olimposenerji.com/a-case-study-in-ankara-for-sustainable-office-buildings>>
- [3] Gülbeden, A. E. 2019. Yüksek Performanslı Binalarda Enerjinin Akılcı Kullanımı İçin Mekanik Tasarım ve Optimum Kontrol Algoritmasının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Ü. FBE, Konya.
- [4] TSE. 2011. Güvenli ve Yeşil Bina Sertifika Sistemi <<https://tse.org.tr/lcerikDetay?ID=41&ParentID=30>>
- [5] İnternet: Türk Standartları Enstitüsü, “Güvenli yeşil bina belgesi” <<http://www.tse.org.tr/hizmetlerimiz/belgelendirme-hizmetleri/urun-belgelendirme/%C3%BCr%C3%BCn-belgelendirmeba%C5%9Fvurular%C4%B1/g%C3%BCvenli-ye%C5%9Fil-bina-belgesi>> (2014).
- [6] İnternet: Türk Standartları Enstitüsü, “Güvenli yeşil bina belgesi” <<http://www.tse.org.tr/docs/%C3%BCr%C3%BCn-belgelendirme/bm-07-fr56-g%C3%BCvenli---ye%C5%9Fil-bina-belgesi-ba%C5%9Fvurufomu-01.pdf?sfvrsn=0>> (2014)
- [7] Kılış, B. 2020. Küresel Salgının Hatırlattıkları, İklimsel Isınma ve Klima Sistemleri, *Tesisat Mühendisliği*, MMO İstanbul Şubesi, Sayı 177. <<https://www.mmo.org.tr/yayin-turu/tesisat-muhendisligi-dergisi>>
- [8] Kılış, B. 2019. The Importance of Exergy Rationality and Storage for 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion, Sunu, UNIDO Workshop, September 16-17, 2019, Antalya. Turkey.
- [9] Kobas, B. and Yılmaz, Z. K. 2010. Integration of Green Building Certification Systems and Energy Performance Certificates: BREEAM-Turkey and BEP-TR, International Symposium “Steel Structures: Culture & Sustainability 2010”, 21-23 September 2010, İstanbul, Turkey Paper No: 61 <https://www.researchgate.net/publication/321145786_Integration_of_Green_Building_Certification_Systems_and_Energy_Performance_Certificates_BREEAM-Turkey_and_BEP-TR>
- [10] YE. 2019. Çin Isınmada Rüzgâr Enerjisinin Kullanılmasını Teşvik Edecek, *Yeni Enerji*, Sayı 70, Haber, s: 14, Mayıs-Haziran 2019. ISSN: 1307-9212.
- [11] Kilkis, B. 2019. Rational Utilization of Wind Energy For Heating Purposes in Cold Climates in China, Technical Note 1 for Sustainability and Decarbonization In China, 26 p. Ankara.
- [12] Kilkis, B. 2020. Accelerating the Transition to 100% Renewable Era. But How? Exergy Rationality in the Built Environment, in: Uyar T. (eds), Accelerating the Transition to 100% Renewable Era. *Lecture Notes in Energy*, Vol. 74, pp: 1-49.
- [13] Kilkis, B. 2000. Kilkis, I. B. Rationalization and Optimization of Heating Systems Coupled to Ground Source Heat Pumps, *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, Pt. 2, pp. 817-822, 2000. *ASHRAE Transactions*, MN-00-13-1.
- [14] “Bir Zafer Anıtı: İstanbul Havalimanı” Belgeseli, 31 May 2020 tarihinde yayınlandı, <<https://www.youtube.com/watch?v=nk30SiXAWkk&fbclid=IwAR1CHe0GwJtXld5GJ959rDY8adoWpz hKZ7E9MILH23pTfZMhWrgi-Tt7aNo>>
- [15] Kılış, B. 2019. Yeşil Hava Limanlarında Beraber Isı ve Güç Sistemleri, *Termodinamik Dergisi*, Sayı 318, s: 62-74.
- [16] Kılış, B. 2019. Havaalanı Terminal Binalarında Ekserji Akılcılığı ve Küresel Isınma, *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi: SÜHAD*, Cilt 4, Sayı 1: SARES.
- [17] Kılış, B. 2020. Rüzgâr Enerjisi ile Isıtma Soğutma ve Çevre, *Termodinamik-İnfo*, 7 Temmuz 2020, Dergi: I

TEŞEKKÜR

Bu makalede sunduğumuz TSE Güvenli-Yeşil Bina Belgelendirme konusundaki özet bilgiler ilgili TSE Çalışma Grubunun Yenilenebilir Enerji Komitesinin hazırlamış olduğu nihai raporundan derlenmiştir. Belgelendirme çalışmalarının en başından en sonuna kadar bizlere yön veren, büyük katkılar sunan TSE Yapı Malzemeleri Sektörü Müdürü Osman Özdemir'e, komitemizde yer alan ve çok değerli katkılar sunan Aynur Eray (Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi), Günnur Koçar (Prof. Dr., Ege

Üniversitesi), Seyhan Uygur Onbaşıoğlu (Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi), H. Mehmet Şahin (Prof. Dr., Gazi Üniversitesi), Bülent Yeşilata (Prof. Dr., Harran Üniversitesi), Y. Doç Dr. Levent Çolak'a (Başkent Üniversitesi) ve Sayın Arif Künar'a (Ven Esko, A. Ş.) teşekkürlerimizi sunarız.

ÖZGEÇMİŞ

Birol KILKIŞ

1949 yılında Ankara da doğdu. ODTÜ Makina Müh. Bölümünden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref derecesi ile mezun oldu. 1973 yılında Y. Lisans ve 1979 yılında Doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılış, 1999 da ODTÜ Makine Müh. Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. 1980'li yıllarda altı adet Isı Pompası TSE Standardı hazırlamıştır. ASHRAE'nin değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılış 2004 yılında da Distinguished Lecturer seçilmiş, 2008 yılında *Distinguished Service* ve *Exceptional Service* ödülleri almıştır. Green Energy Council üyesi, *Int. Journal of Green Energy* ve *Exergy* Dergilerinin Editörler Kurulu üyesi ve IEA Heat Pump Programı gözlemci üyeliğinde bulunmuştur. Ayrıca ASHRAE El Kitaplarının revizörlüğü yapmaktadır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar, karbon dioksit salımları, enerji performansı, ekserji akılcılığı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümleri bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. Avrupa Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye'nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.

Hasan Alpay HEPERKAN

Ankara Fen Lisesi (1970) ve İTÜ Makina Fakültesi'nden (1974) mezun olmuş, Fullbright ve TÜBİTAK şeref bursiyeri olarak ABD de, Syracuse University de M.Sc. (1976) ve University of California, Berkeley de Ph. D. (1980) derecelerini elde etmiş, bu arada Lawrence Berkeley Laboratuvarı 'nda araştırmacı olarak çalışmıştır. Daha sonra ABD'de Union Carbide firması Araştırma Merkezi'nde bir yıl görev yaparak, Alexander von Humboldt bursiyeri olarak Almanya'da Universitaet Karlsruhe (TH) ya gitmiştir. 1984 yılında Almanya'dan dönmüş, TÜBİTAK ve Demirdöküm'de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi'ne geçerek profesör ünvanını almıştır. Aynı üniversitede Makina Fakültesi dekanı olarak görev yapmıştır; halen İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi dekanıdır. EUROSOLAR, Türkiye Yenilenebilir Enerji Derneği; ISKAV, Isıtma, Soğutma, Klima Araştırma ve Eğitim Vakfı; TTMD, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği; İSKİD, İklimlendirme, Soğutma, Klima İmalatçıları Derneği; MTMD, Mekanik Tesisat Müteahhitleri Derneği üyesidir. İki dil bilen Heperkan çeşitli ulusal ve yabancı ödüller kazanmış, birçok kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.

DÜŞÜK EMİSYONLU YEŞİL BİNA TASARIMI VE HESAPLAMASI: ANKARA İLİ İÇİN ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Low Emission Green Building Design and Calculations: A Case Study in Ankara Province

Halil İbrahim Çalık
Muammer Özgören

ÖZET

Yeşil ev ya da yaklaşık sıfır enerjili bina doğal kaynakları (güneş, rüzgâr, hava, toprak vs.) etkin ve verimli şekilde kullanacak şekilde tasarlanan veya yenilenerek inşa edilen binalara verilen genel isimdir. Avrupa Parlamentosu tarafından 2010 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performans Direktifi (EPBD) ile binalar için yaklaşık sıfır enerji kavramı ortaya çıkmıştır. Avrupa Birliği'nde, 2019 yılından itibaren yeni yapılacak tüm kamu binalarının, 2021 yılından itibaren ise yeni yapılacak tüm binaların, yaklaşık sıfır enerji seviyesinde olması EPBD ile zorunlu kılınmıştır. Yeşil ev veya çevreci bina uygulamaları ile enerji tasarrufu, doğayı koruma, yenilebilir enerjinin kullanımı ve konforlu bir yaşam ortamı ve aynı zamanda gelecek için temiz bir çevre bırakma hedeflenmektedir. Bu çalışmada; iki katlı bir evin elektrik ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik panel sistemi hesaplamaları yapılmıştır. Yalıtım hesaplamaları yapılarak yeşil bina yalıtım sınıfı "Süper Enerji Verimli Bina" olarak tespit edilmiştir. Yeşil Ev ısı kaybı hesabı TS2164 e göre 21,13 kW ve Isıtma Derece Saat Yöntemine (IDS Yöntemi) göre ise 13,33 kW olarak hesaplanmıştır. Isı kazancı hesaplaması iki farklı yöntemle yapılmıştır; CLTD/SCL/CLF yönteminde ısı kazancı 37,01 kW, RTS (Işınım Zaman Serileri Metodu) yöntemi ile ısı kazancı 32,5 kW olarak hesaplanmıştır. Yeşil evin ısıtma sistemi için dikey toprak kaynaklı ısı pompası hesaplamaları yapılmış ve bina emisyon verimliliği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevreci bina, Isı pompası, Yenilenebilir enerji, Yeşil ev, Fotovoltaik panel, Isıtma yükü, Soğutma yükü.

ABSTRACT

Green house or nearly zero-energy building is the general name given to the buildings that are designed to use natural resources (sun, wind, air, soil, etc.) effectively and efficiently or renovated. With the Energy Performance in Buildings Directive published by the European Parliament in 2010, the concept of nearly zero energy for buildings emerged. In the European Union, it is mandatory that all public buildings to be built since 2019 and all new buildings to be built since 2021 must be at approximately zero energy level by EPBD. With green house or environmental building applications, energy saving, nature protection, use of renewable energy and a comfortable living environment are aimed. At the same time, it is aimed to leave a clean environment for the future. In this study, photovoltaic panel system calculations have been made to meet the electricity needs of a two-storey house. The green building insulation class was determined as "Super Energy Efficient Building" by making insulation calculations. Green House heat loss calculation was calculated as 21.13 kW according to TS2164 and 13.33 kW according to Heating Degree Hour Method (IDS Method). Green House heat gain calculation was calculated according to two different methods. The heat gain was calculated as 37.01 kW in the CLTD / SCL / CLF method and 32.5 kW in the RTS (Radiation Time Series) method. Vertical ground source heat pump calculations were made for the heating system of the green house and the building emission efficiency was determined.

Key Words: Green house, Heat pump, Renewable energy, Photovoltaic panel, Heating load, Cooling load.

1. GİRİŞ

Yapılan araştırmalarda, elektriğin yaklaşık %60'ı, kullanılan içme suyunun yaklaşık %15'i binalarda tüketilmekte olup, binalardan kaynaklı sera gazı üretimi ise yaklaşık % 30 oranında oluşmaktadır [1]. Geleneksel binaların ısıtma, soğutma, aydınlatma ve elektrikli aletlerin çalıştırılması için harcanan enerjinin %85'i fosil yakıt kaynakları olan petrol, kömür ve doğalgazdan sağlanırken, yenilenebilir olan hidroelektrik, güneş, rüzgâr, hava ve toprak enerjisinin tüketimdeki payı düşük oranlarda kalmaktadır. Sürdürülebilir yeşil binalar ile bu oranlar tam tersine döndürülerek binalarda fosil yakıt tüketimi %25 mertebelerine düşürülebilir. Enerjiye olan talepteki artışlar neticesinde enerjide dışa bağımlılığın ve buna bağlı cari açığın büyümesinin önlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında yaygınlaşmanın artması ile sağlanabilecek olup bu nedenle de enerji tüketiminde önemli yer teşkil eden binaların enerji tüketiminde de yeşil bina tasarım uygulamalarının yaygınlaşması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, villa tipi bir yapının elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik paneller, ısıtma-soğutma için ısı pompası, vakum tüplü güneş kollektörü ile su ısıtma sistemi tasarım ve hesaplamaları, CO₂ emisyon verimliliği hesaplamalarını içeren yeşil ev ya da çevreci bina olarak adlandırılan enerji tasarruflu ve yenilenebilir enerji kullanan Ankara ili için örnek bir bina tasarımı ile hesaplamalarına ilişkin esaslar izah edilecektir.

3. MATERYAL VE METOT

Hesaplamalara yeşil evin TS 825 standardına göre bina özgül ısı kaybı ve yıllık ısıtma enerjisi hesabıyla başlanılmıştır. Devamında ısıtma ve soğutma yük hesaplamaları yapılarak ısı pompasının kapasitesi belirlenmiştir. Yeşil bina elektrikli cihazlar ve aydınlatma armatürlerinin harcadığı elektrik miktarı belirlenerek elektrik üretiminde kullanılacak fotovoltaik panel hesaplamaları yapılmıştır. Bina ısıtma yükünü karşılayacak toprak kaynaklı ısı pompası tasarım hesaplamaları yapılmıştır. Yeşil bina tasarımında kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtlı sistem durumuna göre yeşil binanın CO₂ emisyon verimliliği hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca yeşil binanın farklı iki yöntemle yapılan ısıtma ve soğutma yükü hesaplamalarının analiz ve kıyaslamaları yapılmıştır.

3.1. Yeşil Binanın Özgül Isı Kaybı ve Yıllık Isıtma Enerjisi Hesabı

TS 825'e göre binanın özgül ısı kaybı H değeri, iletim yoluyla oluşan ısı kaybı (H_T, W/K) ve havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı (H_V, W/m²) değerinin toplanması ile elde edilir.



Şekil 1. Binanın mimari çizim ön görünüşü.

$$H = H_T + H_v \quad (\text{W/K}) \quad (1)$$

İletim yoluyla oluşan ısı kaybı (2) eşitliği ile bulunur.

$$H_T = \sum A \cdot U = U_D \cdot A_D + U_{\text{Bet}} \cdot A_{\text{Bet}} + U_p \cdot A_p + U_K \cdot A_K + 0,8 \cdot U_T \cdot A_T + 0,5 \cdot U_t \cdot A_t \quad (\text{W/K}) \quad (2)$$

Havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı ise (3) ve (4) eşitlikleriyle bulunur.

$$H_v = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (\text{W/K}) \quad (3)$$

$$V_h = 0,8 \cdot V_{\text{brüt}} \quad (\text{m}^3) \quad (4)$$

(4) eşitliğinde yer alan $V_{\text{brüt}}$ hacmi bina taban alanı ile bina yüksekliğinin(kot hariç) çarpımı ile bulunur. Tasarımı yapılan yeşil bina kabuğunun; iletim yoluyla oluşan bina özgül ısı kaybı (H_T) hesaplamasında kullanılan yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayıları ve binanın mimari projesinden belirlenen yüzey alanı değerleri Tablo 1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarımı yapılan yeşil bina kabuğunun U ısıl geçirgenlik katsayıları ve yüzey alanı değerleri

Dış duvar dış havaya açık (tuğla, bims) ısı geçirgenlik katsayısı (U_{D1}) *	0,305 W/m ² K
Dış duvarın(tuğla, bims) dış havaya açık yüzey alanı (A_{D1})**	263,35 m ²
Dış duvar dış havaya açık(ıslak hacim) ısı geçirgenlik katsayısı (U_{D2})*	0,305 W/m ² K
Dış duvarın (seramik-ıslak hacim) dış havaya açık yüzey alanı (A_{D2})**	12,54 m ²
Pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayısı (U_p)*	2,1 W/m ² K
Pencerelerin yüzey alanı (A_p)**	57,74 m ²
Bina dış kapısının ısıl geçirgenlik katsayısı (U_K)*	4 W/m ² K
Bina dış kapısının yüzey alanı (A_K)**	3,3 m ²
Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı (U_T)*	0,289 W/m ² K
Tavanın yüzey alanı (A_T)**	125,06 m ²
Zemin kat (parke) döşemesinin ısıl geçirgenlik katsayısı (U_{t1})*	0,284 W/m ² K
Zemin kat (parke) döşemesinin yüzey alanı (A_{t1})**	122,36 m ²
Zemin kat (seramik-ıslak hacim) döşemesinin ısıl geçirgenlik katsayısı (U_{t2})*	0,685 W/m ² K
Zemin kat (seramik-ıslak hacim) döşemesinin yüzey alanı (A_{t2})**	2,7 m ²
Not: *Bina yapı elemanlarının ısı geçirgenlik katsayısı U hesaplamaları (5) eşitliğiyle bulunmuştur. Pencere ve dış kapının ısı geçirgenlik katsayısı U değerleri TS2164'ten alınmıştır. ** Mimari proje üzerinden ölçülerek yüzey alanı değerleri hesaplanmıştır.	

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (5)$$

Bina yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı $Q_{\text{yıl}}$ hesabı; aşağıda yer alan (6) ve (7) eşitlikleri doğrultusunda yapılmaktadır, aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının (Q_{ay} , joule) toplamı bina yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını oluşturmaktadır.

$$Q_{\text{yıl}} = \sum Q_{\text{ay}} \quad \text{joule} \quad (6)$$

$$Q_{ay} = [H (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) - \eta_{ay} (\emptyset_{i,ay} + \emptyset_{s,ay})] \cdot t \quad \text{joule} \quad (7)$$

TS 825 standardında yer alan illere göre derece gün bölgeleri listesinden Ankara ilinin 3. bölgede olduğu tespit edilmiştir, ayrıca bu standarttaki konutlar için hesaplamalarda kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık $\theta_{i,ay}$ değerleri ile TS 825 standardındaki 3. Bölge aylık ortalama dış sıcaklık ($\theta_{e,ay}$) değerleri alınarak bu değerler ile aylara göre bina ısı kaybı $[H \cdot (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})]$ hesaplamaları yapıp Tablo 2. de gösterilmiştir.

Tablo 2. $\theta_{i,ay}$, $\theta_{e,ay}$ değerleri ve aylara göre bina ısı kaybı $[H \cdot (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})]$ hesaplamaları

Aylar	Bina Isı Kaybı				
	Özgül Isı Kaybı	Aylık Ortalama İç Sıcaklık Değeri	Aylık Ortalama Dış Sıcaklık Değeri	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı
	$H = H_r + H_v$ (W/K)	$\theta_{i,ay}$ (°C)	$\theta_{e,ay}$ (°C)	$\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}$ (°C)	$H \cdot (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$ (Watt)
Ocak	441,4482	19	-0,3	19,3	8519,95
Şubat			0,1	18,9	8343,37
Mart			4,1	14,9	6577,57
Nisan			10,1	8,9	3928,88
Mayıs			14,4	4,6	2030,66
Haziran			18,5	0,5	220,72
Temmuz			21,7	-2,7 (hesaba katılmaz)	-
Ağustos			21,2	-2,2 (hesaba katılmaz)	-
Eylül			17,2	1,8	794,60
Ekim			11,6	7,4	3266,71
Kasım			5,6	13,4	5915,40
Aralık			1,3	17,7	7813,63

TS 825 standardına göre aylık ortalama (her bir ay için tek değer hesaplanır) iç kazançlar $\emptyset_{i,ay}$ ve aylık ortalama (her bir ay için hesaplanır) güneş enerjisi kazançları $\emptyset_{s,ay}$ aşağıdaki (8) ve (10) eşitlikleri doğrultusunda yapılmaktadır. Aylara göre bina ısı kazancı $[\eta_{ay} (\emptyset_{i,ay} + \emptyset_{s,ay})]$ hesaplamaları yapıp Tablo 3. te gösterilmiştir.

$$\emptyset_{i,ay} = A_n \cdot 5 \quad (\text{konutlar, normal donanımlı binalar}) \quad (\text{W}) \quad (8)$$

$$A_n = V_{brüt} \cdot 0,32 \quad (\text{m}^2) \quad (9)$$

$$\emptyset_{s,ay} = \sum \Gamma_{i,ay} \cdot g_{i,ay} \cdot (l_{i,ay} \cdot A_i) \quad (\text{W}) \quad (10)$$

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_L = 0,8 \cdot g_L \quad (\text{birimsiz}) \quad (11)$$

(7) eşitliği ile belirlenen aylara göre bina ısı kazancı hesaplamasındaki kazanç kullanım faktörü η_{ay} değerleri aşağıda yer alan (12) ve (13) eşitliklerine göre yapılmıştır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (\text{birimsiz}) \quad (12)$$

$$KKO_{ay} = (\emptyset_{i,ay} + \emptyset_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (\text{birimsiz}) \quad (13)$$

KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

Tablo 3. Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri ve binanın toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ($Q_{yıl}$) değeri

Aylar	Isı Kaybı	Isı Kazançları			t zaman (saniye)	Isıtma Enerjisi İhtiyaçları (Q_{ay}) (kJ)
	Isı Kayıpları $H (\theta_{i,Ocak} - \theta_{e,Ocak})$ (W)	İç Isı Kazancı $\dot{Q}_{i,ay}$ (W)	Güneş Enerjisi Isı Kazancı $\dot{Q}_{s,ay}$ (W)	Kazanç kullanım faktörü (η_{ay})		
Ocak	8519,95	1330,55	1613	0,94	86400 · 30	14.911.810,37
Şubat	8343,37		1966	0,92		13.764.932,59
Mart	6577,58		2253	0,84		9.246.690,90
Nisan	3928,89		2461	0,65		3.795.676,80
Mayıs	2030,66		2773	0,39		1.115.278,55
Haziran	220,72		2913	0		0
Temmuz	-1191,91		2835	0		0
Ağustos	-971,19		2692	0		0
Eylül	794,61		2334	0		0
Ekim	3266,72		1961	0,63		3.092.360,15
Kasım	5915,41		1516	0,88		8.839.865,35
Aralık	7813,63		1419	0,94		13.553.713,51
$Q_{yıl}$ (kJ) = 68.320.328,22						

$Q_{yıl} = 68.320.328,22$ kJ olarak bulunan değer binanın toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacıdır. Bu değer için $1 \text{ kJ} = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$ eşitliğine göre birim dönüşümü yapıldığında, $Q_{yıl} = 18993,051 \text{ kWh}$ birim cinsinden de ifade edilebilir.

Birim (hacim ya da alan) başına düşen binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Q değeri aşağıda yer alan (14) eşitliğine göre yapılmıştır. Buradaki h değeri binanın bir katına ait yüksekliği ifade etmektedir.

$$h \leq 2,6 \text{ metre durumu için } Q = Q_{yıl} / A_n \quad (\text{kWh/m}^2) \quad (14)$$

$Q = Q_{yıl} / A_n = \frac{18993,051 \text{ kWh}}{2666,11 \text{ m}^2} = 71,37 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ olarak birim alan başına düşen binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunur.

TS 825 standardında yer alan ve Q' olarak ifade edilen bina için izin verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri; Tablo 4. ve Tablo 5. den $A_{top}/V_{brüt}$ oranları bağlı olarak seçilecek ya da hesaplanacaktır.

Tablo 4. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için Q' ısıtma enerjisi sınır değerleri [2].

		$A_{top}/V_{brüt} < 0,2$	$A_{top}/V_{brüt} > 1,05$	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	19,2	56,7	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1,DG}$	6,2	18,2	
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	38,4	97,9	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2,DG}$	12,3	31,3	
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	51,7	116,5	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3,DG}$	16,6	37,3	
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	67,3	137,6	$\text{kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4,DG}$	21,6	44,1	

Tablo 5. Bölgelere göre $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için Q' ısıtma enerjisi sınır değer hesaplama formülleri [2].

1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1.DG} = 44,1 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 10,4$ [kWh/m ² · yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1.DG} = 14,1 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 3,4$ [kWh/m ³ · yıl]
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2.DG} = 70 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 24,4$ [kWh/m ² · yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2.DG} = 22,4 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 7,8$ [kWh/m ³ · yıl]
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3.DG} = 76,3 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 36,4$ [kWh/m ² · yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3.DG} = 24,4 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 11,7$ [kWh/m ³ · yıl]
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4.DG} = 82,8 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 50,7$ [kWh/m ² · yıl]
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4.DG} = 26,5 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 16,3$ [kWh/m ³ · yıl]

Tasarımı yapılan yeşil binanın A_{top} olarak ifade edilen değeri bina kabuğunun taban yüzey alanı, tavan yüzey alanı ve yan yüzey alanı toplamıdır. Mimari proje üzerinden 588,93 m² olarak hesaplanmıştır.

$\frac{A_{top}}{V_{brüt}} = \frac{588,93}{831,60} = 0,7082$ olduğu için Tablo 4. den Q' değeri alınmamıştır. Tablo 5. den formül ile Q' değeri hesaplanacaktır. Ankara 3. Bölgede olduğu için Tablo 5. den seçilen Q' formülü yeşil binanın mimari projesinden alınan kat yüksekliği 2,6 metrenin altında olduğu için A_n ile ilişkili olan formül kullanılarak;

$$Q'_{3.DG} = 76,3 \cdot A_{top}/V_{brüt} + 36,4$$

$Q'_{3.DG} = 90,43$ kWh/m² · yıl olarak izin verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri bulunur.

Eğer $Q < Q'$ sonucu elde edilmiş olursa bina için yapılmış olan ısı yalıtımı TS 825 standardına uygundur. Yukarıda hesaplaması yapılan $Q=71,372$ kWh/m²·yıl binanın birim alan başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değeri için;

$71,372$ kWh/m²·yıl $< 90,43$ kWh/m² · yıl ($Q < Q'$) olup, yeşil bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerinin, izin verilen yıllık ısıtma enerjisi sınır değeri altında olduğu görülmektedir. Bina yalıtımı TS 825 standardına uygundur.

Binanın enerji verimliliği indeksi hesaplaması;

$$Q \leq 0,9999 \cdot Q' \text{ ise C tipi (Normal enerji verimli) bina } [71,372 \leq 90,4209]$$

$$Q \leq 0,90 \cdot Q' \text{ ise B tipi (İyi enerji verimli) bina } [71,372 \leq 81,3870]$$

$$Q \leq 0,80 \cdot Q' \text{ ise A tipi (Süper enerji verimli) bina } [71,372 \leq 72,3367]$$

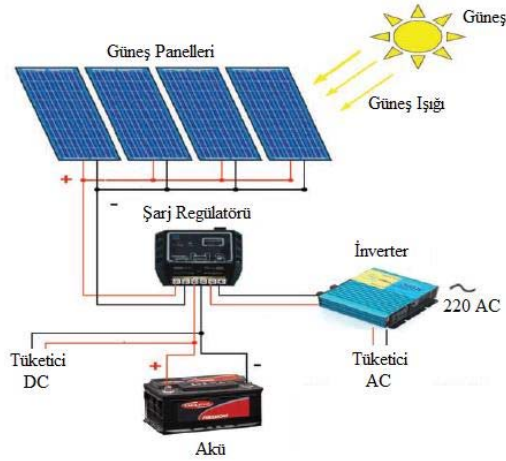
şeklinde yapılmıştır. Yeşil binanın A tipi (Süper enerji verimli) bina sınıfında tasarımı yapılmıştır.

3.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Hesaplamaları

Güneş Paneli Sistemi tasarımında; öncelikle yıllık ortalama ışınım değeri (Wh/m²) ve günlük ortalama güneşlenme süresi (h) ile güneş paneli sisteminin yapılacağı yeşil evdeki kullanılacak elektrikli cihazların günlük ortalama tüketim (yük) değerlerinin (Wh) belirlenmesi gerekmektedir.

Fotovoltaik sistemler; şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilir. Yeterli sayıda fotovoltaik modülün, enerji kaynağı olarak kullanılması şebekeden bağımsız sistemlerde görülen uygulamadır. Güneşin yetersiz olduğu veya bulunmadığı zamanlarda genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Fotovoltaik modüller; gün içerisinde ürettiği elektrik enerjisini akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır.

Şekil 2. de şebekeden bağımsız sisteme ait (off grid) fotovoltaik hücrelerin ve diğer sistem elemanlarının genel çalışma düzeni gösterilmiştir.



Şekil 2. Fotovoltaik güneş paneli sistemi - off grid [3].

Yeşil Binada kullanılan cihazların elektrik tüketim değerleri ve aydınlatma için harcanan elektrik enerjisi bilgileri Tablo 6. da gösterilmiştir. Cihazların elektrik tüketim değerleri piyasadaki yüksek enerji verimli üretici firmalarının tüketim değerleri göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Yeşil Binada kullanılan cihazlar ile aydınlatma armatürlerinin elektrik tüketim değerleri

Cihaz	Cihaz adedi	Günlük Çalışma Süresi (saat)	Saatlik Tüketimi (Wh)	Günlük Tüketimi (kWh/gün)
Buzdolabı	1	8	86,30	0,6904
Bulaşık Makinası	1	3,5	262,8571	0,92
Çamaşır Makinası	1	1	790,90	0,6909
Fırın	1	1	810	0,81
Elektrik Süpürgesi	1	1	900	0,90
Ütü	1	0,5	1200	1,20
Televizyon	2	8	220	0,88
Bilgisayar (dizüstü)	3	9	204,75	0,6142
Bina İç Aydınlatma	12	7	174	1,2180
Bina Dış Aydınlatma	7	12	42	0,5040
HKIP İç Ünite	7	4	300	1,2
HKIP Dış Ünite	1	4	5490	21,96
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	1	8	4808	38,47

Yeşil Bina iç aydınlatmasında 1521 lm ve 14,5 W kapasiteli olan enerji tasarruflu 12 adet led ampul kullanılmıştır. Çevre(dış) aydınlatmada ise 470 lm ve 6 W kapasiteli enerji tasarruflu 7 adet led ampul kullanılmıştır. Toprak kaynaklı ısı pompası(TKIP) ve hava kaynaklı ısı pompası(multi split klima sistemi) aynı anda kullanılmayacaktır. TKIP(Toprak Kaynaklı Isı Pompası) sistemi kış sezonunda 7 ay içinde yaklaşık 1500 saat kullanılacaktır. Multi split klima sistemi ise yaz aylarında yaklaşık 360 saat iklimlendirme amacıyla kullanılacaktır. Bir günde ısı pompalarının harcadığı elektrik tüketim değeri; $(4808 \text{ watt} \times 1500 \text{ saat})/365 \text{ gün} + (5790 \text{ watt} \times 360 \text{ saat})/365 \text{ gün} = 25469,59 \text{ Wh/gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Yeşil binadaki Tablo 6. da yer alan; diğer elektrikli cihazlar ile aydınlatma armatürlerinin günlük harcadığı elektrik enerjisi 8427,5 Wh/gün değerindedir.

Bu durumda yeşil binada bir günde 25469,59 Wh/gün + 8427,5 Wh/gün = 33897,092 Wh/gün olan bina elektrik tüketim değerinin fotovoltaik panellerden üretilen elektrik enerjisi ile karşılanması gerekmektedir.

Ankara ilinin yıllık ortalama güneşlenme miktarı 1589,74 kWh/m²-yıl değerindedir. Ankara ilinin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2611,58 saat/yıl'dır [4]. Günlük güneşlenme süresi ortalama 7,1550 saat değerindedir [5].

Güneş panelinin (1 adet) günlük ürettiği enerji miktarı (E_{GP}); Tablo 7. de belirtilen 330 W güneş panel güç değeri (P_{GB}) ve 7,1550 saat günlük güneşlenme süresi ($t_{g,s}$) değeri göz önüne alınarak (15) eşitliğine göre yapılmıştır [6].

$$E_{GP} = P_{GB} \cdot t_{g,s} \quad (\text{adet}) \quad (15)$$

$$E_{GP} = P_{GB} \cdot t_{g,s} = 330 \text{ W} \cdot 7,1550 \text{ saat/gün} = 2361,10 \text{ Wh/gün} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Güneş panel sistem verimi değeri (η_{sis}); panel üretici kataloğundan alınan 0,97 güneş panel verimi değeri de göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

$$\eta_{sis} = \eta_{GP} \cdot \eta_{Akü} \cdot \eta_{inv} = 0,97 \cdot 0,75 \cdot 0,96 = 0,6984$$

Yeşil binada kullanılacak güneş panel sayısı (PS); bina günlük elektrik tüketim ($E_{g,e,i}$) 33,8971 kWh/gün miktarı, sistem verimliliği (η_{sis}), Ankara ilinin günlük güneşlenme süresi ($t_{g,s}$) ve güneş panelinin (1 adet) günlük ürettiği enerji miktarı (E_{GP}) değerleri göz önüne alınarak aşağıda yer alan (16) eşitliğine göre yapılmıştır [6].

$$PS = \frac{E_{g,e,i} / \eta_{sis}}{E_{GP}} \quad (\text{adet}) \quad (16)$$

$$PS = \frac{33,8971 \text{ kWh/gün} : 0,6984}{2,3611 \text{ kWh/gün}} = 20,55 \sim 20 \text{ adet} \text{ olarak panel sayısı belirlenmiştir.}$$

Yeşil Binanın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kullanılacak fotovoltaik (PV) panele ilişkin teknik parametreler Tablo 7. de sıralanmıştır.

Tablo 7. Yeşil Bina tasarımında kullanılan PV panelin (1 adet) parametreleri

Maksimum güç P_{max} (W)	330 W
Maksimum güç voltajı V_{mp} (V)	58 V
Maksimum güç akımı I_{mp} (A)	5,70 A
Açık devre voltajı V_{oc} (V)	69,7 V
Kısa devre akımı I_{sc} (A)	6,07 A
Maksimum sistem voltajı (V)	1000 V
Panel yüksekliği (mm)	1590 mm
Panel genişliği (mm)	1053 mm

Yeşil Binanın günlük elektrik enerjisinin akü (batarya)'dan sağlanacağı süre 1 gün olarak düşünülmektedir. Bu şekilde fotovoltaik panellerden elektrik enerjisi üretimi olmadan 1 gün süreyle bataryada

depolanan elektrik enerjisi kullanılarak yeşil binanın elektrik ihtiyacı karşılanacaktır. Akü (batarya) sayısı (17) eşitliğine göre yapılmıştır [6].

$$A.S. = \frac{E_{g,e,i} \cdot A_k \cdot D_s \cdot A_{sıc}}{V_a \cdot K_a} \quad (\text{adet}) \quad (17)$$

(17) eşitliğinde A_k batarya deşarj oranını (genellikle 0,5 alınır), D_s (gün) depolama süresini ve $A_{sıc}$ akü sıcaklık katsayısını (tablolardan 1,16 alınır) ifade etmektedir.

$$A.S. = \frac{33,8971 \cdot 10^3 \text{ Wh/gün} \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,16}{12 \text{ V} \cdot 190 \text{ A}} = 8,62 \sim 8 \text{ adet olarak akü sayısı belirlenmiştir.}$$

Aküyü aşırı şarjdan ve elektrik boşalmasından korumak için elektronik bir şarj regülatörü kullanılması şarttır. Kurulan bir fotovoltaik panel sisteminde maksimum verim alabilmek için maksimum güç sağlayıcılarının (MPPT) kullanılması gerekmektedir. MPPT şarj regülatörleri kullanılan akünün tam dolu olmasını da sağlamaktadır [3]. Şarj regülatörü kapasitesi-adedi (Ş.R.K.) aşağıda yer alan (18) eşitliği ile hesaplanmıştır [6].

$$\text{Ş. R. K.} = \frac{I_{mp} \cdot PS}{I_R} \quad (\text{adet}) \quad (18)$$

(18) eşitliğinde I_{mp} (A) PV panel (1 adet) akımını ve I_R (A) şarj regülatörünün (1 adet) giriş akımını ifade etmektedir.

$$\text{Ş.R.K.} = \frac{5,7 \text{ A} \cdot 20 \text{ adet}}{40 \text{ A}} = 2,85 \sim 3 \text{ adet olarak şarj regülatör sayısı belirlenmiştir.}$$

Yeşil Binada kullanılan elektrikli cihazlar 220 V ve 50 Hz alternatif akımla çalışmaktadır. Ama fotovoltaik sistemde güneş ışığından üretilen elektrik 12 volt doğru akımdır [3]. Fotovoltaik sistemle üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi için inverter gereklidir. İnverter kapasitesi (İ.K.) hesabı (19) eşitliğine göre yapılmıştır [6].

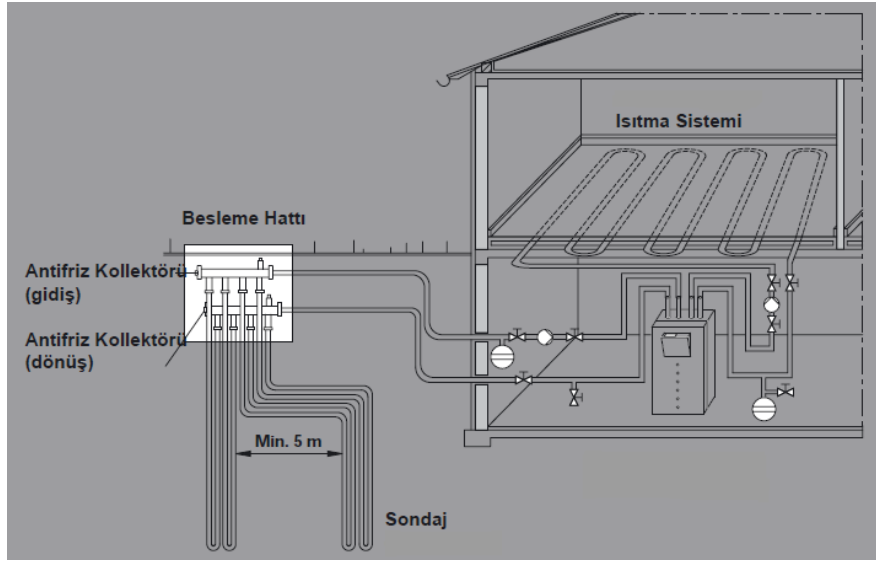
$$\text{İ.K.} = \text{Panel Sayısı} \times \text{Bir PV Panelin Üreteceği Güç} \quad (\text{watt}) \quad (19)$$

İ.K. = 17 x 330 W = 5610W inverter kapasitesi bulunmuştur, üretici firma kataloglarından 6000W kapasiteli inverter PV panel sistemi için seçilmiştir.

3.3. Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası (DTKIP) Tasarımı ve Hesaplamaları

Toprak kaynaklı ısı pompaları, buharlaştırıcısında topraktan çekilen ısıyı kullanan ısı pompalarıdır. Toprakla olan ısı alış-verişi toprağa yatay veya dikey olarak gömülmüş "toprak ısı değiştiricisi" ile gerçekleştirilir. Toprak altına gömülen borulardan salamura (antifrizli-su) geçirilir [7].

Toprağı ısı kaynağı olarak kullanan ısı pompası sistemlerinin en önemli bileşeni; toprağa döşenen ısı değiştiricileridir. Boruların toprak altına yerleşiminde kullanılan ölçüler ve boru boyları bu tip ısıtma sisteminin en önemli parametreleridir [7]. Şekil 3. de dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası sistemi [8].

Yeşil Bina ısı kaybı değeri 17232,15 W ve sıcak su(°C) ihtiyacı için boiler kapasitesi 10600 W olarak tespit edilmiştir. Bu durumda binanın toplam ısıtma yükü 27832,15 W değeri göz önüne alınarak ısıtma sisteminde kullanılacak dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma kapasitesi 29,2 kW olarak üretici firma kataloğundan belirlenmiştir.

Isıtma modunda kullanılacak DTKIP toplam ısı değıştircisi boru uzunluğu (20) ve (21) eşitliklerine göre belirlenmektedir [9].

$$\frac{572 \left[\frac{COP_I - 1}{COP_I} \right] \cdot [R_{bd} + (R_t \cdot F_I)]}{(T_I - T_{min}) [^{\circ}C]}$$

$$L_{Isıtma} = \quad \quad \quad (m) \quad (20)$$

$$L_{Isıtma} \frac{Q_{Isıtma}}{3,515 \text{ kW}}$$

$$\Sigma L_{Isıtma} = \quad \quad \quad (m) \quad (21)$$

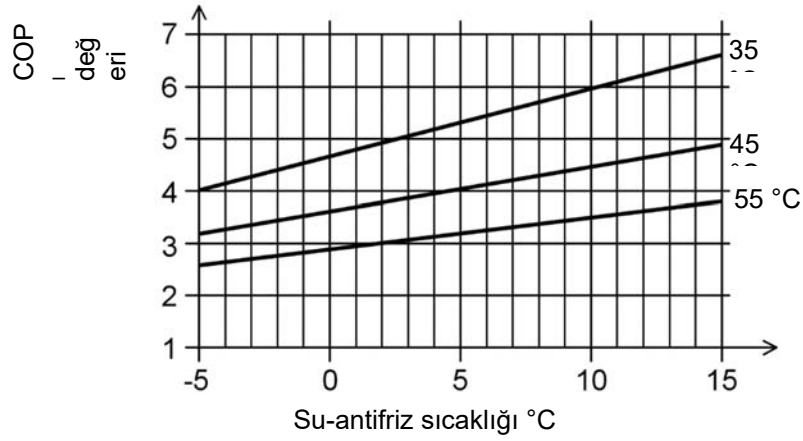
(20) ve (21) eşitliklerindeki; 3,515 kW ısıtma kapasitesi için gerekli toprak ısı değıştircisi boru uzunluğu ($L_{Isıtma}$, m), hesaplaması yapılan bina ısıtma yükünü karşılamak için gerekli olan toplam toprak ısı değıştircisi boru uzunluğu ($\Sigma L_{Isıtma}$, m), seçilen DTKIP cihazının ısıtma tesir katsayısı (COP_I , birimsiz), boru direnci (R_{bd} , m°C/W), toprak direnci (R_t , m°C/W), çalışma faktörü ısıtma modu için (F_I birimsiz), düşük toprak sıcaklığı (T_I , °C), cihaza giren minimum su tasarım sıcaklığı (T_{min} , °C) ve yeşil binanın toplam ısıtma yükü ($Q_{Isıtma}$, kW) olarak ifade edilmektedir.

Seçilen ısı pompasının teknik özellikleri Tablo 8. de belirtilmiştir.

Tablo 8. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası üretici katalog teknik özellikleri

Isı Pompası Modeli	BW 226
Isıtma Kapasitesi	29,2 kW
Primer devre (toprak ısı değiştiricisi tarafı) minimum su debisi	7,2 m ³ /h
Sekonder devre (ısıtma suyu tarafı) minimum su debisi	2,4 m ³ /h
Primer devre antifrizli su giriş sıcaklığı	4,2 °C
Sekonder devre ısıtma gidiş suyu sıcaklığı	55 °C
Isıtma tesir katsayısı COP₁	3,2

Seçilen ısı pompasının primer devre antifriz su sıcaklığı ve sekonder devre ısıtma gidiş suyu sıcaklık değerlerine göre üretici firmanın ısıtma tesir katsayısı (COP₁) değişimi grafiği Şekil 3. de gösterilmiştir.

**Şekil 3.** Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası COP₁ değeri değişimi, üretici firma grafiği [11].

Isıtma tesir katsayısı (COP₁) değeri; aşağıda hesaplaması yapılan 4,2 °C primer devre (toprak ısı değiştiricisi tarafı) antifrizli su giriş sıcaklığı ve 55 °C sekonder devre ısıtma gidiş suyu sıcaklığı göz önüne alınarak Şekil 3. de yer alan üretici firma grafiğinden 3,2 olarak tespit edilmiştir.

Yeşil bina tasarımında kullanılan DTKIP sisteminde; PE SCH40 iki borulu 1 1/2" çaplı toprak ısı değiştiricisi kullanılacaktır. 1 1/2" çap için ağır kuru toprak veya hafif(yumuşak) nemli toprak tipinin R_t toprak direnci 0,94 olarak tespit edilmiştir [9].

PE SCH40 iki borulu 1 1/2" çaplı toprak ısı değiştiricisinin Tablo 9. da 1 1/2" çap ve PE SCH40 boru malzemesi için R_{bd} boru direnci 0,080 olarak seçilmiştir. Tablo 9. da R_b olarak verilen değerler yatay dōřenen, R_{bd} olarak verilen değerler ise dikey dōřenen toprak ısı değiştiricisi boru direnç değerleridir.

Tablo 9. R_{bd} boru direnci değerleri [9]

		R _b R _{bd}			
		PE SCH 40	PE SDR-11	PB SDR-17	PB SDR-13.5
BORU ÇAPı (inch)	3/4	0.17 .116			
	1	.159 .109			
	1-1/4	.130 .089	.144 .096	0.16 0.11	0.20 0.14
	1-1/2	.117 .080			
	2	.098 .068			

T_m ortalama yıllık toprak sıcaklığı (22) eşitliğine göre belirlenmektedir [9].

$$T_m = T + 1,1 \quad (^\circ\text{C}) \quad (22)$$

Ankara ili için ortalama hava sıcaklığı (yıllık) MGM verilerinden T=11,9 °C olarak alınmıştır [10].

T_m = T + 1,1 = 11,9 + 1,1 = 13 °C olarak hesaplanmıştır.

TI düşük toprak sıcaklığı değeri (23) eşitliğiyle hesaplanmaktadır [9].

$$T_I = T_m - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (^\circ\text{C}) \quad (23)$$

TI düşük toprak sıcaklığı değeri; yıllık ortalama toprak sıcaklığı (T_m) değerinden, deneyimler sonucu tercih edilen 3,3°C -8,25°C aralığında olan toprak sıcaklığı değişim (TSD) değerinin çıkarılmasıyla TI değeri tespit edilmektedir. TSD değeri (23) nolu eşitlikte 3,3°C olarak alınmıştır.

$$T_I = T_m - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} = 13 \text{ } ^\circ\text{C} - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} = 9,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

T_{min} cihaza giren antifrizli-su sıcaklığı değeri (24) eşitliği ile belirlenmektedir [9].

$$T_{\min} = T_m - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} - \Delta T \quad (^\circ\text{C}) \quad (24)$$

T_{min} cihaza giren antifrizli-su sıcaklığı değeri; yıllık ortalama toprak sıcaklığı (T_m) değerinden ısıtma modu için 3,3°C olarak alınan toprak sıcaklığı değişim (TSD) değerinin, ΔT olarak 5,5°C değerinin - düşük toprak sıcaklığı (TI) ile toprak serpantini içinde dolaşan antifrizli-su arasında ısı transferi oluşturmak için seçilen sıcaklık farkı ΔT'nin- çıkarılmasıyla T_{min} yani ısı pompası toprak ısı değiştiricisine giren antifrizli-su sıcaklık değeri tespit edilmektedir.

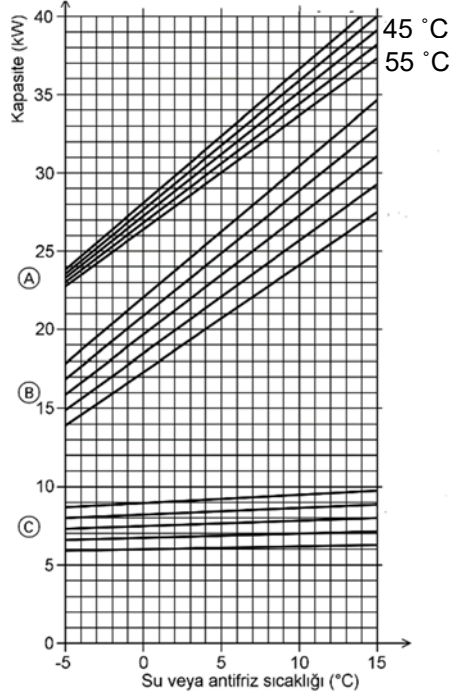
$$T_{\min} = T_m - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} - \Delta T = 13 \text{ } ^\circ\text{C} - 3,3 \text{ } ^\circ\text{C} - 5,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 4,2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

F₁ çalışma faktörü (25) eşitliğiyle belirlenmektedir [9].

$$F_1 = \frac{\text{Ortalama Isı Kaybı(kW)}/\text{Çalışma Saati}}{\text{Isı Pompası Isıtma Kapasitesi (kW)}} \quad (\text{birimsiz}) \quad (25)$$

Binanın ısı kaybı 17232,15 W ve sıcak su sıcak su ihtiyacı için boiler kapasitesi 10600 W değerinden oluşan toplam ısıtma yükü 27832,15 W değeri, ortalama ısı kaybı olarak alınmıştır.

Isı pompasının ısıtma sezonunda günlük çalışma süresi ortalama 8 saat olarak alınmıştır. Isı pompası kapasitesine ilişkin üretici firma verileri Şekil 4. te yer almaktadır.



Şekil 4. BW 226 model DTKIP'na ait üretici kapasite değerleri [11].

Şekil 4.'te $T_{\min} = 4,2$ °C (antifrizli su sıcaklığı) ve 55 °C olan sekonder (ısıtma hattı) sıcak su sıcaklığı değerleri için DTKIP kapasite değeri 29,2 kW alınmıştır. Bu durumda F_1 çalışma faktörü (25) eşitliği ile aşağıda belirlenmiştir.

$$F_1 = \frac{\text{Ortalama Isı Kaybı} - \text{ısıtma yükü (kW)} / \text{Çalışma Saati}}{\text{Isı Pompası Isıtma Kapasitesi (kW)}} = \frac{27,8321 \text{ kW} / 8}{29,2 \text{ kW}}$$

$F_1 = 0,1191$ olarak bulunur.

Isıtma modunda kullanılacak DTKIP toplam ısı değiştiricisi boru uzunluğu yukarıda yer alan (20) ve (21) eşitlikleri göz önüne alınarak,

$$- L_{\text{ısıtma}} = \frac{572 \left[\frac{\text{COP}_I - 1}{\text{COP}_I} \right] \cdot [R_{bd} + (R_t \cdot F_1)]}{(T_I - T_{\min}) [^\circ\text{C}]} = \frac{572 \left[\frac{3,2 - 1}{3,2} \right] \cdot [0,080 + (0,94 \cdot 0,1191)]}{(9,7 - 4,2) [^\circ\text{C}]} = 13,72 \text{ m (3,5 kW ısıtma kapasitesi için)}$$

$$- \Sigma L_{\text{ısıtma}} = \frac{Q_{\text{ısıtma}}}{3,515 \text{ kW}} \cdot L_{\text{ısıtma}} [\text{m}] = \frac{27,8321 \text{ kW}}{3,515 \text{ kW}} \cdot 13,7247 \text{ m}$$

$\Sigma L_{\text{ısıtma}} = 108,67 \text{ m}$ olarak toprak ısı değiştiricisi boru uzunluğu bulunmuştur.

Tek U-bükme çevrimde her sondajda iki boru kullanılmaktadır [9]. Tasarımı yapılan yeşil binada 2 sondaj yapıp toplam 4 boru kullanılacaktır. Bu durumda;

- Sondaj derinliği = $\frac{108,67 \text{ m}}{4} = 27,16 \sim 28$ metre olarak bulunur.

- Toprak ısı değiştiricisi olarak 1 1/2" (Ø50) aplı polietilen-40(PE-40) boru 28 metre derinlikte tek U-bükme çevrim olarak kullanılacaktır.

Boruların yerleşimi için 2 sondaj yapılacak ve sondaj derinliği de 28 metre olacaktır. Sondaj apları Tablo 10. ile belirlenmektedir [9].

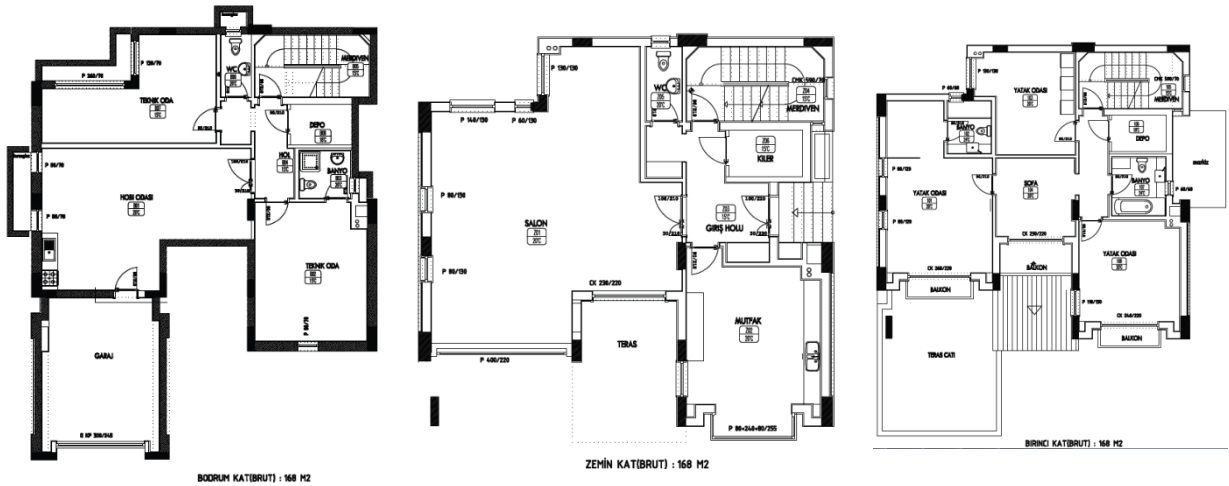
Tablo 10. Sondaj için minimum çap değerleri [9].

SONDAJ İÇİN MİNİMUM ÇAP		
Boru apı	Tek U-bükme	ift U-bükme
3/4"	3 1/4"	4 1/2"
1"	3 1/2"	5 1/2"
1 1/4"	4"	5 3/4"
1 1/2"	4 3/4"	6"
2"	6"	7"

-Boruların yerleşimi için dikey olarak 2 adet tek U-bükme şeklinde yapılacak sondaja ait Tablo 10. dan (1 1/2" aplı PE-40 toprak ısı değiştiricisi boru için) toprağa açılacak her bir sondaja ait çap değeri 4 3/4" olarak seçilir. Yeterli bir ısı transferi sağlamak için açılan 2 sondaj kuyusu arasında 6 m boşluk bırakılacaktır.

3.4. Yeşil Binanın Isı Kaybı ve Isı Kazancı Hesaplamaları

Yeşil binanın kat planları Şekil 5. de gösterilmiştir. Binanın ısı kaybı TS 2164 ve IDS (Isıtma Derece-Saat) yöntemleri ile hesaplanıp bulunan ısıtma yükü değerleri karşılaştırılmış ve her iki yöntemle bulunan sonuçların ortalaması ısıtma yükü olarak alınmıştır. Bina ısı kazancı ise CLTD/SCL/CLF (Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı/Güneş Soğutma Yükü/Soğutma Yükü arpanı) ve Işınım Zaman Serisi (Radiant Time Series-RTS) yöntemleri ile hesaplanmıştır.



Şekil 5. Binanın kat planı çizimleri

3.4.1. Bina Isı Kaybı Hesaplaması (TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Yöntemi)

TS2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kurallarına göre ısı kaybı hesaplaması iki aşamada yapılacaktır. İlk olarak ısı kaybına ilişkin veriler belirlenecektir, veri toplama işlemi kabuller ve seçimleri içerecektir. İkinci aşamada toplanan bu veriler göz önüne alınarak yapı bileşenlerinden olan ısı

kayıbı(transmisyon) ile hava sızıntı ısı kaybı (enflitrasyon) ayrı ayrı hesaplanarak toplamları mahallin(odanın) ısı kaybı değerini oluşturacaktır.

Isı kaybı hesaplamasında birinci aşama da belirlenecek veriler şunlardır; Ankara ili için dış sıcaklık ve rüzgâr durumu bilgisi TS 2164 Ek III.1'den -12 °C Rüzgârlı olarak alınmıştır. Tasarımı yapılan yeşil binanın ısıtılacak odalarına ait iç hava sıcaklık değerleri TS 2164 Ek III.2'den alınarak aşağıdaki Tablo 11. de belirtilmiştir.

Birinci aşama kapsamında ısı kaybı hesaplaması için belirlenecek diğer önemli veri ise artırımlar (zamlar)'dır. Bunlar birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_D), yön artırım katsayısı (Z_H) ve kat yükseklik artırım katsayısı (Z_w) şeklindedir. Birleştirilmiş artırım katsayısı (Z_D) değeri TS 2164 Ek III.7'den, ısıtma sisteminin çalıştırılmasında verilen araya göre tanımlanan işletme durumuna göre seçilmektedir. Yön artırım katsayısı (Z_H) değeri TS 2164 Ek III.8'den bir dış duvarı olan odalar için dış duvarın baktığı yön, iki dış duvarı olan odalar için köşegenin yönü esas alınarak eğer ikiden fazla dış duvara sahip olan oda ise en yüksek yön zammı esas alınarak seçilmektedir. Kat yükseklik artırım katsayısı (Z_w) belli kat yüksekliğinden sonra artan rüzgâr etkisine bağlı olarak üst katlarda hava sızıntı ısı kaybı ve taşınım katsayısı artar ayrıca dik olan kolon tesisat borularında ısı kaybı dolayısıyla su sıcaklığı düşmesine bağlı olarak üst kat radyatörlerinde verim düşmektedir bu oluşan olumsuz etkileri karşılamak için TS 2164 Ek III.9'dan yararlanarak kat yükseklik artırım kat sayısı (Z_w) değeri de ısı kaybı hesaplanan oda (mahal) için seçilmektedir.

Tablo 11. Tasarımı yapılan yeşil bina odalarının iç sıcaklık değerleri

Mahal (Oda) Numarası	Mahal Adı	İç Hava Sıcaklık Değerleri (°C)	Mahal (Oda) Numarası	Mahal Adı	İç Hava Sıcaklık Değerleri (°C)
B01	Hobi Odası	20	Z05	WC	20
B02	Teknik Oda	15	Z06	Kiler	15
B03	Banyo	24	101	Yatak Odası	20
B04	Depo Odası	18	102	Banyo	24
B05	Merdiven	15	103	Yatak Odası	20
B06	WC	20	104	Sofa	20
B07	Teknik Oda	15	105	Merdiven	15
Z01	Salon	20	106	Depo	18
Z02	Mutfak	20	107	Banyo	24
Z03	Giriş Holü	15	108	Yatak Odası	20
Z04	Merdiven	15	-	-	-

Isı kaybı hesaplamasında ikinci aşamada; yukarıda açıklandığı üzere toplanan veriler dikkate alınarak ısı kaybı hesaplamaları yapılır. Tablo 12. de hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin ısıtma yükü için öncelikle artırımsız (zamsız) ısı kaybı(Q_0) hesabı (26) eşitliği göz önüne alınarak yapılmıştır. U ısı geçiş katsayılarının değerleri Tablo 1. den alınmıştır.

$$Q_0 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (W) \quad (26)$$

103 nolu yatak odasının; artırımsız yapı bileşenlerinden olan ısı kaybı $Q_0 = 474,04$ W olarak Tablo 12. de hesaplanmıştır. 103 nolu yatak odası mahallinin yapı bileşenlerinden olan ısı kaybı (Q_i) hesaplaması ise artırımsız ısıtma yükü(Q_0) değerine artırımlar eklenerek (27) eşitliğinde belirtilen şekilde yapılmıştır.

$$Q_i = Q_0 \cdot (1 + \%Z_D + \%Z_H + \%Z_w) \quad (W) \quad (27)$$

103 nolu yatak odası mahallinin yapı bileşenlerinden olan ısı kaybı $Q_i = 530,93$ W olarak Tablo 12. de hesaplanmıştır.

Isı kaybı hesaplamasında ikinci aşamasındaki diğer hesaplama da hava sızıntı (enfilitrasyon) ısı kaybı hesaplamasıdır. Hava sızıntı ısı kaybı (Q_s) değeri (28) eşitliğine göre yapılmıştır.

$$Q_s = \Sigma a \cdot L \cdot R \cdot H \cdot Z_e \cdot \Delta T \quad (W) \quad (28)$$

Tablo 12. de hava sızıntı (enfilitrasyon) ısı kaybı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinde; a sızdırganlık değeri için TS 2164 Ek III.10 tablosundan yararlanılarak yeşil bina tasarımında kullanılan plastik çerçeveli çift camlı pencereye karşılık gelen değer bu tablodan seçilmiştir. L değeri ise odadaki dışarıya açılan pencere ve/veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğunu ifade etmekte olup mimari projeden ölçülerek alınan uzunluk değeri Tablo 12. de hava sızıntı ısı kaybı hesaplamasında kullanılmıştır. R değeri oda durum katsayısını ifade etmektedir, odanın içine giren havanın akıp gidebilme durumunu belirtir. Çoğu halde pencereler vasıtası ile içeri sızan hava iç kapılardan dışarı sızar ve en olumsuz halde odaya giren hava kadar hava dışarı sızar. R katsayısının tam olarak hesabı imkânsızdır. R oda durum katsayısı TS 2164 Ek III.12 tablosundan yararlanılarak yeşil bina tasarımında normal ebatta pencere ve iç kapı kullanıldığı için Tablo 12. de görüldüğü üzere 103 nolu yatak odası mahalli için $R=0,9$ alınmıştır. H bina durum katsayısı TS 2164 Ek III.13 tablosundan Ankara ili rüzgârlı durum bilgisi, yeşil binanın mimari proje vaziyet planında da görülen tek ev ve serbest durum bilgisi bu tablodan seçilerek H bina durum katsayısı 0,97 olarak belirlenmiştir. Z_e köşe pencere zammı değeri de hava sızıntı ısı kaybında kullanılan diğer bir değer olup hesap yapılan odanın dışa bakan her iki duvarında(ve üstü) pencere var ise 1,2 olarak alınır. Eğer hesap yapılan odanın sadece bir duvarında pencere varsa Z_e köşe pencere zammı değeri 1 olarak alınır. Hava sızıntı ısı kaybındaki son değer olan ΔT ise hesap yapılan odanın iç hava sıcaklık değeri(konfor sıcaklığı) ile dış ortam sıcaklık değeri arasındaki farktır. Tablo 12. de hava sızıntı (enfilitrasyon) ısı kaybı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallindeki iç hava sıcaklık değeri 20°C ile dış ortam sıcaklık değeri -12°C arasındaki sıcaklık farkı $\Delta T= 32^\circ\text{C}$ olarak belirtilmiştir. 103 nolu yatak odasının; hava sızıntı (enfilitrasyon) ısı kaybı $Q_s = 290,53$ W olarak Tablo 12. de hesaplanmıştır.

Isı kaybı yapılan odanın toplam ısı yükü (Q_h) değeri; yapı bileşenlerinden olan ısı kaybı (Q_i) ve hava sızıntı (enfilitrasyon) ısı kaybı (Q_s) toplanarak elde edilir.

$$Q_h = Q_i + Q_s \quad (W) \quad (29)$$

103 nolu yatak odasının; toplam ısı yükü $Q_h = 821,47$ W olarak Tablo 12. de hesaplanmıştır.

**Tablo 12.** Yatak O. 103 nolu odaya ait TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Yöntemi ile hesaplanan ısı kaybı tablosu

Projeyle İlişkin Ada No: 488				Parsel No: 4				Proje Dış Sıcaklığı: -12°C Rüzgârlı				Sayfa No:				
Yapı Özelliği				ISI KAYBI HESABI								Kat No:			1. Kat	
20°C - Yatak O. 103												Tesisatın Cinsi			Isıtma	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ALAN HESABI								ISI KAYBI HESABI				ARTIRIMLAR				
Yapı bileşeni işareti	Yönü	Kalınlığı	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam alan	Miktar	Çıkarılan alan	Hesaba giren alan	Toplam ısı geçiş katsayısı	Sıcaklık farkı	Zamsız ısı kaybı	Birleştirilmiş artırım katsayısı	Yön artırımı katsayısı	Kat yükseklik artırım katsayısı	Toplam artırım katsayısı	Toplam ısı ihtiyacı
		cm	m	m	m ²	tane	m ²	m ²	W/m ² K	°C	W	Z _D	Z _H	Z _W	Z	Q _h =Q _i +Q _s
								A	U	ΔT	Q _o	%	%	%	%	W
ÇP	B	-	1,3	1,3	1,69	1	-	1,69	2,1	32	113,568					
DD	B	35	2,25	2,9	6,525	1	1,69	4,835	0,305	32	47,1896					
DD	K	35	4,45	2,9	12,91	1	-	12,91	0,305	32	125,9528					
Ta	-	44	-	-	17,27	1	-	17,27	0,289	23	114,7605					
İK	D	-	0,9	2,1	1,89	1	-	1,89	2	5	18,9					
İD-15	D	15	4,5	2,55	11,48	1	1,89	9,585	1,12	5	53,676					
											474,0469	7	5	0	1,12	
																q _i : 530,93
				a: 2		L: 5,2		R: 0,9		H: 0,97		ΔT: 32		Z _E : 1		
																Q _s : 290,53
																Q _h : 821,47

103 nolu yatak oda mahallinin Tablo 12. de hesaplanan ısı kaybı hesaplamasına benzer şekilde diğer odalarında hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 13. de ise tasarımı yapılan yeşil binanın, diğer mahallerinin TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Yöntemi ile hesaplanan ısı kaybı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 13. Yeşil Binanın TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Yöntemi ile hesaplanan mahal (oda) ısı ihtiyacı değerleri

Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Isı İhtiyacı(Q _h) kW	Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Isı İhtiyacı(Q _h) kW
B01	Hobi Odası	1,7220	Z05	WC	0,2590
B02	Teknik Oda	0,8545	Z06	Kiler	0,0428
B03	Banyo	0,4804	101	Yatak Odası	2,0620
B04	Depo Odası	0,1145	102	Banyo	0,6967
B05	Merdiven	0,2361	103	Yatak Odası	0,8215
B06	WC	0,3455	104	Sofa	1,0390
B07	Teknik Oda	1,2152	105	Merdiven	0,7041
Z01	Salon	3,8010	106	Depo	0,1268
Z02	Mutfak	2,3270	107	Banyo	0,5293
Z03	Giriş Holü	0,9239	108	Yatak Odası	2,2060
Z04	Merdiven	0,6269	TS 2164'e göre hesaplanan toplam ısı ihtiyacı:		21,13 kW

3.4.2. Bina Isı Kaybı Hesaplaması (IDS-Isıtma Derece Saat Yöntemi)

Isıtma Derece Saat (IDS) Yöntemi ile ısıtma yükü hesaplamasında; bir saatlik dış ortam sıcaklığı(T_d) ve ısıtma yükü hesaplanacak mahallin(odanın) ısıtma konfor sıcaklığı(T_b) arasındaki fark, saatlik olarak ısıtma uygulamalarında kullanılır. Isıtma sezonu Ankara ili için Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları olarak belirlenmiştir.

Isıtma Derece Saat Yöntemi (IDS) ile ısıtma yükü; (30), (31) ve (32) eşitlikleri ile yapılan hesaplamalarla belirlenmektedir [12].

$$IDS = (1 \text{ saatlik}) \sum_{\text{saatler}} (T_b - T_d)^+ \quad (^\circ\text{C/yıl}) \quad (30)$$

IDS (Isıtma derece – saat) değeri hesaplamaları; öncelikle Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen 2014-2018 yıllarına ait Ankara ilinin saatlik dış sıcaklık değerleri ortalaması alınarak ısıtma sezonu olarak yukarıda belirtilen ayların her bir saatine (toplam $n = 4320$ saat) ait dış sıcaklık değerleri (T_d) tespit edilmiştir. Mahal iç sıcaklıkları (T_b) 15°C , 18°C , 20°C ve 24°C için 30 nolu eşitlikle IDS-15, IDS-18, IDS-20 ve IDS-24 olarak Isıtma Derece Saat(IDS) değerleri hesaplanmış, Tablo 14. de hesaplama sonuçları verilmiştir.

Tablo 14. Ankara ili için ısıtma derece-saat(IDS) değerleri

Tb	IDS DEĞERLERİ (n:4320 saat)						Toplam
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	
IDS-15	1856,54	5145,9	9156,72	10240,94	6594,88	4983,805	37978,79
IDS-18	3450	7296,54	11388,72	12472,94	8610,88	7190,545	50409,63
IDS-20	4709,54	8736,54	12876,72	13960,94	9954,88	8678,545	58917,17
IDS-24	7612,04	11616,54	15852,72	16936,94	12642,88	11654,55	76315,67

$$Q_h = L \cdot IDS \quad (\text{Wh/yıl}) \quad (31)$$

(31) eşitliğinde; toplam yıllık ısıtma yükü (Q_h , Wh/yıl), ısı kaybı hesaplanan mahal için toplam ısı transfer katsayısı (L , Wh/ $^\circ\text{C}$) olarak ifade edilmektedir.

$$L = \sum_{j=1}^m U \cdot A + I \cdot (\rho \cdot C_p)_{\text{hava}} \cdot \frac{V}{3600} \quad (\text{Wh}/^\circ\text{C}) \quad (32)$$

(32) eşitliğinde; mahallin(odanın) ısının dışarıya kaybedildiği alanlar (m , adet), saatlik hava değişim oranı 0,5 ile 2 arasında alınabilmekte 1 olarak alınmıştır (I , sa^{-1}), havanın hacimsel ısı kapasitesi ($\rho \cdot C_p$, $1200 \text{ J/m}^3\text{K}$) ve mahallin(odanın) hacmi(V , m^3) olarak ifade edilmektedir.

(31) ve (32) eşitlikleriyle ifade edilen mahal yıllık ısıtma yükü, (33) eşitliğinde aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Tablo 15. de hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin ısıtma yükü (33) eşitliği göz önüne alınarak yapılmıştır.

$$Q_h = q_i + q_s = \sum_{j=1}^m K \cdot A \cdot IDS + I \cdot (\rho \cdot C_p)_{\text{hava}} \cdot \frac{V}{3600} \cdot IDS \quad (\text{Wh/yıl}) \quad (33)$$

Tablo 15. de 103 nolu yatak odası mahalli iç sıcaklığı (T_b) 20°C için ısıtma derece-saat değerinin $58917,17^\circ\text{C h}$ olduğu (yukarıda Tablo 14. de belirtildiği üzere) görülmektedir. Tablo 15. de Ta-tavan yapı bileşeni için 99360°C h olarak ısıtma derece-saat değeri alınmıştır. Sebebi bu yapı bileşeni dış havaya açık olmayıp çatı arasına komşudur çatı arası sıcaklığı TS 2164 Ek III.3'ten -3°C alınmış olup bu nedenle sıcaklık farkı $\Delta T = 23^\circ\text{C}$ için $23^\circ\text{C} \cdot 4320 \text{ saat} = 99360^\circ\text{C-h}$ olarak ısıtma derece-saat değeri elde edilmiştir. Benzer şekilde İK-iç kapı ve İD-15 iç duvar yapı bileşenleri içinde TS 2164 Ek III.2'den koridor mahalli sıcaklığı 15°C alınmış olup sıcaklık farkı $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ için $5^\circ\text{C} \cdot 4320 \text{ saat} = 21600^\circ\text{C-h}$ olarak ısıtma derece-saat değeri elde edilmiştir.

Tablo 15. Yatak O. 103 nolu odaya ait Isıtma Derece Saat (IDS) yöntemi ile hesaplanan ısı kaybı tablosu

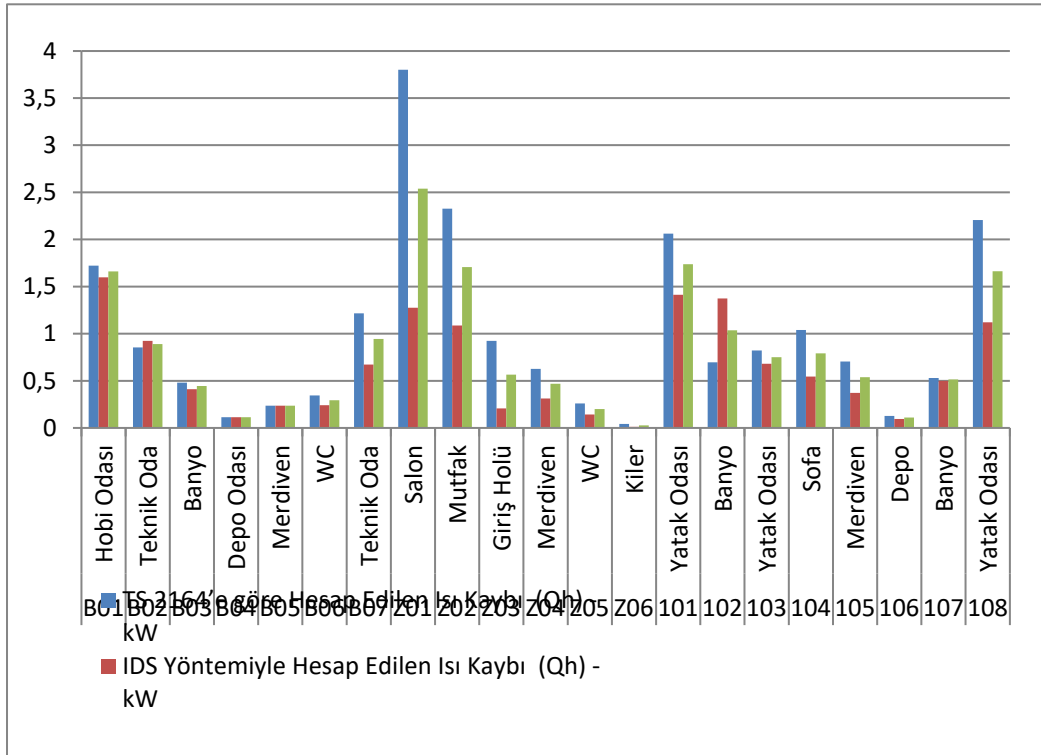
Projeve İlişkin Ada No: 488			Parsel No: 4			Proje Dış Sıcaklığı: -12°C Rüzgârı			Sayfa No:											
Yapı Özelliği			20°C - Yatak O. 103			ISİ KAYBI HESABI			Kat No:											
			ALAN HESABI			ISİ KAYBI HESABI			ARTIRIMLAR											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
Yapı bileşeni işareti		Yönü	Kalınlığı	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam alan	Miktar	Çıkarılan alan	Hesaba giren alan	Toplam ısı geçiş katsayısı	Isıtma Derece Saat	Zamsız yıllık ısıtma yükü	Birleştirilmiş artırım katsayısı	Yön artırımı katsayısı	Kat yükseklik artırım katsayısı	Toplam artırım katsayısı	Toplam yıllık ısıtma yükü	Toplam ısı ihtiyacı		
ÇP	B	-	1.3	1.3	1.69	1	-	1.69	2.1	58917,17	209097	Z _D	Z _H	Z _W	Z	q _h = q _l + q _s	q _h = $\frac{q_h}{4320 \text{ s.a.}}$			
DD	B	35	2,25	2,9	6,525	1	1,69	4,835	0,305	58917,17	86883,68	%	%	%	%	q _h	kW			
DD	K	35	4,45	2,9	12,91	1	-	12,91	0,305	58917,17	231899,5	%	%	%	%	q _h				
Ta	-	44	-	-	17,27	1	-	17,27	0,289	99360	495765,2	%	%	%	%	q _h				
İK	D	-	0,9	2,1	1,89	1	-	1,89	2	21600	81648	%	%	%	%	q _h				
ID-15	D	15	4,5	2,55	11,48	1	1,89	9,585	1,12	21600	1337174	7	5	0	1,12	q _h				
			l: 2			p 1.2			Cp: 1000			V: 44,03			IDS: 58917			t: 1/3600		
									q _s = (l*p*Cp*V*IDS) / (3600*1000)						q _s : 1441,04			q _h : 2938,675		
															0,6802					

103 nolu yatak oda mahallinin Tablo 15. de hesaplanan ısı kaybı hesaplamasına benzer şekilde diğer odalarında hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 16. da tasarımı yapılan yeşil binanın, diğer mahallerinin Isıtma Derece Saat (IDS) Yöntemi ile hesaplanan toplam ısı ihtiyacı değerleri gösterilmiştir.

Tablo 16. Yeşil Binanın ısıtma derece-saat (IDS) yöntemi ile hesaplanan mahal(oda) ısı ihtiyacı değerleri

Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Isı İhtiyacı(Q _h) kW	Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Isı İhtiyacı(Q _h) kW
B01	Hobi Odası	1,5977	Z05	WC	0,14
B02	Teknik Oda	0,9242	Z06	Kiler	0,01
B03	Banyo	0,4102	101	Yatak Odası	1,41
B04	Depo Odası	0,1145	102	Banyo	1,37
B05	Merdiven	0,2361	103	Yatak Odası	0,68
B06	WC	0,2412	104	Sofa	0,54
B07	Teknik Oda	0,6725	105	Merdiven	0,37
Z01	Salon	1,2753	106	Depo	0,09
Z02	Mutfak	1,0864	107	Banyo	0,50
Z03	Giriş Holü	0,2068	108	Yatak Odası	1,12
Z04	Merdiven	0,3117	IDS yöntemiyle hesaplanan toplam ısı ihtiyacı:		13,33 kW

Tasarımı yapılan yeşil binanın ısı kaybı hesaplamasına ilişkin; TS 2164'e göre hesaplanan mahal ısı ihtiyacı değerleri, ısıtma derece-saat (IDS) yöntemiyle hesaplanan mahal ısı ihtiyacı değerleri ve her iki yöntemin ortalaması alınarak bulunan mahal ısı ihtiyacı değerleri Tablo 17. de, ayrıca Şekil 6. da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Tasarımı yapılan yeşil bina odalarının; TS 2164'e göre hesap edilen, ısıtma derece-saat(IDS) yöntemine göre hesap edilen ve ortalama ısı kaybı değerleri

Tablo 17. Tasarımı yapılan yeşil binanın TS 2164, ısıtma derece-saat (IDS) ve ortalama ısı kaybı değerleri

Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	TS 2164'e göre Hesap Edilen Isı Kaybı	IDS Yöntemiyle Hesap Edilen Isı Kaybı	İki Yöntemin Ortalaması Alınarak Hesap Edilen Isı Kaybı
		(Q _h) kW	(Q _h) kW	(Q _h) kW
B01	Hobi Odası	1,7220	1,5977	1,6599
B02	Teknik Oda	0,8545	0,9242	0,8894
B03	Banyo	0,4804	0,4102	0,4453
B04	Depo Odası	0,1145	0,1145	0,1145
B05	Merdiven	0,2361	0,2361	0,2361
B06	WC	0,3455	0,2412	0,2934
B07	Teknik Oda	1,2152	0,6725	0,9439
Z01	Salon	3,8010	1,2753	2,5382
Z02	Mutfak	2,3270	1,0864	1,7067
Z03	Giriş Holü	0,9239	0,2068	0,5654
Z04	Merdiven	0,6269	0,3117	0,4693
Z05	WC	0,2590	0,143	0,2010
Z06	Kiler	0,0428	0,0118	0,0273
101	Yatak Odası	2,0620	1,4123	1,7372
102	Banyo	0,6967	1,3738	1,0353
103	Yatak Odası	0,8215	0,6802	0,7509
104	Sofa	1,0390	0,545	0,7920
105	Merdiven	0,7041	0,3727	0,5384
106	Depo	0,1268	0,0947	0,1108
107	Banyo	0,5293	0,5	0,5147
108	Yatak Odası	2,2060	1,12	1,6630
Yeşil Bina toplam ısı ihtiyacı:		21,1342 kW	13,3301 kW	17,2322 kW

3.4.3. Bina Isı Kazancı Hesaplaması (CLTD/SCL/CLF Yöntemi)

ASHRAE tarafından geliştirilen TFM (geçiş fonksiyonu yöntemi)'den türetilmiş olan CLTD/SCL/CLF (Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı/Güneş Soğutma Yükü/Soğutma Yükü Çarpanı) yöntemi doğrudan soğutma yükünü hesaplayan bir yöntemdir. CLTD değerleri soğutma şartlarında dış yüzeylerde taşınım ve ışınım etkilerini birlikte göz önüne alan ve yapı elemanlarının ısı depolama etkilerini de kapsayan eşdeğer sıcaklık farkıdır [13]. SCL değeri pencere etrafında herhangi bir gölgeleme elemanı olup olmasına göre bir referans pencere yüzeyinin birim alanı başına birim zamandaki güneş ışınımından oluşan soğutma yüküdür. Bu yöntemde;

- Opak yüzeylerden (dış duvar, çatı vs.) iletimle olan ısı kazancı,
 - Camlardan iletimle ısı kazancı,
 - Camlardan ışınım ile oluşan ısı kazancı,
 - İç bölmelerin ısı kazancı,
 - Hava sızıntısı ile oluşan ısı kazancı,
 - İnsanlardan oluşan duyulur ve gizli ısının meydana getirdiği ısı kazancı,
 - Aydınlatma armatürleri ve elektrikli cihazların oluşturduğu ısı kazancı,
- hesaplamaları tasarımı yapılan yeşil bina için aşağıda yapılmıştır.

3.4.3.1. Opak yüzeylerden (dış duvar) iletimle olan ısı kazancı

$$Q_{\text{opak}} = A \cdot U \cdot \text{CLTD}_d \quad (W) \quad (34)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; opak yüzeylerden iletimle olan ısı kazancı (Q_{opak}) (34) nolu eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır. Tablo 18. deki hesaba



giren opak yüzey alanı (A) değerleri mimari projeden ölçülerek tespit edilmiştir. CLTD_d düzeltilmiş soğutma yükü sıcaklık farkı değeri (35) nolu eşitliğe göre yapılmıştır.

$$CLTD_d = CLTD + (25,5 - t_i) + (t_o - 29,4) \quad (^\circ\text{C}) \quad (35)$$

$t_i = 25^\circ\text{C}$ olarak oda konfor sıcaklık değeri seçilmiştir.

$$t_o = \text{en yüksek dış ortam sıcaklığı} - \frac{\text{günlük sıcaklık farkı}}{2}$$

MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.5.13A Türkiye'nin Çeşitli İllerinde Dış Hava Tasarım Şartları tablosundan; Ankara ilinin yaz tasarım şartları 34°C kuru termometre sıcaklığı, 20°C yaş termometre sıcaklığı ve 15°C günlük sıcaklık farkı olarak tespit edilmiştir.

$$t_o = \text{en yüksek dış ortam sıcaklığı} - \frac{\text{günlük sıcaklık farkı}}{2} = 34^\circ\text{C} - \frac{15^\circ\text{C}}{2}$$

$t_o = 26,5^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır.

MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.5.12 Duvar Tiplerinde Kullanılan Tabakaların Kod Numaraları tablosundan, tasarımı yapılan yeşil bina dış duvarları için C16 ve C7 kodları seçilmiştir. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.5.10A Duvar Tipleri (Ana Kütle Yalıtımın İç Tarafında) tablosundan kaba sıva veya ince sıva duvar malzemesi durumu ve $R=3,28 \text{ m}^2\text{K/W}$ dış duvar ısı iletkenlik direnci ile temel duvar malzemesi C7 kodu için bu tablodan duvar tipi 15 olarak tespit edilmiştir. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.5.9 Temmuz Ayı Soğutma Yükü Sıcaklık Farkları (CLTD) tablosundan 15 numaralı duvar tipi için CLTD değerleri;

- 15 numaralı duvar, duvar yönü: Kuzey, saat:15:00 için CLTD = 5°C
- 15 numaralı duvar, duvar yönü: Doğu, saat:15:00 için CLTD = 17°C
- 15 numaralı duvar, duvar yönü: Güney, saat:15:00 için CLTD = 7°C
- 15 numaralı duvar, duvar yönü: Batı, saat:15:00 için CLTD = 6°C

olarak belirlenmiştir. (35) nolu eşitliğe göre düzeltilmiş soğutma yükü sıcaklık farkı değerleri;

$$- CLTD_d = CLTD + (25,5 - t_i) + (t_o - 29,4) = CLTD + (25,5 - 25) + (26,5 - 29,4)$$

$$- CLTD_d = CLTD - 2,4^\circ\text{C}$$

$$- \text{Kuzey yöndeki duvarın; } CLTD_{d,kuzey} = CLTD - 2,4^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C} - 2,4^\circ\text{C} \rightarrow CLTD_{d,kuzey} = 2,6^\circ\text{C}$$

$$- \text{Doğu yöndeki duvarın; } CLTD_{d,doğu} = CLTD - 2,4^\circ\text{C} = 17^\circ\text{C} - 2,4^\circ\text{C} \rightarrow CLTD_{d,doğu} = 14,6^\circ\text{C}$$

$$- \text{Güney yöndeki duvarın; } CLTD_{d,güney} = CLTD - 2,4^\circ\text{C} = 7^\circ\text{C} - 2,4^\circ\text{C} \rightarrow CLTD_{d,güney} = 4,6^\circ\text{C}$$

$$- \text{Batı yöndeki duvarın; } CLTD_{d,batı} = CLTD - 2,4^\circ\text{C} = 6^\circ\text{C} - 2,4^\circ\text{C} \rightarrow CLTD_{d,batı} = 3,6^\circ\text{C}$$

olarak duvarların düzeltilmiş soğutma yükü sıcaklık farkı değerleri hesaplanmış ve (34) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de 103 nolu yatak odası mahallinin; opak yüzeylerden iletimle olan ısı kazancı $Q_{opak} = 15,54 \text{ W}$ olarak bulunmuştur.



Tablo 18.

Projeye İlişkin Ada No: 488		Parsel No: 4		Proje Dış Sıcaklığı: 34°C																				Kat No:	Sayfa No:																										
Yapı Özellikleri		25°C - Yatak O. 103		İSİ KAZANCI HESABI (CLTD-SCL-CLF YÖNTEMİ)																				Tesisatın Cinsi	Zemin																										
																								Klima																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																												
				ALAN HESABI				OPAK YÜZEY İSİ KAZANCI				CAM İLETİM İSİ KAZANCI				CAM İŞİNİM İSİ KAZANCI				İÇ BÖLME İSİ KAZANCI																															
Yapı bileşeni işareti		Yönü	Kalınlığı	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam alan	Miktar	Çıkarılan alan	Hesaba giren opak yüzey alanı	Toplam ısı geçiş katsayısı	Soğutma yükü sıcaklık farkı	Opak(dış) yüzey ısı kazancı	Hesaba giren cam alanı	Toplam ısı geçiş katsayısı	Soğutma yükü sıcaklık farkı	Cam iletim ısı kazancı	Hesaba giren cam alanı	Gölgeleme katsayısı	Güneş soğutma yükü	Cam işinim ısı kazancı	Hesaba giren opak yüzey alanı	Toplam ısı geçiş katsayısı	Sıcaklık farkı (T _{komşu} - T _{oda})	İç bölme ısı kazancı																											
CP	B	B	cm	m	m	m ²	İane	m ²	A	U	CLTD _g	Opak	A	U	CLTD _{gen}	Q _{cam iletim}	A	SC	SCL	Q _{cam işinim}	A	U	Δt	Q _{ç bölme}																											
	B	-	1.3	1.3	1.69	1	-	0	0	0	0	0	1.69	2.1	5.6	19.8744	1.69	-	45.98	68.3815	0	0	0	0																											
	B	35	2.3	2.9	6.525	1	1.7	4.84	0.305	3.6	5.3088	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	DD	K	35	4.5	2.9	12.91	1	-	12.9	0.305	2.6	10.234	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	Ta	-	44	-	-	17.27	1	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	İK	D	-	0.9	2.1	1.89	1	-	0	0	0	0	0	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																											
	D-15	D	15	1.9	2.6	4.845	1	1.9	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0																											
											Opak:	15,542												Q _{cam iletim} :	19,8744												Q _{cam işinim} :	68,3815												Q _{ç bölme} :	54,35653
HAVYA SIZINTI(ENF.) İSİ KAZANCI				M	G _g	(T _{da} - T _g)	Q _{enznt}																																												
Q _{enznt} : M.Cp.(T _{da} - T _g)				0.0301	1000	9	270.76																																												
AYDINLATMA İSİ KAZANCI				Q _{aydınlama} = q.F _{ku} .F _{am} .CLF		Q _{aydınlama}	20																																												
İNSAN DUYULURUSI KAZANCI				Q _{insan duy}	N	CLF	Q _{insan duy}																																												
Q _{insan duy} : N.q _{insan duy} .CLF				70	2	0.91	127.4																																												
İNSAN GİZLİ İSİ KAZANCI				Q _{insan giz} : N.q _{insan giz}		Q _{insan giz}	45																																												
ELEKTRİKLI ÇHAZ İSİ KAZANCI				Q _{en}	F _{ku}	F _{yük}	CLF	Q _{en}																																											
Q _{en} cihaz : Q _{en} .F _{ku} .F _{rag} .CLF				1000	1	1	0.91	910																																											
ODA HAVA KÜTLESEL DEBİSİ				p	Q	n	M																																												
Q _{oda hava} = p.Q.n				1.23	0.012	2	0.03008																																												
ODA DUYULUR İSİSİ				Q _{oda duyulur} = Q _{oda hava} .CLF		Q _{oda duyulur}	1787.7																																												
ODA GİZLİ İSİSİ				Q _{oda gizli} = Q _{oda hava} .CLF		Q _{oda gizli}	90																																												
TOPLAM ODA SOĞUTMA YÜKÜ				Q _{toplam oda} = Q _{oda duyulur} + Q _{oda gizli}		Q _{toplam oda}	1877.7																																												

3.4.3.2. Camlardan iletimle olan ısı kazancı

$$Q_{\text{cam, iletim}} = A \cdot U \cdot \text{CLTD}_{\text{pen}} \quad (\text{W}) \quad (36)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; camlardan iletimle olan ısı kazancı ($Q_{\text{cam, iletim}}$) (36) nolu eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır. Pencerelemelere ait U ısı geçiş katsayısı $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak TS2164 standardından alınmıştır. Tablo 18. deki hesaba giren cam alanı(A) değeri mimari projeden ölçülerek $1,12 \text{ m}^2$ olarak tespit edilmiştir. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.5.11 Camlardan İletimle Isı Kazancı Hesaplaması İçin Kullanılan Soğutma Yükü Sıcaklık Farkları CLTD değerleri tablosundan saat 15:00 için CLTD_{pen} değeri $8 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiştir. (36) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de 103 nolu yatak odasının; camdan iletimle olan ısı kazancı $Q_{\text{cam, iletim}} = 19,8744 \text{ W}$ olarak bulunmuştur.

3.4.3.3. İç bölmelerin ısı kazancı

$$Q_{\text{iç bölme}} = A \cdot U \cdot (T_{\text{komşu}} - T_{\text{oda}}) \quad (\text{W}) \quad (37)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; iç yüzeylerden (iç duvarlar, iç kapı) iletimle olan ısı kazancı ($Q_{\text{iç bölme}}$) (36) nolu eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır. İç kapının U ısı geçiş katsayısı değeri TS 2164'den alınmış ve iç duvarın ise (5) nolu eşitliğe göre hesaplanarak bulunmuştur. Tablo 18. deki hesaba giren iç duvar ve iç kapı alanı(A) değerleri mimari projeden ölçülerek tespit edilmiştir. $T_{\text{oda}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak oda konfor sıcaklık değeri seçilmiştir.

$$T_{\text{komşu}} = \frac{T_{\text{dış}} + T_{\text{oda}}}{2} = \frac{34 \text{ }^\circ\text{C} + 25 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$T_{\text{komşu}} = 29,5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. (37) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplama tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; iç bölmelerden (iç duvarlar, iç kapı) iletimle olan ısı kazancı $Q_{\text{iç bölme}} = 54,35 \text{ W}$ olarak bulunmuştur.

3.4.3.4. Camlardan ışınlama ile olan ısı kazancı

$$Q_{\text{cam, ışınlama}} = A \cdot \text{SC} \cdot \text{SCL} \quad (\text{W}) \quad (38)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; camlardan ışınlama ile olan ısı kazancı ($Q_{\text{cam, ışınlama}}$) (38) nolu eşitliğe göre yapılmıştır.

SC gölgeleme katsayısı pencerenin iç ve dış kısmında gölgeleme elemanları bulunması nedeniyle ve yaz şartlarında güneş ışınlarının dik geliş açısından ışınlama azaltma etkisini temsil eden boyutsuz bir çarpandır. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.6.3 Tek Cam ve Çift Cam İçin Gölgeleme Katsayıları (SC) tablosundan, çift cam(3mm kalınlıkta) için $\text{SC} = 0,88$ olarak tespit edilmiştir.

SCL güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü hesaplamasında; öncelikle tasarımı yapılan yeşil binanın cephelerindeki (bina kabuğundaki) pencerelerin alanları mimari projeden tespit edilip yönlerine göre Tablo 19. da gösterilmiştir. SCL güneş ışınlamından oluşan soğutma yükleri Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için hesaplanmıştır. Tablo 19.'da Ekim ayına ilişkin SCL güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü hesaplaması gösterilmiştir. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.3.1 Camdan Geçen Güneş Radyasyonu tablosundan Ekim ayına ilişkin kuzey, doğu, güney ve batı yönlerindeki saatlik birim cam alanına gelen güneş radyasyonu değerleri alınmış aşağıda Tablo 19. daki Ekim ayına ilişkin SCL güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü hesaplama tablosuna işlenmiştir. Tablo 19. saat 12:00'de [en yüksek toplam cam ışınlama soğutma yükünün ($22130,7 \text{ W}$) olduğu saat baz alınarak] pencere yüzeyinin birim alanı başına güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü (SCL) değeri hesaplamaları görülmektedir. Bunlar;

- Bina **Kuzey yönü pencerelerinden**, Ekim ayı (23 Ekim) saat:12:00 için **SCL = 45,98 W/m²**
 - Bina **Doğu yönü pencerelerinden**, Ekim ayı (23 Ekim) saat:12:00 için **SCL = 45,98 W/m²**
 - Bina **Güney yönü pencerelerinden**, Ekim ayı(23 Ekim) saat:12:00 için **SCL = 617,1 W/m²**
 - Bina **Batı yönü pencerelerinden**, Ekim ayı (23 Ekim) saat:12:00 için **SCL = 45,98 W/m²**
- birim alanı başına güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü SCL değerleridir.

(38) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplamasında 103 nolu yatak odasının; camdan ışınlama olan ısı kazancı $Q_{cam, ışınlama} = 68,38$ W olarak bulunmuştur.

Tablo 19. Ekim ayında bina camlarında güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü (SCL) hesaplama tablosu.

YÖN	Saat	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	A (m ²)	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
K	(W/m ²)	7,26	22,99	37,51	42,35	45,98	45,98	45,98	42,35	37,51	22,99
KD	(W/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam(W)	40,80	129,20	210,80	238,0	258,40	258,40	258,40	238,0	210,80	129,20
	A (m ²)	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
D	(W/m ²)	325,49	446,49	465,85	336,38	148,83	45,98	45,98	42,35	37,51	22,99
GD	(W/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam(W)	1575,3	2161,01	2254,71	1628,08	720,33	222,54	222,54	204,974	181,54	111,27
	A (m ²)	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37	34,37
G	(W/m ²)	79,86	225,06	396,88	523,93	588,06	617,1	588,06	523,93	396,88	225,06
GB	(W/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam(W)	2744,7	7735,31	13640,8	18007,5	20211,6	21209,7	20211,6	18007,5	13640,8	7735,31
	A (m ²)	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57	9,57
B	(W/m ²)	7,26	22,99	37,51	42,35	45,98	45,98	148,83	336,38	465,85	446,49
KB	(W/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam(W)	69,47	220,01	358,97	405,29	440,03	440,03	1424,3	3219,16	4458,18	4272,91
	A (m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yatay	(W/m ²)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Toplam(W)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOPLAM (W)		4430,4	10245,5	16465,3	20278,8	21630,4	22130,7	22116,9	21669,6	18491,3	12248,7

103 nolu yatak oda mahallinin Tablo 19. da hesaplanan Ekim ayında bina camlarında güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü (SCL) hesaplamasına benzer şekilde; MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.3.1 Camdan Geçen Güneş Radyasyonu tablosundan haziran, temmuz, ağustos, eylül aylarına ilişkin kuzey, doğu, güney ve batı yönlerindeki saatlik birim cam alanına gelen güneş radyasyonu değerleri alınarak haziran, temmuz, ağustos, eylül ayları SCL hesaplamaları da yapılmıştır. Ekim ayı için Tablo 19.'da hesaplanan bina camlarında güneş ışınlamından oluşan soğutma yükü (SCL) toplam değeri 22130,7 W diğer ayların her birindeki toplam SCL yük değerinden fazla olduğu için Ekim ayı saat 12:00'daki pencere yönlerine göre birim cam alanına gelen güneş radyasyonu değerleri (kuzey, doğu, batı yön pencereleri için 45,98W/m² ve güney yön pencereleri için 617,1 W/m²) hesaplamalarda kullanılmıştır.

3.4.3.5. Hava sızıntısı ile oluşan ısı kazancı

$$Q_{sızıntı} = M \cdot c_p \cdot (T_{dış} - T_{iç}) \quad (W) \quad (39)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; hava sızıntısı ile oluşan ısı kazancı ($Q_{sızıntı}$) (39) ve (40) nolu eşitlikler göz önüne alınarak yapılmıştır. (39) ve (40) eşitliklerdeki M (kg/sn) oda havasının kütleli debisini, c_p (j/kgK) havanın özgül ısı, V (m³) oda(mahal) hacmi, ρ (kg/m³) havanın yoğunluğu ve n (sa⁻¹) saatteki hava değişim sayısı olarak ifade edilmektedir.

$$M = V \cdot \rho \cdot n \quad (kg/sn) \quad (40)$$

(39) ve (40) nolu eşitlikler göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplamasında 103 nolu yatak odasının; hava sızıntısı ile oluşan ısı kazancı $Q_{sızıntı} = 270,76$ W olarak bulunmuştur.

3.4.3.6. Aydınlatmadan oluşan ısı kazancı

$$Q_{\text{Aydınlatma}} = q \cdot F_{\text{kul}} \cdot F_{\text{arm}} \cdot \text{CLF} \quad (\text{W}) \quad (41)$$

q aydınlatma soğutma yükü $10\text{-}30 \text{ W/m}^2$, kullanma çarpanı F_{kul} konut ve otel odaları için $0.30\text{-}0.50$, ofislerde $0.70\text{-}0.85$ ve endüstriyel mekânlarda $0.80\text{-}0.90$ alınabilir. Armatür çarpanı F_{arm} 32 W gücünde tek floresan lambası olan devrelerde 2.19 ve 40 W gücünde tek floresan lambası olan devrelerde 1.18 alınabilir [13]. $F_{\text{kul}}= 0.5$ ve $F_{\text{arm}}=2.19$ olarak seçilmiştir.

MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.6.2B SCL ve CLF Tabloları ile Kullanılacak Zon Tipleri tablosundan; Cam-Güneş zon tipi B, İnsanlar ve Makinalar zon tipi B ve Aydınlatma zon tipi B olarak seçilmiştir.

MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.8.3 Aydınlatma İçin Soğutma Yükü Çarpanları (CLF) tablosundan B zon tipine göre; Salon-Z01 mahalli için $\text{CLF}=0.95$, Mutfak-Z02 mahalli için $\text{CLF}=0.93$ ve diğer odalar için $\text{CLF}=0,85$ olarak seçilmiştir.

(41) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplamasında 103 nolu yatak odasının; aydınlatmadan oluşan ısı kazancı $Q_{\text{Aydınlatma}} = 321,38 \text{ W}$ olarak bulunmuştur.

3.4.3.7. İnsanlardan oluşan duyulur ısı kazancı

$$Q_{\text{İnsan duy.}} = N \cdot q_{1\text{kişiduy.}} \cdot \text{CLF} \quad (\text{W}) \quad (42)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; insanlardan oluşan duyulur ısı kazancı ($q_{\text{İnsan duy.}}$) (42) eşitliği göz önüne alınarak yapılmıştır. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.8.1 Şartlandırılmış Ortamlardaki İnsanlardan Kaynaklanan Anlık Isı Kazancı Miktarları tablosundan bir kişiden oluşan duyulur ısı kazancı $q_{1\text{kişiduy.}} = \text{SHG} = 70 \text{ W}$ olarak seçilmiştir. Odadaki kişi sayısı değeri $N=2$ olarak alınmıştır. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.8.2 İnsanlar ve Davlumbazsız Cihazlar İçin Soğutma Yükü Çarpanları (CLF) tablosundan B zon tipi ve süre 6 saat için $\text{CLF}=0.91$ olarak belirlenmiştir.

(42) eşitliği göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplamasında 103 nolu yatak odasının; insanlardan oluşan duyulur ısı kazancı $Q_{\text{İnsan duy.}} = 127,40\text{W}$ olarak bulunmuştur.

3.4.3.8. İnsanlardan oluşan gizli ısı kazancı

$$Q_{\text{İnsan giz.}} = N \cdot q_{1\text{kişigiz.}} \quad (\text{W}) \quad (43)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; insanlardan oluşan gizli ısı kazancı ($Q_{\text{İnsan, giz.}}$) (43) nolu eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır. MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.8.1 Şartlandırılmış Ortamlardaki İnsanlardan Kaynaklanan Anlık Isı Kazancı Miktarları tablosundan bir kişiden oluşan gizli ısı kazancı $q_{1\text{kişigiz.}} = \text{LHG} = 45 \text{ W}$ olarak seçilmiştir. Odadaki kişi sayısı değeri $N=2$ olarak alınmıştır.

(43) nolu eşitlik göz önüne alınarak Tablo 18. de ısı kazancı hesaplamasında 103 nolu yatak odasının; insanlardan oluşan gizli ısı kazancı $Q_{\text{İnsan, giz.}} = 90 \text{ W}$ olarak bulunmuştur.

3.4.3.9. Elektrikli Cihazdan oluşan ısı kazancı

$$Q_{\text{Elekt. cih.}} = q_{\text{cih.}} \cdot F_{\text{kul}} \cdot F_{\text{rad}} \cdot \text{CLF} \quad (\text{W}) \quad (44)$$

Tablo 18. de ısı kazancı hesaplaması yapılan 103 nolu yatak odası mahallinin; elektrikli cihazlardan oluşan ısı kazancı ($Q_{\text{Elekt. cih.}}$) (44) nolu eşitlik göz önüne alınarak yapılmıştır. Kullanma çarpanı $F_{\text{kul}}=1$ ve cihaz ışınım çarpanı $F_{\text{rad}}=1$ olarak alınmıştır. Elektrikli cihaz soğutma yük çarpanı (CLF); yukarıda insanlar için duyulur ısı kazancı hesaplama kısmında belirlenen değer ile aynı olup $\text{CLF}=0.91$ değerindedir. q_{cih} elektrikli cihaz ısı kazancı değeri MMO/663 Klima Tesisatı yayınının Tablo 16.8.9 ve

16.8.10 Büro Makinaları ve Cihazlardan Oluşan Isı Kazancı tabloları dikkate alınarak $q_{\text{cih}} = 1000\text{W}$ olarak 103 nolu yatak odası mahallindeki bilgisayarın oluşturduğu ısı kazancı belirlenmiştir.

(44) nolu eşitlik göz önüne alınarak, Tablo 18. de ısı kazancı hesaplama tablosunda 103 nolu yatak odasının; elektrikli cihazlardan oluşan ısı kazancı $Q_{\text{Elekt. cih.}} = 910\text{ W}$ olarak bulunmuştur.

Bu şekilde yukarıda hesaplamaları yapılan 103 nolu yatak odasının; toplam soğutma yükü değeri de Tablo 18. de 1877,70W olarak hesaplanmıştır.

103 nolu yatak oda mahallinin Tablo 18. de hesaplanan ısı kazancı hesaplamasına benzer şekilde diğer odalarında hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 20. de tasarımı yapılan yeşil binanın, diğer mahallerinin CLTD/SCL/CLF (Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı/Güneş Soğutma Yükü/Soğutma Yükü Çarpanı) Yöntemi ile hesaplanan toplam soğutma yükü değerleri gösterilmiştir.

Tablo 20. Yeşil Binanın CLTD/SCL/CLF (Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı/Güneş Soğutma Yükü/Soğutma Yükü Çarpanı) yöntemi ile hesaplanan mahal (oda) soğutma yükü değerleri

Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Soğutma Yükü (kW)	Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Soğutma Yükü (kW)
B01	Hobi Odası	2,6458	Z05	WC	0,2266
B02	Teknik Oda	-	Z06	Kiler	0,2661
B03	Banyo	-	101	Yatak Odası	5,7817
B04	Depo Odası	-	102	Banyo	0,2741
B05	Merdiven	-	103	Yatak Odası	1,8777
B06	WC	-	104	Sofa	4,4256
B07	Teknik Oda	-	105	Merdiven	1,4763
Z01	Salon	4,1539	106	Depo	0,3319
Z02	Mutfak	8,0781	107	Banyo	0,4327
Z03	Giriş Holü	0,4775	108	Yatak Odası	5,2194
Z04	Merdiven	1,3511	CLTD/SCL/CLF yöntemiyle hesaplanan toplam soğutma ihtiyacı:		37,01 kW

3.4.4. Bina Isı Kazancı Hesaplaması (RTS-Işınım Zaman Serileri Yöntemi)

ASHRAE Fundamentals Handbook 2001 yayınında soğutma yük hesabı için iki yöntem sunulmuştur, bunlar Isı Dengesi (Heat Balance-HB) ve Işınım Zaman Serisi (Radiant Time Series-RTS) yöntemleridir. RTS yöntemi HB prosedüründen türetilen bir yöntemdir [13]. Tasarımı yapılan yeşil binanın RTS yöntemi ile soğutma yükü hesaplanırken aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

- Opak yüzeylerden (duvar vs.) iletilen ısı enerjisine iletim zaman serileri olarak adlandırılan CTS katsayıları uygulanarak ısı kazançları hesap edilir.
- Saydam yüzeylerden(pencere) olan ısı kazançları yayılı ve doğrudan olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.
- İç ısı kaynaklarından olan ısı kazançları hesaplanmıştır.
- Tüm ısı kazançları toplanıp, belirli oranlarda taşınım ve ışınım ısı kazançlarına ayrılmıştır.
- Işınım ısı kazancına, ışınım zaman serisi katsayısı olarak tanımlanan RTS uygulanarak ışınımdan kaynaklanan soğutma yükü hesaplanmıştır.
- Son olarak, ışınım ve taşınım soğutma yükü toplanarak toplam soğutma yükü bulunmuştur [13].

RTS yönteminde hesaplar, CLTD/SCL/CLF yöntemine göre daha fazla işlem gerektirmektedir. Buda hesapların daha detaylı olarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Dış hava sıcaklığı ve ısı depolamalar zamanın fonksiyonu (24 saat) olarak hesaplanmaktadır. Ancak bir bilgisayar programı hazırlanmasıyla işlem adımları daha kolay bir şekilde takip edilebilir [13]. Bu nedenle daha önce Excel'de hazırlanmış program yardımıyla; aşağıdaki eşitliklere göre hesaplamalar yapılmıştır [14].

3.4.4.1. Opak yüzeylerden(dış duvar) iletim ve ışınlama olan ısı kazancı (Q_{duvar})

Dış duvarlardan (opak yüzeylerden) iletimle olan ısı kazancı: İletim zaman serileri (CTS) kullanılarak hesaplanır. CTS katsayıları ASHRAE Fundamentals 2001 yayınından seçilmiştir.

$$q_{i,q-n} = K \cdot A \cdot (t_{e,q-n} - t_{r,c}) \quad (W) \quad (45)$$

(45) eşitliğinde $q_{i,q-n}$ (W) yüzey için n saat önceki iletimsel ısı girişlerini, K (W/m²K) yüzey için toplam ısı geçiş katsayısını, A (m²) opak yüzey(dış duvar) alanını, $t_{e,q-n}$ (°C) n saat önceki güneş-hava sıcaklığını ve $t_{r,c}$ (°C) tahmin edilen sabit oda(şartlandırılmış ortam) sıcaklığını ifade etmektedir.

Duvarlar ve/veya çatılardan iletimle olan ısı kazancı (q_q); geçerli saat ve önceki 23 saat için, iletimsel ısı girişleri kullanılarak hesaplanabilir.

$$q_q = C_0 \cdot q_{i,q} + C_1 \cdot q_{i,q-1} + C_2 \cdot q_{i,q-2} + \dots + C_{23} \cdot q_{i,q-23} \quad (W) \quad (46)$$

(46) eşitliğinde q_q (W) dış duvar için iletimsel ısı kazancını, $q_{i,q}$ (W) geçerli(seçilen) saat için iletimsel ısı girişini, $q_{i,q-n}$ (W) yüzey için n saat önceki iletimsel ısı girişini ve $C_0, C_1, C_2, \dots, C_{23}$ iletim zaman serilerini(birimsiz) ifade etmektedir.

$$Q_c = q_q \cdot TO \quad (W) \quad (47)$$

(47) eşitliğinde Q_c (W) duvar soğutma yükünün iletim-taşıma kısmını ifade etmektedir. TO toplam duyulur ısı kazancının dış duvar taşıma oranı olup 0.37 olarak alınmıştır [15].

Dış duvarlardan (opak yüzeylerden) ışınlama olan ısı kazancı: RTS metodunda; dış duvarlardan (opak yüzeylerden) ışınlama olan ısı kazancı, ışınlama zaman serileri (RTS) kullanılarak hesaplanır. RTS mevcut ve önceki ısı kazançlarına dayanılarak geçerli(seçilen) saat için soğutma yükünü hesaplamak amacıyla kullanılır.

$$Q_{r,\theta} = r_0 \cdot q_{r,\theta} + r_1 \cdot q_{r,\theta-1} + r_2 \cdot q_{r,\theta-2} + \dots + r_{23} \cdot q_{r,\theta-23} \quad (W) \quad (48)$$

(48) eşitliğinde $Q_{r,\theta}$ (W) geçerli-seçilen θ saati için duvar soğutma yükünün ışınlama kısmını, $q_{r,\theta}$ (W) geçerli saat θ için güneş ışınlama ısı kazancını, $q_{r,\theta-n}$ (W) n saat önceki güneş ışınlama ısı kazancını ve $r_0, r_1, r_2, \dots, r_{23}$ ışınlama zaman serilerini ifade etmektedir [15].

$$Q_{duvar} = Q_c + Q_{r,\theta} \quad (W) \quad (49)$$

(49) eşitliğindeki Q_{duvar} (W) duvardan oluşan taşıma ve ışınlama ısı kazançlarını toplamı sonucu oluşan duvardan kaynaklı soğutma yüküdür.

(45), (46), (47), (48) ve (49) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; dış duvarlardan (opak yüzeylerden) taşıma ve ışınlama oluşan soğutma yükü (Q_{duvar}) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.2. RTS metoduyla pencere soğutma yükü hesabı ($Q_{pencere}$)

$$Q_{pencere} = Q_b + q_{d,ts} + q_{c,ts} \quad (W) \quad (50)$$

(50) eşitliğinde $q_{d,ts}$ (W) tasarım saati için yayılı güneş ışınlama ısı kazancını, $q_{c,ts}$ (W) tasarım saati için iletimle olan ısı kazancını ve Q_b (W) direk güneş ışınlama sonucu pencereye gelen direk güneş ışınlama soğutma yükünü ifade etmektedir.

$$q_{d,ts} = A \cdot (E_d + E_r) \cdot \langle SHGC \rangle_D \cdot IAC \quad (W) \quad (51)$$

(51) eşitliğinde A (m²) pencere alanını, E_d (W/m²) düşey yüzeye gelen yayılı güneş ışınlamını, E_r (W/m²) yerden yansıyan güneş ışınlamını ve $\langle SHGC \rangle_D$ yayılı güneş ışınlama katsayısını ifade etmektedir.

$$q_{c_ts} = K \cdot A \cdot (T_d - T_i) \quad (W) \quad (52)$$

$$Q_b = r_o \cdot q_{b_ts} + r_1 \cdot q_{b_01} + r_2 \cdot q_{b_02} + \dots + r_{23} \cdot q_{b_23} \quad (W) \quad (53)$$

(53) eşitliğinde q_{b_ts} (W) tasarım saati için direkt güneş ışıınımı ısı kazancı, q_{b_01} , q_{b_02} ,... q_{b_23} (W) tasarım gününde diğer her bir saatin direkt güneş ışıınım ısı kazançlarını ve r_o , r_1 , r_2 , r_{23} ışıınım zaman serilerini ifade etmektedir.

$$q_{b_ts} = A \cdot E_D \cdot SHGC(\theta) \cdot IAC \quad (W) \quad (54)$$

(54) eşitliğinde E_D (W/m²) tasarım saati için direk güneş ışıınımını, SHGC(θ) : Güneş enerjisi ısı kazancı katsayısını ve IAC iç gölgeleme katsayısını ifade etmektedir.

(50), (51), (52), (53) ve (54) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; pencerelerden yayılı ve doğrudan ışıınım ısı kazançları ile pencerelerden iletim ısı kazançlarından oluşan soğutma yükü ($Q_{pencere}$) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.3. RTS metoduyla iç yüzeylerden (iç duvar) oluşan soğutma yükü hesabı (Q_i)

İletim zaman serileri (CTS) kullanılarak hesaplanır.

$$q_{i,q} = K \cdot A \cdot (t_b - t_i) \quad (W) \quad (55)$$

$$Q_i = C_0 \cdot q_{i,q} + C_1 \cdot q_{i,q-1} + C_2 \cdot q_{i,q-2} + \dots + C_{23} \cdot q_{i,q-23} \quad (W) \quad (56)$$

(56) eşitliğinde K (W/m²K) yüzey için toplam ısı geçiş katsayısını, A (m²) İç yüzey(iç duvar vs.) alanını, t_b (°C) bitişik ortamın ortalama hava sıcaklığını ve t_i (°C) şartlandırılmış ortamın sıcaklığını ifade etmektedir.

İç yüzeylerden (iç duvar vs.) iletimle olan ısı kazancından oluşan soğutma yükü (Q_i); geçerli saat ve önceki 23 saat için, iletimsel ısı girişleri kullanılarak hesaplanabilir. Duvar için toplam duyulur ısı kazancının taşınım yüzde (TO) değeri 0,37 olarak alınmıştır [15].

(55) ve (56) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; iç yüzeylerden (iç duvar vs.) oluşan soğutma yükü (Q_i) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.4. RTS metoduyla aydınlatmadan oluşan soğutma yükü hesabı ($Q_{aydınlatma_ts-toplam}$)

$$Q_{aydınlatma_ts-toplam} = Q_{aydın_c-ts} + Q_{aydın_r-ts} \quad (W) \quad (57)$$

Kullanılan lambanın ısı kazancı (q_{lambda}) hesaplanarak işlemlere başlanır.

$$q_{lambda} = W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad (W) \quad (58)$$

(58) eşitliğinde W (watt) aydınlatma cihazlarının (lambda vs.) toplam aydınlatma gücünü, F_{ul} kullanma faktörünü (0,3 alınabilir) ve F_{sa} armatür faktörünü (1 alınabilir) ifade etmektedir.

Lambalar için soğutma yükü hesaplanan odaya ilişkin çalışma saati tablosu hazırlanır ve lambaların çalışma yüzdesi ve (58) eşitliği ile hesaplanan lambda ısı kazancı değerleri (günün her bir saati için) bu tabloya işlenir. ısı kazancının taşınımsal kısmı için lambda taşınım oranı 0,41 değeri seçilir [15].

$$Q_{aydın_c-ts} : W \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \cdot TO \quad (W) \quad (59)$$

TO toplam duyulur ısı kazancının lambda taşınım oranı 0,41 olarak seçilir [15].

(59) eşitliğinde $Q_{aydın_c-ts}$ (W) aydınlatma soğutma yükünün taşınımsal kısmını ifade etmektedir.

$$Q_{\text{aydin_r-ts}} = r_0 \cdot IO \cdot q_{\text{lamba_t,s}} + r_1 \cdot IO \cdot q_{\text{lamba_t,s-1}} + \dots + r_{23} \cdot IO \cdot q_{\text{lamba_t,s-23}} \quad (W) \quad (60)$$

IO toplam duyulur ısı kazancının lamba ışınım oranı 0,59 olarak seçilir [15].

$q_{\text{lamba_t,s}}$, $q_{\text{lamba_t,s-1}}$,... $q_{\text{lamba_t,s-23}}$ değerleri (58) eşitliği ile hesaplanan lamba ısı kazancı değerleridir. (60) eşitliğinde $Q_{\text{aydin_r-ts}}$ (W) aydınlatma soğutma yükünün ışınımsal kısmını ifade etmektedir.

(57), (58), (59), ve (60) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; aydınlatmadan oluşan soğutma yükü ($Q_{\text{aydinlatma_ts-toplam}}$) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.5. RTS metoduyla insanlardan oluşan soğutma yükü hesabı ($Q_{\text{duy-ins}}$ ve $Q_{\text{giz-ins}}$)

$$Q_{\text{duy-ins}} = N \cdot q_d \cdot CLF \quad (W) \quad (61)$$

(61) eşitliğinde $Q_{\text{duy-ins}}$ (W) insanlardan oluşan duyulur soğutma yükünü ve N insan sayısını (mahaldeki) ifade etmektedir. q_d insandan oluşan duyulur ısı kazancı, 70 W alınmıştır [15]. CLF kapatma(depolama) yükü faktörü (CLF=1 alınabilir) dür.

$$Q_{\text{giz-ins}} = N \cdot q_g \quad (W) \quad (62)$$

(62) eşitliğinde $Q_{\text{giz-ins}}$ (W) insanlardan oluşan gizli soğutma yükünü ifade etmektedir, q_g insandan oluşan gizli ısı kazancı, 45 W alınmıştır [15].

(61) ve (62) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; insanlardan oluşan soğutma yükü ($Q_{\text{duy-ins}}$ ve $Q_{\text{giz-ins}}$) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.6. RTS metoduyla cihazlardan (elektrik motorlu) oluşan soğutma yükü hesabı (Q_{cihaz})

$$q_{\text{cih}} = [P/\eta] \cdot F_{UM} \cdot F_{LM} \cdot CLF \quad (W) \quad (63)$$

(63) eşitliğinde q_{cih} (W) cihazdan (elektrik motorlu) meydana gelen ısı kazancını, P (W) motorun gücünü, η motorun verimini, F_{LM} motor yük faktörünü (1,0 veya $< 1,0$) ve F_{UM} motor kullanım faktörünü (1,0 veya $< 1,0$) ifade etmektedir.

$$Q_{\text{cihaz}} = q_{\text{cih}} \cdot N_c \quad (W) \quad (64)$$

(64) eşitliğinde N_c (adet) soğutma yükü hesaplanan mahaldeki, cihaz (elektrik motorlu) sayısını ifade etmektedir.

(63) ve (64) eşitlikleri göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odası mahallinin; cihazlardan (elektrik motorlu) oluşan soğutma yükü (Q_{cihaz}) değeri saatlik olarak bulunmuştur.

3.4.4.7. RTS metoduyla havalandırma ve enfiltrasyon soğutma yükü hesabı ($Q_{\text{duy-szt}}$)

$$Q_{\text{duy-szt}} = D_K \cdot V_s \cdot \Delta T \quad (W) \quad (65)$$

(65) eşitliğinde $Q_{\text{duy-szt}}$ (W) havalandırma ve sızıntı ile mahal duyulur ısı kazancından oluşan soğutma yükünü, V_s (lt/sn) havalandırma ve/veya sızıntı ile mahale verilen hava debisini ve ΔT (°C) dış ortam ve mahal sıcaklıkları farkını ifade etmektedir.

(65) eşitliğindeki D_K duyulur ısı kazancı katsayısı=1,23 alınır (ASHRAE tarafından 101,325 kPa basınç değeri ve 1,2 kg/m³ hava yoğunluğu kabulü ile belirlenmiş olan değer).

(65) eşitliği göz önüne alınarak Tablo 21. de ısı kazancı hesaplaması excel programı tablosunda 103 nolu yatak odasının; hava sızıntısı ile oluşan ısı kazancı $q_{\text{sızıntı}}= 270,11W$ olarak bulunmuştur. Ayrıca 103 nolu yatak odası mahallinin yukarıda hesaplamaları açıklanan dış duvarlardan (opak yüzey),

pencerelerden, iç bölmelerden, aydınlatmadan, insanlardan ve elektrik cihazlardan olan ısı kazançları değerleri de Tablo 21. de gösterilmiştir.

Tablo 21. RTS Yöntemiyle 103 nolu yatak odasının soğutma yükü hesaplamaları

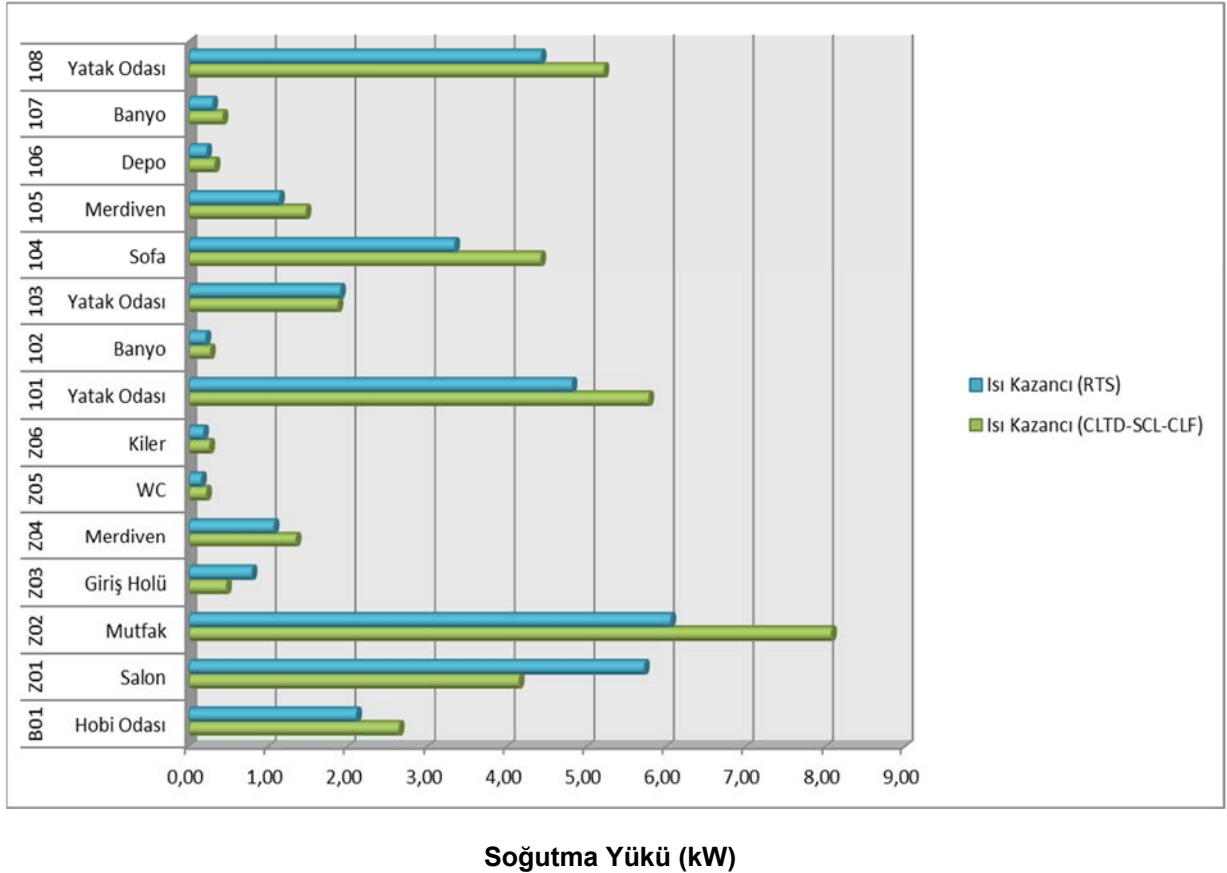
103 nolu YATAK ODASI ISI KAZANCI HESABI (RTS YÖNTEMİ)									TOPLAM SOĞUTMA YÜKÜ (W)		
Saat	Opak Yüzey Isı Kazancı	Cam Isı Kazancı	İç Bölme Isı Kazancı	Hava Sızıntı Isı Kazancı	Lamba Isı Kazancı	İnsan Duyulur	İnsan Gizli	Cihaz Isı Kazancı	Duyulur	Gizli	Toplamı
1	32,74	58,66	23,11	270,11	37,89	0,00	27,51	434,00	884,02	0,00	884,02
2	29,12	50,36	22,13	270,11	28,73	0,00	20,85	329,00	750,29	0,00	750,29
3	25,68	46,07	20,56	270,11	23,22	0,00	16,86	266,00	668,50	0,00	668,50
4	22,48	40,49	18,51	270,11	19,56	0,00	14,20	224,00	609,35	0,00	609,35
5	19,47	33,55	16,08	270,11	17,11	0,00	12,42	196,00	564,75	0,00	564,75
6	16,80	27,31	13,36	270,11	15,28	0,00	11,09	175,00	528,95	0,00	528,95
7	14,43	27,13	10,47	270,11	13,45	0,00	9,76	154,00	499,35	0,00	499,35
8	12,48	44,46	7,53	270,11	74,25	76,50	73,05	664,00	1145,89	76,5	1222,39
9	11,28	60,66	4,70	270,11	82,81	76,50	79,26	762,00	1270,82	76,5	1347,32
10	11,27	73,67	2,16	270,11	87,70	76,50	82,81	818,00	1345,73	76,5	1422,23
11	12,76	81,42	0,13	270,11	90,76	76,50	85,03	853,00	1393,21	76,5	1469,71
12	15,57	87,12	-1,19	270,11	92,59	76,50	86,36	874,00	1424,57	76,5	1501,07
13	19,47	124,01	-1,62	270,11	94,42	76,50	87,69	895,00	1489,08	76,5	1565,58
14	24,37	230,44	-1,07	270,11	95,64	76,50	88,58	909,00	1617,08	76,5	1693,58
15	30,28	346,50	0,48	270,11	96,87	76,50	89,47	923,00	1756,70	76,5	1833,20
16	36,84	406,07	2,90	270,11	97,48	76,50	89,91	930,00	1833,32	76,5	1909,82
17	43,20	282,48	6,02	270,11	98,09	76,50	90,36	937,00	1727,25	76,5	1803,75
18	47,82	197,11	9,53	270,11	98,70	76,50	90,80	944,00	1658,08	76,5	1734,58
19	49,55	154,05	13,14	270,11	99,31	76,50	91,24	951,00	1628,41	76,5	1704,91
20	48,86	127,03	16,52	270,11	99,31	76,50	91,24	951,00	1604,08	76,5	1680,58
21	46,68	104,74	19,39	270,11	99,31	76,50	91,24	951,00	1582,47	76,5	1658,97
22	43,64	87,12	21,55	270,11	99,31	76,50	91,24	951,00	1563,97	76,5	1640,47
23	40,15	75,19	22,90	270,11	99,31	76,50	91,24	951,00	1549,90	76,5	1626,40
24	36,43	67,07	23,40	270,11	99,92	76,50	91,69	958,00	1546,62	76,5	1623,12

103 nolu odanın soğutma yükü değeri en yüksek ısı kazancının olduğu 16:00 da ki 1909, 82 W olarak belirlenmiştir. 103 nolu yatak oda mahallinin Tablo 21. de hesaplanan ısı kazancı hesaplamasına benzer şekilde diğer odalarında hesaplamaları yapılmıştır. Tablo 22. de tasarımı yapılan yeşil binanın, diğer mahallerinin Işınım Zaman Serisi (Radiant Time Series-RTS) Yöntemi ile hesaplanan toplam soğutma yükü değerleri gösterilmiştir.

Tablo 22. Yeşil Bina'nın Işınım Zaman Serisi (Radiant Time Series-RTS) yöntemi ile hesaplanan mahal (oda) soğutma yükü değerleri

Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Soğutma Yükü (kW)	Mahal(Oda) Numarası	Mahal Adı	Toplam Soğutma Yükü (kW)
B01	Hobi Odası	2,12	Z05	WC	0,16
B02	Teknik Oda	-	Z06	Kiler	0,19
B03	Banyo	-	101	Yatak Odası	4,81
B04	Depo Odası	-	102	Banyo	0,21
B05	Merdiven	-	103	Yatak Odası	1,91
B06	WC	-	104	Sofa	3,34
B07	Teknik Oda	-	105	Merdiven	1,14
Z01	Salon	5,72	106	Depo	0,24
Z02	Mutfak	6,06	107	Banyo	0,30
Z03	Giriş Holü	0,80	108	Yatak Odası	4,43
Z04	Merdiven	1,07	RTS yöntemiyle hesaplanan toplam soğutma ihtiyacı:		32,50 kW

Tasarımı yapılan yeşil bina'nın ısı kazancı hesaplamasına ilişkin; CLTD/SCL/CLF (Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı/Güneş Soğutma Yükü/Soğutma Yükü Çarpanı) yöntemine göre hesaplanan mahal soğutma yükü değerleri ile Işınım Zaman Serisi (Radiant Time Series-RTS) yöntemiyle hesaplanan mahal soğutma yükü değerleri Şekil 7. de grafik olarak gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Tasarımı yapılan yeşil bina odalarının; RTS yöntemine göre ve CLTD/SCL/CLF yöntemine göre hesap edilen soğutma yükü değerleri karşılaştırması

3.5. Güneş Kollektörü (Vakum Tüplü) ile Su Isıtma Sistemi Tasarımı ve Hesaplamaları:

Vakum tüplü güneş kolektör sistemi ile Ankara ili için örnek yeşil bina tasarımında Mayıs Haziran Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yeşil evin sıcak su temini sağlanacaktır.



Şekil 8. Vakum tüplü güneş kolektörü ile su ısıtma sistemi

Mayıs ayındaki ortalama ışınım değeri ile şebeke suyu sıcaklığı değeri yukarıda belirtilen diğer aylardan daha düşük olduğu için Mayıs ayına göre kolektör yüzeyi hesabı aşağıdaki eşitliklere göre yapılmıştır.

$$H_{\text{gerekli}} = m \cdot C \cdot (T_w - T_s) \quad (\text{kJ/gün}) \quad (66)$$

(66) eşitliğinde H_{gerekli} (kJ/gün) kullanım için gerekli olan enerjiyi, m (lt/gün, kg/gün) hazırlanacak su miktarını, C (4,18 kJ/kg°C) suyun ısınma ısısını, T_w (°C) sıcak suyun sıcaklığını ve T_s (°C) şebeke suyunun sıcaklığını ifade etmektedir [16].

Sıcak su sıcaklığı (T_w) ekonomik kullanım durumu düşünülerek 45°C seçilebilir [16]. Hazırlanacak sıcak su miktarı Tablo 23. ten konutlarda (orta gelirli) 60-100 lt/gün-kişi olarak alınabilir, tasarımı yapılan yeşil bina için 60 lt/gün-kişi olarak seçilmiştir. 4 kişilik aile için;

- $m = 60 \text{ lt/gün-kişi} \times 4 \text{ kişi} = 240 \text{ lt/gün}$ olarak hazırlanacak su miktarı belirlenmiştir.

Tablo 23. Bina Tiplerine Göre Sıcak Su İhtiyacı Tablosu [16].

Vakum Tüplü Güneş Kollektörü Konulacak Bina Tipi	Sıcak Su İhtiyacı (lt/gün-kişi)	
Konutlarda	Düşük Gelirlielerde	40 – 60
	Orta Gelirlielerde	60 – 100
	Yüksek Gelirlielerde	100 – 150
Otel, Pansiyon, Yurt ve Misafirhanelerde	Ortalama Değer	100
	Lüks Oteller	200
Atölye ve Endüstriyel Tesislerde	Ortalama Değer	50
	Lavabolarda	30
	Kapalı duşlarda	80
	Açık duşlarda	50

Ankara ili için Mayıs ayı şebeke suyu sıcaklığı 14,5 °C'dir [17]. (66) eşitliği göz önüne alınarak kullanım için gerekli olan enerji H_{gerekli} değeri;

- $H_{\text{gerekli}} = m \cdot C \cdot (T_w - T_s) = 240 \text{ lt/gün} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (45^\circ\text{C} - 14,5^\circ\text{C})$
- $H_{\text{gerekli}} = 30597,6 \text{ kJ/gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Tasarımı yapılan yeşil binada sıcak su temini için kullanılacak vakum tüplü güneş kolektöründen elde edilecek faydalı enerji $H_{\text{faydalı}}$ değeri aşağıda yer alan (67) eşitliğine göre belirlenmiştir [16].

$$H_{\text{faydalı}} = H \cdot R \cdot \eta_{\text{vt}} \cdot \eta_e \cdot \eta_m \cdot \gamma_1 \quad (\text{kJ/m}^2\text{-gün}) \quad (67)$$

(67) eşitliğinde H ($\text{kJ/m}^2\text{-gün}$) doğru ışınımın yatay yüzeye gelen bileşenini, R dönüşüm katsayısını, η_{vt} vakum tüplü kolektör toplayıcı verimini, η_e (0,50 – 0,80) vakum tüplü güneş kolektör eşanjör verimini, η_m toplayıcı kolektör dışında tesisat borulama ve depolama verimini (küçük tesisatlarda 0,40 – 0,66 ve büyük tesisatlarda 0,50 – 0,80 değerinde alınabilir) ve γ_1 toplayıcı kolektör azimutu düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

Ankara ili için Mayıs ayında birim kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım enerji miktarı TS 3817'den $H=4117,23 \text{ kcal/m}^2\text{-gün} = 17210,02 \text{ kJ/m}^2\text{-gün}$ olarak alınmıştır. R dönüşüm katsayısı değeri Tablo 24. den yararlanılarak aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Tablo 24. Enlem, mevsim, toplayıcı eğim açısına göre R değerleri [16].

Enlem	Mevsim	θ_z	S			
			15°	30°	45°	60°
36°	Haziran-Ağustos	19,12	1,096	1,039	0,952	0,800
	Ekim-Mart	51,43	1,293	1,496	1,597	1,589
	Bütün yıl	36,00	1,154	1,229	1,221	1,129
38°	Haziran-Ağustos	20	1,060	1,059	0,964	0,815
	Ekim-Mart	51,87	1,296	1,503	1,608	1,603
	Bütün yıl	38	1,168	1,257	1,260	1,177
40°	Haziran-Ağustos	22,84	1,075	1,077	1,005	0,865
	Ekim-Mart	53,44	1,315	1,540	1,661	1,668
	Bütün yıl	40	1,183	1,286	1,301	1,227
42°	Haziran-Ağustos	24,28	1,083	1,096	1,026	0,891
	Ekim-Mart	55,98	1,349	1,607	1,755	1,783
	Bütün yıl	42	1,199	1,316	1,344	1,280

Vakum tüplü güneş kolektörünün güneşe yönelim eğim açısı(S) değeri yaz sezonu sıcak su temini için Ankara ilinin 39° enlem değerine göre;

- $S = \text{Enlem} - 25^\circ = 39^\circ - 25^\circ = 14^\circ$ (yaklaşık 15° kabul edilmiştir) göz önüne alınarak, Tablo 24. ten $R=1,0675$ olarak enterpolasyonla belirlenmiştir.

Toplayıcı kolektör azimutu düzeltme faktörü Tablo 25. ten yararlanılarak belirlenmiştir. Toplayıcı kolektör azimutu düzeltme faktörü γ_1 değeri Ankara ilinin 39° enlem değerine göre enterpolasyonla $\gamma_1=0,95$ olarak bulunmuştur. Ayrıca vakum tüplü güneş kolektörünün toplayıcı verimi $\eta_{\text{vt}} = 0,65$ olarak seçilmiştir [16].

Tablo 25. Kolektörün yerleştirileceği yörenin enlem derecesine göre γ_1 düzeltme faktörleri [16].

Y	Enlem	36°	38°	40°	42°
$\pm 45^\circ$		0,97	0,96	0,94	0,92

Yukarıda verilen değerler ve (67) eşitliğindeki denkleme göre;

- $H_{\text{faydalı}} = H \cdot R \cdot \eta_{\text{vt}} \cdot \eta_e \cdot \eta_m \cdot \gamma_1 = 17210,02 \text{ kJ/m}^2\text{-gün} \cdot 1,0675 \cdot 0,65 \cdot 0,80 \cdot 0,65 \cdot 0,95$
- $H_{\text{faydalı}} = 5899,15 \text{ kJ/m}^2\text{-gün}$ olarak hesaplanmıştır.

Vakum tüplü güneş kolektörünün toplayıcı yüzey alanı (F_{vt} , m^2) (68) eşitliğine göre belirlenmiştir [16].

$$F_{vt} = \frac{H_{\text{gerekli}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{gün}} \right)}{H_{\text{faydalı}} \left(\frac{\text{kJ}}{m^2 \cdot \text{gün}} \right)} \quad (m^2) \quad (68)$$

$$- F_{vt} = \frac{30597,60 \text{ kJ/gün}}{5899,15 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{gün}}$$

- $F_{vt} = 5,19 \text{ m}^2$ olarak vakum tüplü güneş kolektör toplayıcı yüzey alanı hesaplanmıştır.

Vakum tüplü güneş kolektörü tüp adedi hesaplamasında vakum tüpün iç içe borularından emici yüzey olan içteki borunun çapına göre hesaplama yapılmıştır. Üretici firma kataloğundan vakum tüp boru çapı 0,047m ve uzunluğu da 1,80 metre olarak alınmıştır. Bu durumda bir adet vakum tüp borunun yüzey alanı $0,047 \times 1,80 = 0,0846 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir. $5,19 \text{ m}^2$ vakum tüplü güneş kolektör toplayıcı yüzey alanı için tasarlanan sistemde kullanılacak toplam vakum tüp boru adedi $5,19 \text{ m}^2 / 0,0846 \text{ m}^2 = 61,34$ olarak hesaplanmıştır. Üretici firma kataloglarından Tablo 26. da teknik özellikleri yer alan SX-BOY30-HP 170 model kodlu 30 adet vakum tüplü güneş kolektör ünitesinden 2 adet tasarımı yapılan yeşil bina için seçilmiştir.

Tablo 26. Vakum tüplü güneş kolektörü üretici firma katalog değerleri [18].

Ürün Kodu	Tüp Sayısı (Adet)	Tüp Ölçüleri (mm)	Sıcak Su Kapasitesi (lt)	Emniyet Ventili Basıncı (Bar)	Çalışma Basıncı (Bar)
SX-BOY 24 HP 150	24	Ø47 x 1800	150	6	3- 3,5 arası
SX-BOY 30 HP 170	30	Ø47 x 1800	170	6	3- 3,5 arası

Vakum tüplü güneş kolektörünün sıcak su depo hacmi (V) (69) eşitliğine göre belirlenmiştir [16].

$$V = B_1 \cdot F_{vt, d} \quad (m^3) \quad (69)$$

(69) eşitliğinde V (m^3) sıcak su depo hacmini, B_1 ($0,06 \text{ m}^3 / m^2$) toplayıcı yüzey alanını, $F_{vt, d}$ (m^2) üretici firma kataloğundan seçilen vakum tüplü boru toplam yüzey alanını ifade etmektedir.

- $F_{vt, d} =$ vakum tüplü boru adedi x bir adet vakum tüpü yüzey alanı

$$- F_{vt, d} = 60 \text{ adet} \times 0,0846 \text{ m}^2 = 5,076 \text{ m}^2$$

$$- V = B_1 \cdot F_{vt, d} = 0,06 \cdot 5,076 \text{ m}^2$$

- $V = 0,3045 \text{ m}^3 = 304,5$ litre olarak vakum tüplü güneş kolektör sistemi sıcak su depo hacmi bulunmuştur. Çizelge x.4'teki ürün kataloğundan seçilen SX-BOY30-HP 170 model vakum tüplü güneş kolektöründen tasarımı yapılan yeşil bina da 2 adet kullanılmıştır, sıcak su depo hacmi bu model için $170 \text{ lt} \times 2 \text{ adet} = 340 \text{ lt}$ olup, sıcak su deposu hacmi hesaplanan değeri karşılamaktadır.

3.6. Bina Emisyon Verimliliği Hesaplamaları

Tasarımı yapılan yeşil binanın CO_2 emisyon verimliliği ilk olarak konvansiyonel ısıtma sistemine göre kıyaslanarak belirlenmiştir. Yeşil binanın ısıtma sisteminde yenilenebilir temiz enerji sınıfında yer alan toprak kaynaklı ısı pompası ile binanın ısıtma ihtiyacı karşılanmıştır.

Konvansiyonel ısıtma sistemi olarak doğalgaz ile ısıtma yapılan geleneksel fosil yakıtlı ısıtma sistemi kullanılmış olsaydı oluşacak CO_2 salınımı aşağıdaki eşitliklere göre belirlenmiştir.

$$B_y = \frac{Q_{y1}}{H_u \cdot \eta_k} \quad (m^3) \quad (70)$$

(70) eşitliğinde $B_y(m^3)$ eğer doğalgaz kullanılmış olsaydı binanın yıllık yakıt tüketimini, $Q_{yıl}$ (kJ) tasarımı yapılan yeşil binanın toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını, H_u ($34526,2 \text{ kJ/m}^3$) doğalgaz alt ısı değerini ve η_k (0,95 olarak) ısıtma cihaz verimini ifade etmektedir.

Binanın net enerji tüketimine bağlı olarak kullanılan yakıt cinsine göre yıllık CO_2 emisyon miktarı yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre (71) eşitliği ile hesaplanmıştır [19].

$$SEGM_Y = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot B_y \cdot H_u \cdot FSEG \quad (\text{kg } CO_2) \quad (71)$$

(71) eşitliğinde $SEGM_Y$ (kg eşd. CO_2) yıllık CO_2 emisyon miktarını ifade etmektedir. $FSEG$ (kg eşd. CO_2 /kWh) yakıt cinsine göre CO_2 emisyonu dönüşüm katsayısı olup bu değer 0,234'tür.

Tasarımı yapılan yeşil binanın toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı $Q_{yıl}$ 68.320.328,22 kJ olarak bina yalıtım hesaplamaları bölümünde bulunmuştur. (70) ve (71) eşitliklerine göre;

$$- B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \cdot \eta_k} = \frac{68.320.328,22 \text{ kJ}}{34526,2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \cdot 0,95}$$

$$- B_y = 2082,94 \text{ m}^3$$

$$- SEGM_Y = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot B_y \cdot H_u \cdot FSEG = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 2082,94 \text{ m}^3 \cdot 34526,2 \text{ kJ/m}^3 \cdot 0,234$$

$$- SEGM_Y = 4678,28 \text{ kg } CO_2 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Yeşil bina tasarımında ısıtma sisteminde; geleneksel fosil yakıt yerine, yenilenebilir enerji kaynağı olan toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak yıllık 4678,28 kg değerinde CO_2 emisyonu azaltılmıştır.

Tasarımı yapılan yeşil binanın CO_2 emisyon verimliliği hesaplaması için ayrıca yeşil binanın elektrik tüketimi için temiz enerji kaynağı kullanılarak üretilen elektrik enerjinin sağlamış olduğu CO_2 emisyon verimliliği hesaplamaları aşağıda yapılmıştır. Yeşil binada kullanılan elektrikli cihazların ve aydınlatma armatürlerinin günlük elektrik tüketim değeri PV panel hesaplamaları bölümünde hesaplanmış 8,4275 kWh/gün değerinde olup elektrikli cihazların ve aydınlatma armatürlerinin $365 \times 8,4275 \text{ kWh/gün} = 3076,04 \text{ kWh}$ yıllık elektrik tüketim değeridir. Toprak kaynaklı ısı pompasının PV panel hesaplamaları bölümünde hesaplanmış olan yıllık elektrik tüketim değeri 8077,50 kWh değerindedir. Yaz sezonunda iklimlendirme amaçlı kullanılan ve 480 saat kullanım süresi belirlenen hava kaynaklı ısı pompası ise $5,79 \text{ kWh} \times 480 = 2779,2 \text{ kWh}$ yıllık elektrik tüketimine sahiptir. Tasarımı yapılan yeşil binanın yıllık elektrik tüketim değeri;

$$- 3076,04 \text{ kWh} + 8077,50 \text{ kWh} + 2779,2 \text{ kWh} = 13932,74 \text{ kWh değerindedir.}$$

Tasarımı yapılan yeşil binada yenilenebilir enerji kaynağı olarak PV panel sisteminden elektrik üretimi yapılmıştır. Fosil yakıtlı termik santralden eş değer elektrik üretimi için oluşacak CO_2 salınımı ise elektrik üretiminde kullanılan fosil yakıt miktarına ilişkin hesaplanmış olan emisyon faktörü değerine göre belirlenmiştir. Emisyon faktörü(EF) değeri 0,55kg/kWh olarak alınmıştır [20]. Bu durumda tasarımı yapılan yeşil bina da yıllık 13932,74 kWh elektrik tüketimi için;

$$- 13932,74 \text{ kWh} \cdot 0,55 \text{ kg } CO_2/\text{kWh} = 7663,01 \text{ kg } CO_2 \text{ olarak fosil yakıt kaynaklı termik santralden elektrik üretimi yapılması durumunda oluşacak } CO_2 \text{ emisyonu bulunmuştur.}$$

Yeşil bina tasarımında elektrik üretiminde; bina yenilenebilir enerji kaynağı olan PV panel sistemi ile binanın kendi elektriği üretildiği için yıllık 7663,01 kg değerinde CO_2 emisyonu azaltılmıştır.

Bu durumda yeşil bina tasarımı yapılarak ısıtma ve elektrik üretimi için toplamda yıllık $4678,28 \text{ kg} + 7663,01 \text{ kg} = 12341,29 \text{ kg}$ değerinde CO_2 emisyonu azaltılmıştır.

SONUÇ

Tasarımı yapılan Ankara ili için örnek yeşil bina uygulamasında; evin yıllık 12372,44 kWh elektrik tüketimi bina çatısına yerleştirilecek 20 adet fotovoltaik panelden üretilen elektrik enerjisi ile karşılanmıştır. PV panel sisteminde günlük elektrik enerjisinin akü (batarya)'den sağlanacağı süre 1 gün olarak düşünülmüş ve akü sayısı her biri 12V-190Amper kapasiteli 8 adet olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemle üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi için gerekli olan inverter hesaplamaları yapıp, 6000W kapasiteli inverter PV panel sistemi için belirlenmiştir. Ayrıca aküyü aşırı şarjdan ve elektrik boşalmasından korumak için kullanılan MPPT tip elektronik şarj regülatörü sayısı 40 Amper giriş akımlı 3 adet olarak hesaplanmıştır.

Bina yalıtım tasarım ve hesaplamalarında organik tortul bir taş olan 0,040 W/mK ısı iletim katsayılı toksik özelliği olmayan ve yeniden kullanılabilir olan 80 mm kalınlıkta genleşmiş perlit (GP) minareli seçilmiştir. Yapılan bina yalıtım hesabında yeşil evin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 71,37 kWh/m² olarak hesaplanarak yeşil bina yalıtım sınıfı "Süper Enerji Verimli Bina" olarak tespit edilmiştir.

Yeşil Ev ısı kaybı hesabı TS2164 e göre 21,1342 kW ve Isıtma Derece Saat Yöntemine(İDS Yöntemi) göre ise 13,3301 kW olarak hesaplanmıştır, binanın ısı kaybı her iki yöntemle bulunan sonuçların ortalaması olan 17232,15 W olarak belirlenmiştir. Yeşil Ev ısı kazancı hesaplaması iki farklı yöntemle hesaplanmış; CLTD/SCL/CLF yönteminde ısı kazancı 37,01 kW, RTS(Işınım Zaman Serileri Metodu) yöntemi ile ısı kazancı 32,5 kW olarak hesaplanmıştır.

Yeşil Bina ısı kaybı değeri 17232,15 W ve sıcak su ihtiyacı(°C) için boyler kapasitesi 10600 W olmak üzere binanın toplam ısıtma yükü 27832,15 W değeri göz önüne alınarak ısıtma sisteminde kullanılacak dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma kapasitesi 29,2 kW olarak belirlenmiş, yeşil binanın kış sezonunda ısıtma ve sıcak su temini DTKIP ile karşılanmıştır. Dikey toprak kaynaklı ısı pompasının (DTKIP) toprak ısı değiştiricisi hesaplamaları yapılmıştır. Toprak ısı değiştiricisi 1 ½" (Ø50) çaplı polietilen-40(PE-40) boru 28 metre derinlikte 2 adet tek U-bükme çevrim olarak hesaplanmıştır. Boruların yerleşimi için dikey olarak 2 adet tek U-bükme şeklinde yapılacak sondaja ait (1 ½" çaplı PE-40 toprak ısı değiştiricisi boru için) toprağa açılacak her bir sondaja ait çap değeri 4 ¾" olarak belirlenmiştir.

Vakum tüplü güneş kollektör sistemiyle Mayıs Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yeşil evin sıcak su temini sağlanacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Vakum tüp boru adedi için yapılan hesaplamalar neticesinde 30 adet vakum tüplü güneş kollektör ünitesinden 2 adet olarak tasarımı yapılan yeşil bina için seçilmiştir. Vakum tüplü güneş kollektör sistemi sıcak su depo hacmi 304,5 litre olarak hesaplanmıştır. Vakum tüplü güneş kollektör ünitesinin her birinin 170 lt sıcak su depo kapasitesi değeri üretici kataloglarından belirlenerek toplam sıcak su depo hacmi 340 lt olacak şekilde seçilmiştir.

Tasarımı yapılan yeşil binanın CO₂ emisyon verimliliği hesaplamaları yapılarak; ısıtma sisteminde yenilenebilir enerji kaynağı olan toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması ve elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olan PV panel sistemi ile binanın kendi elektriği üretildiği için toplamda yıllık 12341,29 kg CO₂ emisyon salınıminin azaltıldığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] KINCAI, O., "Sürdürülebilir Yeşil Binalar Ders Notu", 2015.
- [2] TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", 2000.
- [3] ÖZGÖREN, M., "Enerji Depolama Yöntemleri Yenilenebilir Enerji Uygulamaları Ders Notu", 2019.
- [4] Anonim, 2020, <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi>, [Ziyaret tarihi:24.12.20]
- [5] YENİSEY, D., "İç Anadolu Bölgesi İçin Güneye Bakan Eğimli Yüzeye Gelen Günlük Global, Direkt ve Difüz Radyasyonun Hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [6] KUTLU, N., "Isparta İlinde Bir Evin Elektrik İhtiyacını Karşılacak Panel Sayısı, Verimi ve Ekonomik Analizinin Hesabı, SDÜ Yalvaç Akademi Dergisi, 1, 41-52, 2016.

- [7] YAMANKARADENİZ R., HORUZ İ., ÇOŞKUN S., KAYNAKLI Ö., YAMANKARADENİZ N., “Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları” Dora Basım-Yayın, 2017.
- [8] Anonim, 2020, <http://portal.canovateenerji.com/tr-TR/toprak-kaynali-isi-pompasi>, [Ziyaret tarihi: 17.12.2020]
- [9] “Klima Tesisatı” Makina Mühendisleri Odası Yayın No:663, 2016.
- [10] Anonim, 2020, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>, [Ziyaret tarihi: 16.12.2020]
- [11] “Viessmann Mesleki Yayınlar Isı Pompaları”, Viessmann Isı Teknikleri Ticaret A.Ş.
- [12] COŞKUN C., OKTAY O., ERTÜRK M., “Konutların Isıtma Sezonunda Seçilen İç Ortam Sıcaklık Parametresinin Enerji-Maliyet-Çevre Açısından Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama Örneği”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2009.
- [13] AKTACİR M. A., BULUT H., DURMAZ A. F., “İklimlendirme Sistemleri İçin Soğutma Yüğü Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği 7. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, 2006.
- [14] YAVUZ H., “Isı kazancı hesaplamalarında CLTD/CLF ile RTS Metotlarının Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [15] Ashrae Fundamentals Handbook Fenestration, “Inc., Chapter 29-30”, 2001.
- [16] KINCAI, O., “Güneş Enerjisi Ders Notu”, 2015.
- [17] TS 3817 “Güneş Enerjisi- Su Isıtma Sistemlerinin Yapım Tesis ve İşletme Kuralları”, 1994.
- [18] Anonim, 2021, <http://www.sunmax.com.tr/index.php?t=urd&u=1&uk=8&i=16>, [Ziyaret tarihi: 07.01.2021]
- [19] YAZICI, H., “Denizli İlinde Bulunan Bir Bina nın TS 825 Hesap Yöntemine Göre Yıllık Isı İhtiyacının, Yakıt Maliyetinin Ve Emisyon Miktarının Belirlenmesi”, PAÜ Teknik Eğitim Fakültesi.
- [20] DULKADİROĞLU H., “Türkiye’de Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi”, Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı 1, 67-74, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Halil İbrahim ÇALIK

1983 yılı Dörtöyol-Hatay’da doğdu. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2006-2008 yılları arasında Beyaz Kâğıt Hijyenik ve Temizlik Ürünleri San. Tic. A.Ş. kimya-deterjan fabrikasının kurulumunda ve devamında bakım-onarım biriminde, 2008-2009 yılları arasında ABC Deterjan Sanayi ve Tic. A.Ş. fabrikasında bakım-onarım biriminde çalışmıştır. 2009 yılından beri DMO Genel Müdürlüğünde İnşaat-Emlak Şube Müdürlüğünde Teknik Uzman olarak çalışmaktadır. Mekanik Tesisat, Doğalgaz İç Tesisat, Endüstriyel Doğalgaz Tesisatı Yangın Tesisatı, Havalandırma Tesisatı, Soğutma Tesisatı ve Klima Tesisatı Uzman Mühendis Yetki Belgelerine sahiptir

Muammer ÖZGÖREN

1970 yılında Ereğli-Konya’da doğdu. Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 1993 yılında lisans eğitimini tamamladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden 1996 yılında yüksek lisans ve 2000 yılında doktora diplomasını aldı. 1998-2000 yılları arasında Doktora Tez çalışmalarını yapmak üzere ABD’de Lehigh Üniversitesi’nde proje asistanı olarak çalıştı. 2000-2002 yılları arasında özel sektörde çalıştı. 2002-2003 yılları arasında doktora sonrası çalışmalar yapmak üzere burslu misafir araştırmacı olarak Lehigh Üniversitesi’nde çalıştı. 2003 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yardımcı doçent olarak göreve başladı. 22 Şubat 2008 de Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Akışkanlar Mekaniği ve Aerodinamik uzmanlık dallarında Doçent oldu. 2013 yılında Profesör olarak atandı. Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Enerji Bilim Dalı’nda Öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Akışkanlar mekaniği, enerji yönetimi, ısı değiştiricileri, HVAC, konvansiyonel ve yenilenebilir enerji sistemleri ve uygulamaları üzerine çalışmakta ve çeşitli uluslararası ve ulusal yayınları bulunmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.

ENERJİ ETKİN YERLEŞME DOKUSU SEÇENEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of Energy Efficient Settlement Pattern Options

Gülten Manioğlu
Ş. Filiz Akşit
Neşe Ganiç Sağlam
Eda Köse Murathan
Halime Firdevs Taşkın

ÖZET

Binalara duyulan gereksinim nüfusla birlikte arttıkça kentlerdeki mevcut ve çok yüksek değere sahip arazilerde daha yoğun ve yüksek yerleşmeler oluşmaya başlamıştır. Sadece mevcut yoğunluğun barınma gereksinimine odaklanan ve pasif tasarım kararlarını göz ardı eden tasarımlarda, kullanıcıların ısı konfor koşullarını sağlayabilmek ancak ek aktif sistemler kullanarak, dolayısıyla ek enerji harcayarak sağlanabilmektedir. Bu nedenle kentlerde, yerleşme ve bina ölçeğindeki tasarım ve planlama çalışmalarının; enerjiyi koruyacak şekilde geliştirilmesi ve bu amaca hizmet edecek “enerji etkin” planlama yaklaşımlarının üretilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaca yönelik olarak; İstanbul’da yoğun ve bitişik nizam yerleşmelerde sıkça uygulanan; uluslararası literatürde “kentsel kanyonlar” olarak ifade edilen sıra bina grupları incelenmiştir. Bu binalardan oluşan yerleşme dokusu seçeneklerine ilişkin; bina yükseklikleri, yol ve arka bahçe genişlikleri ve yönlendirme değişkenlerine bağlı olarak, enerji hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; tüm yerleşme dokusu seçenekleri arasında en düşük toplam enerji yüklerinin; 5 katlı binalarda, arka bahçe ve yol genişliklerinin maksimum olduğu koşullarda, K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkin bina ve yerleşme, Yönlendirme, Isıtma ve soğutma yükleri, Pasif tasarım kararları.

ABSTRACT

As the need for buildings increased with the population, a denser and high-rise settlements began to occur in the existing and very high value lands in the cities. In designs that focus only on the housing needs of the existing population and ignore passive design decisions, it has become possible to provide the thermal comfort conditions of the users only by using additional active systems, thus consuming additional energy. Consequently, in cities, design and planning studies at the settlement and building scale; it has become a necessity to develop energy-efficient planning approaches that will serve this purpose. For this purpose; frequently applied in dense and adjacent settlements in Istanbul; row building groups, which are expressed as “urban canyons” in the international literature, have been examined. Regarding the settlement texture options consisting of these buildings; energy calculations were made based on building heights, road and backyard widths, and orientation variables. As a result of the calculations, It has been determined that, among all settlement texture options, the lowest total energy loads occurs in 5-storey buildings with maximum backyard and road widths, in K5-B21-Y20-K/G option.

Key Words: Energy efficient building and settlement, Orientation, Heating and cooling loads, Passive design decisions.

1. GİRİŞ

Kentleşme, küresel sosyo-ekonomik gelişme için bir güç olmakla birlikte; enerji ve kaynak kıtlığı, çevresel sorunlar ve güvenlik riski gibi alanlarda da bir dizi soruna yol açabilmektedir [1]. UN-DESA'ya göre [2], 2030 yılında %60, 2050 yılında ise %70 eşiğini geçmesi beklenen küresel kentleşme oranları, kentsel dönüşümün aciliyetini ortaya koymaktadır. Binalara duyulan gereksinim nüfusla birlikte arttıkça kentlerdeki mevcut ve çok yüksek değere sahip arazilerde daha sıkışık ve yüksek bir yapılaşma ve daha yoğun yerleşmeler oluşmaya başlamıştır. Sayısal konut açığını kapatmak amacıyla üretilen bu yerleşmelerde aynı anda çok sayıda konut üretildiğinden, tasarım aşamasında alınacak kararlar aynı anda yüzlerce konutu ve binlerce kullanıcıyı etkilemektedir. Tasarım aşamasında alınabilecek pasif tasarım kararları ile ısı konfor koşullarını doğal yollarla ve ek enerji kaynakları minimum kullanılarak sağlamak olanaklıdır. Ancak sadece mevcut yoğunluğun barınma gereksinimine odaklanan ve pasif tasarım kararlarını göz ardı eden tasarımlarda, kullanıcıların ısı konfor koşullarını sağlayabilmek ancak ek aktif sistemler kullanarak bir başka deyişle ek enerji harcayarak olanaklı olmaya başlamıştır. Bu nedenle kentlerde, yerleşme ve bina ölçeğindeki tasarım ve planlama çalışmalarının; enerjiji koruyarak ısı konfor koşullarını sağlayacak şekilde geliştirilmesi ve bu amaca hizmet edecek “enerji etkin” planlama yaklaşımlarının üretilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Ayrıca; enerjide dış ülkelere bağımlılığın herhangi bir küresel krizde enerjinin sürekliliğini tehlikeye atması, doğal kaynakların tükenmesi, çevre kirliliğinin artması ve insan sağlığını bozan düzeye ulaşması gibi etkenler yüksek enerji harcamalarının görüldüğü konut sektöründe, yapma ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji harcamalarının minimum düzeye indirgenmesini zorunlu kılmaktadır.

Bina ve yerleşme tasarımında ele alınan; binaların ve yerleşmelerin yönlendiriliş biçimi, binaların yükseklikleri ve birbirlerine göre konumları, bina kabuğunun optik ve termo-fiziksel özellikleri gibi tasarım değişkenleri binaların enerji harcamaları üzerinde etkili olan ve dikkatle ele alınması gereken değişkenlerdir. Planlama stratejileri için öngörülebilir bu değişikliklerin öncelikle yerleşme ölçeğinde ele alınması gerekmektedir. Yerleşme ölçeğinde binaların birbirleri ile olan mesafeleri, imar planlarına bağlı olarak planlanmış olan binalar arasındaki bahçe mesafeleri ve yol genişlikleri ile doğrudan ilişkilidir. Binanın fonksiyonuna ve iklim bölgesine bağlı olarak, güneş ışınımının ısıtıcı etkisinden pasif ısıtma ve iklimlendirmede yararlanma veya kaçınma, binalar arasındaki açık mekânların ölçülerinin bir fonksiyonudur. Güneş ışınımının yerleşme dokusundaki bina aralıklarına etkinliği incelenirken öncelikle binanın hangi iklim şartlarında olduğu belirlenmelidir. Isıtma öncelikli bölgelerde cephelerin güneş ışınımından maksimum fayda sağlanması için bina aralıkları çevre binaların oluşturduğu en uzun gölgeli alan derinliğine eşit veya bu derinlikten fazla olmalıdır. Soğutma öncelikli bölgelerde ise bina cephelerinde güneş ışınım kazancının minimum olması ve soğutma enerji harcamalarının azaltılması için, bina aralıkları, çevre binaların gölge derinliklerinden az olmalıdır [3]. Bu nedenle yerleşme ölçeğinde, binanın formunun bileşenleri olan, bina yükseklikleri ve bina bloklarının uzunlukları da dikkate alınmalıdır. Kaldırım genişliklerinin de belirleyicisi olan yol genişlikleri de ele alınarak en uygun bina aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

Hacimlerde gerçekleşen ısı kayıp ve kazançlarının değişimine etki etmesi nedeniyle, binaların yönlendiriliş durumu bina içi hacimlerde iklimsel konforu etkileyen bir diğer yapma çevre değişkenidir. Güneş ışınımı kazancı bina cephelerinin yönlendiriliş durumlarına göre değişim göstermektedir. Binaların yönlendiriliş durumu pasif iklimlendirme açısından, güneş ışınımı kazancından faydalanmak veya korunmak ile ilgilidir [4]. Binanın dış kabuğunun optik ve termo-fiziksel özelliklerine bağlı olarak, bina yüzeyine gelen güneş ışınımından kazanılan ısı miktarı, binanın yönlendiriliş durumuna göre değişkenlik göstererek iç iklimsel konforu etkileyen iç hava sıcaklığı ve ortalama ışınimsal sıcaklık gibi parametreleri etkilemektedir [5]. Bu nedenle farklı yönlere bakan bina kabuğunun yüzeylerini etkileyen güneş ışınım şiddetleri de farklılık gösterecektir.

Bina ve yerleşme dokusu konusunda yapılmış pek çok çalışmada teorik kentsel dokularda parametrik yaklaşımlarla performans analizleri yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir bölümü bina yüksekliği(H) ile yol genişliği(W) oranının farklı değerlerinin esas alınarak yerleşmeye ilişkin önerilerin geliştirildiği çalışmalardır [6],[7],[8],[9],[10]. Bu çalışmaların tamamında H/W oranı için sabit değerler belirlenmiştir. Çalışmaların büyük bir bölümü de bina formu ve kentsel morfoloji etkisinde çevresel performansların değerlendirilmesine dayalıdır [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17],[18], [19]. Bu çalışmada ise, imar yönetmeliklerinde belirlenmiş olan binaya ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri değerleri, güncel uygulamalarda ele alındığı şekli ile kabul edilerek değerlendirilmiştir. Çalışmada pilot bölge olarak

kentsel yoğunluğu ve kentsel dönüşüm hızı çok yüksek olan İstanbul ili seçilmiştir. Çalışmada, İstanbul ilinde yoğun şehir dokusu içinde belirlenmiş olan bir alanda, enerji etkin bina ve yerleşme dokusu tasarımı için öneriler geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışma alanı olarak İstanbul ilinin seçilmesinde, kentsel dönüşüm nedeniyle çok sayıda bina ve yerleşmenin İstanbul'da inşa edilmesi ve bu yerleşmelerin sayılarının giderek artması etken olmuştur. Ayrıca İstanbul ilinin 2020 yılı itibari ile Türkiye nüfusunun yaklaşık %18 ine sahip olduğu belirlenmiştir [20]. Bu nedenle İstanbul, kentsel dönüşüm çalışmaları ile birlikte yoğunluğu hızla artmakta olan bir metropol haline gelmiştir.

2. ENERJİ ETKİN YERLEŞME DOKUSU SEÇENEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Enerji etkin tasarım değişkenlerine ait uygun değerlerin belirlenmesi; yerleşme ölçeğinde; binanın bulunduğu yerin ve yoğunluğunun belirlenmesi, bina ölçeğinde; bina formunun ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, bina grupları ölçeğinde ise; bina yükseklikleri, sıra blok uzunlukları, yol ve arka bahçe genişlikleri ve yönün belirlenmesi, binalar arasında kullanılacak yüzey örtü malzemelerinin ve alanlarının belirlenmesi adımlarından oluşmaktadır.

2.1. Yerleşmeye ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

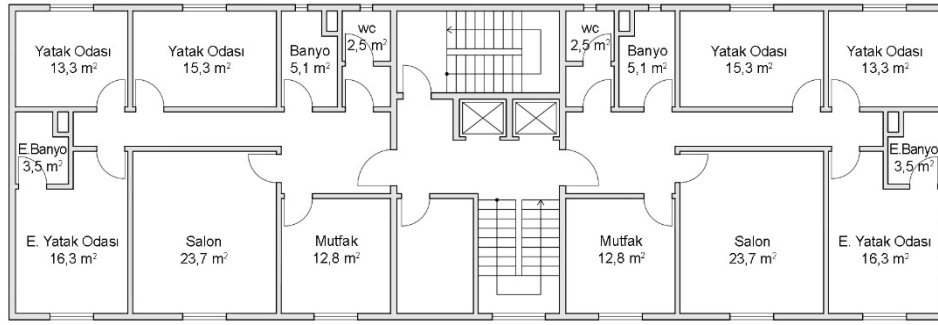
Bu adımda, yöntemin uygulanacağı 40.970 enlem ve 28.820 boylam koordinatlarında ve denizden 37m yükseklikte bulunan İstanbul'da [21], farklı yerleşme dokusu seçeneklerinin oluşturulabilmesi için, yoğun şehir dokusu içinde yaklaşık 100.000 m²'lik düz bir alan seçilmiştir. Belirlenmiş alanda 3000 kişinin yaşayacağı kabul edilerek aynı sayıda kişiyi içinde barındırabilecek (\pm %10) farklı yerleşme dokusu seçeneklerine ilişkin değişkenlerin sınır değerleri tanımlanmıştır.

2.2. Bina ve Bina Gruplarına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

İstanbul'da yoğun ve bitişik nizam yerleşmelerin olduğu ilçelerde sıkça uygulanan, uluslararası literatürde kentsel kanyonlar (urban canyon) olarak ifade edilen sıra bina uygulama örnekleri imar planları üzerinde incelenmiş [22], [23], [24], [25], [26]; ve ardından en çok uygulanan ada boyutları tespit edilmiştir. Çalışma alanı, İstanbul'un bitişik düzende en yoğun yerleşmelerinin olduğu semtlerde imar planlarında belirlenmiş olan mevcut ve en sık rastlanan ada boyutları esas alınarak belirlenmiştir. Buna göre binalar bir ada üzerinde, bitişik ve sıra bina düzeninde, sırt sırta gelecek şekilde kurgulanmakta ve bu kurguya göre; binaların birbirlerine göre mesafeleri sonucu oluşan arka bahçe boyutları, bina yükseklikleri ve buna bağlı olarak da yol ve arka bahçe genişlikleri gibi değişkenler farklılık göstermektedir. Binalara ilişkin boyutlar, bina kabuğu toplam ısı geçirme katsayısı, saydamlık oranı ve yön; enerji ve ısı konfor hesaplama sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte binalar arası mesafeler, (yol ve arka bahçe genişlikleri vb.) güneş ışınımı kazançları dolayısıyla ısı kayıp ve kazanç miktarları üzerinde etkilidir. Bu nedenle bu çalışmada, İstanbul'da yoğun ve bitişik nizam yerleşmelerin olduğu ilçelerde sıkça uygulanan sıra blok gruplarına ilişkin sıra blok uzunluğu, bina yükseklikleri, yol ve arka bahçe genişlikleri ve örnek plan tipleri, İstanbul imar planları [27], yönetmelikler [28] ve yangın yönetmelikleri [29] de dikkate alınarak belirlenmiştir.

Bina formunun belirlenmesi

Bina gruplarındaki sıra blokları oluşturacak olan konut binasına ilişkin plan tipinin ve bina formunun tanımlanmasında 4 kişilik çekirdek bir ailenin 3 yatak odalı bir evde yaşayacağı senaryosu esas alınmıştır [20]. Buna göre her katta karşılıklı 2 daireden oluşan bir konut planı tasarlanarak, 12 m. / 30 m. boyutunda bitişik nizam yerleşmeye uygun bina formları oluşturulmuştur (Şekil 1). Konut planlamasında, özellikle sağlık nedeniyle doğal havalandırmaya olanak verecek çapraz havalandırma düzenlemeleri de öngörülmüştür. Bina yükseklikleri (H), 5 katlı bina için 15m, 7 katlı bina için 21m ve 10 katlı bina için ise 30m olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Örnek Konut planı

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada; bina kabuğunun, minimum yapma ısıtma ve iklimlendirme takviyesine ihtiyaç duyulmasına olanak veren optimal sistem ögesi olarak işlevini yerine getirmesini sağlamak amaçlanmaktadır. Bina kabuğu, saydam ve opak bileşenlerden oluşan, iç ortamı dış çevreden ayıran, dış çevrenin iklim koşullarının etkisini iç mekâna aktaran ve bu sayede iç ortam konfor koşulunu etkileyen önemli değişkenlerden biridir. Binalarda enerji harcamalarının azaltılması ve optimum iç ortam konfor koşulunun sağlanması açısından önemli bir role sahiptir ve iklim tiplerine göre termofiziksel özellikler değişkenlik gösterebilmektedir. Ele alınan konut binasında, ılımlı-nemli iklim tipinin temsili ili olan İstanbul için (2.bölge) TS825'e [30] göre belirtilen toplam ısı geçirme katsayısı değerleri dikkate alınarak bina kabuğu için katmanlaşma detayları önerilmiştir (Tablo 1). Yapılan hesaplamalarda, saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı değeri $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, güneş ışınımı kazancı katsayısı değeri (Solar heat gain coefficient) 0,6 ve görünür geçirgenlik değeri (visible transmittance) 0,7 olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan binalarda saydamlık oranları %0 ve %30 olarak alınmıştır.

Bina gruplarına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

İstanbul'da yoğun ve bitişik nizam yerleşmelerin olduğu ilçelerde sıkça uygulanan, kentsel kanyonlarda yer alan sıra blok uygulama örnekleri İstanbul imar planları [27] ve yönetmelikler [28], [29] de esas alınarak incelenmiştir. Buna göre; önceki adımlarda tasarlanmış olan binalardan oluşan sıra bloklar sırt sırta gelecek şekilde, ön cephelerinde yol, arka cephelerinde ise bina yüksekliğine bağlı olarak belirlenmiş arka bahçe mesafesi bırakılarak kurgulanmışlardır. İncelenen sıra blok tipindeki yerleşmelerde uygulanan minimum boyutlar çalışmada yapılacak olan hesaplamalarda başlangıç değerleri olarak kabul edilmiştir. Çalışmada binaların geniş cepheleri; Kuzey-Güney (K/G) ve Doğu-Batı (D/B) doğrultusunda yönlendirilecek şekilde ele alınmıştır.

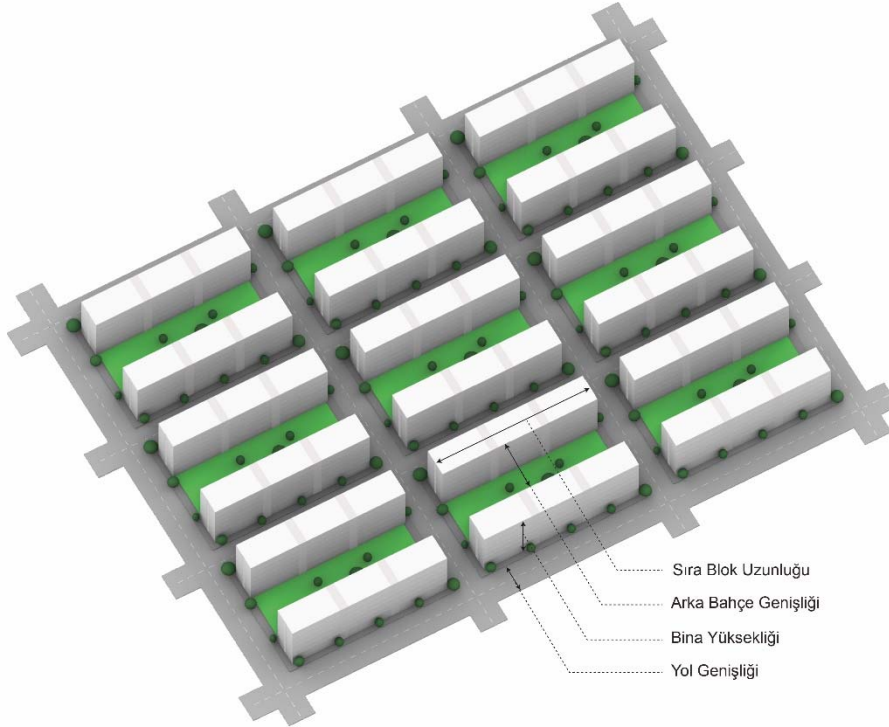
Bu değerlerden yola çıkarak; bina gruplarına ilişkin değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri,

- Bina yüksekliği (K) 5kat (15 m.), 7 kat(21m.), 10 kat (30 m.)
- Sıra blok uzunluğu (L), 60 m.-120 m.
- Arka bahçe genişliği (B), 6 m.-21 m.
- Yol genişliği (Y), 10 m.- 21 m.

olacak şekilde belirlenmiştir. Tüm bu değişkenlere bağlı olarak belirlenen yerleşme dokusu seçeneklerine ilişkin örnekler (5 katlı, 7 katlı ve 10 katlı) Şekil 3'de görülmektedir.

Tablo 1. Bina kabuğu katmanlaşma detayları

#	Malzemeler	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Dış Duvar	Alçı sıva	0.4	0.01	0.565
	Kireç Harcı	0.8	0.01	
	Tuğla	0.72	0.19	
	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
	Kireç sıva	0.8	0.02	
Zemine Oturan Döşeme	Ahşap Kaplama	0.14	0.03	0.561
	Şap	0.41	0.03	
	Hafif Beton	1.9	0.05	
	Betonarme	1.13	0.12	
	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
	Alçı sıva	0.4	0.01	
Çatı	Agrega-kum-çakıl	1.3	0.08	0.363
	Şap	0.41	0.03	
	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.08	
	Betonarme	1.13	0.12	
	Alçı sıva	0.4	0.01	
Bodrum kat döşemesi	Epoksi	0.25	0.01	1.72
	Şap	0.41	0.03	
	Tesviye Betonu	1.65	0.03	
	Temel Betonu	2.5	0.8	

**Şekil 3.** 5 katlı, 7 katlı ve 10 katlı olacak şekilde geliştirilen yerleşme dokusu

2.3 Hesaplamalara ilişkin kabullerin belirlenmesi

Hesaplamalarda İstanbul ili için; dış iklime ait 2007-2021 yıllarına ait verilerin ASHRAE metoduna göre ağırlıklandırılması ile oluşturulan tipik meteorolojik yıl (TMY) verileri kullanılmıştır [31].

Enerji hesaplamalarında, iç ısı kazançlarının etkisinin dahil edilmesi amacıyla; kullanıcı, elektrikli ekipman ve yapma aydınlatma sistemleri ile bunlara ait kullanım senaryoları da literatürdeki kaynaklar ve standartlar esas alınarak belirlenmiştir. Simülasyon parametrelerine ilişkin bu kabuller aşağıda açıklanmış ve Tablo 2’de özet olarak verilmiştir.

Kullanım senaryosu konut kullanıcısı aile bireylerinin hafta içi konut dışında çalıştığı ve eğitim gördüğü kabulüyle belirlenmiştir. Kullanıcı sayısı ve kullanıcıların aktivite düzeyleri için belirlenen senaryo, saat aralıklarına bağlı olarak verilmiştir.

Konut birimi içinde kullanılan elektrikli ekipmanlar için, farklı üretici firmaların ürettikleri ekipmanlara dair sunmuş oldukları güç değerleri, öngördükleri yıllık kullanım saatleri ve yıllık enerji tüketimleri esas alınarak, çalışmada belirlenen kullanıcı profiline uygun kullanım senaryoları oluşturulmuştur [32-34].

Yapma aydınlatma sistemi için toplam güç değerleri ASHRAE 90.1 standardına göre birim alan (m^2) başına 4,5 W olarak belirlenmiştir [35]. Aydınlatma elemanlarının tümünün gün boyunca kullanılmayacağı kabulü ile bu elemanların çalışma saatleri ve kullanım oranları, kullanıcıların konut içinde bulunma durumları ve gün uzunlukları dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre, yapma aydınlatmanın çalıştığı saat aralıklarının belirlenmesi için tüm yıldaki gün uzunlukları dikkate alınmış ve yıl üç farklı döneme ayrılmıştır. Konutlarda yaşama hacimleri için belirlenen aydınlatma planlamasının dışında, konut binası sirkülasyon alanındaki koridor ve asansörlerin kullanımı için de Energyplus örnek dosyalarında konut binaları için önerilen aydınlatma kullanım planlaması çalışmaya uygun bulunarak simülasyonlara girdi olarak tanımlanmıştır.

İklimlendirme sistemi için, EnergyPlus’ın ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının %100 verimle karşılandığı varsayılarak hesaplama yapılmasına olanak tanıyan “Ideal Air Load” bileşeni kullanılmıştır [36] İstanbul ili için yıl boyunca optimum iç ortam sıcaklığı konfor değeri ısıtma döneminde $20^{\circ}C$, soğutma döneminde ise $26^{\circ}C$ olarak kabul edilmiştir.

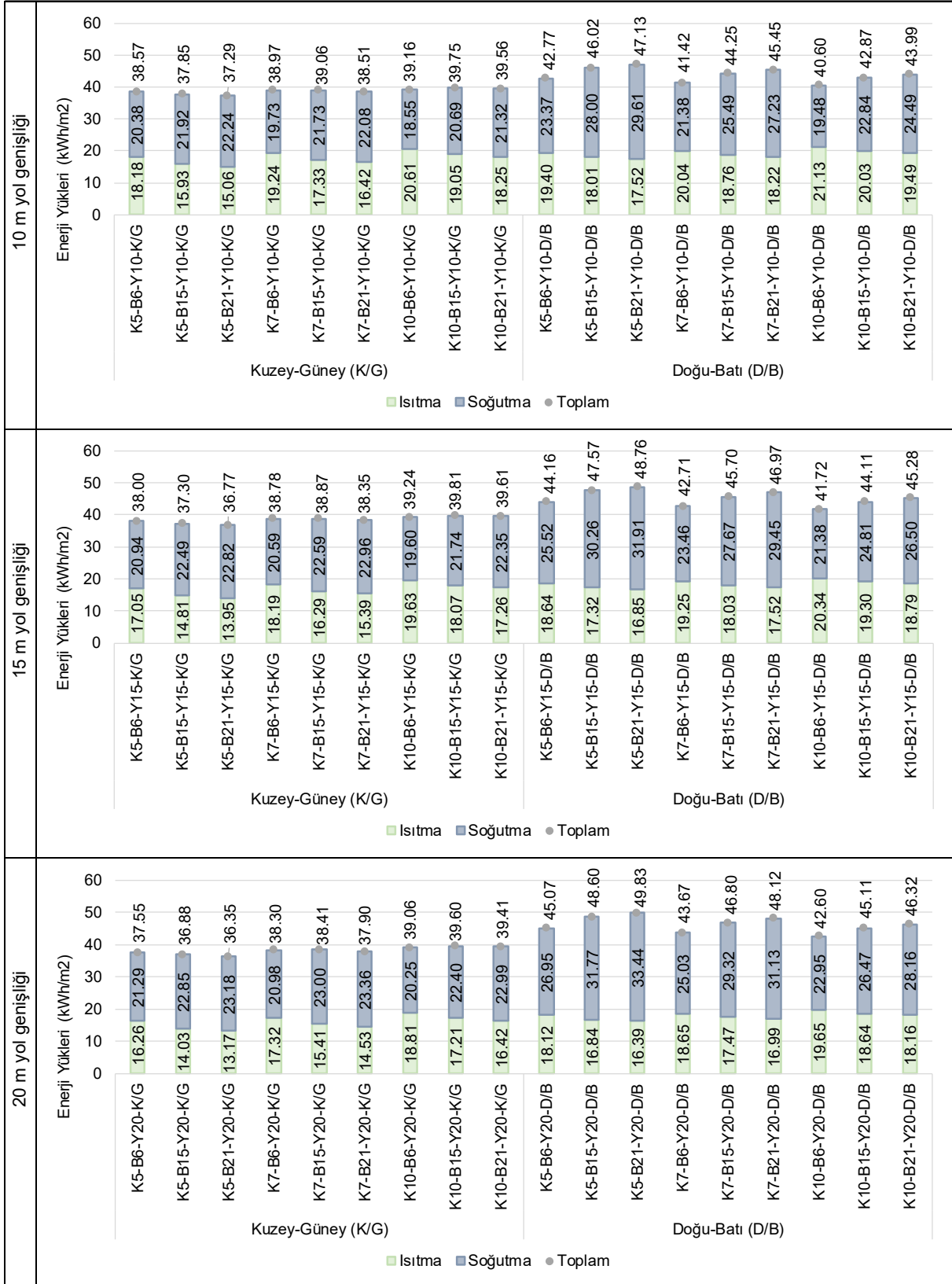
Tablo 2. Çalışmada kullanılan simülasyon parametreleri

Parametreler	Değerler	
Kullanıcı		
Aktivite düzeyi [37]	Haftaiçi 00:00-07:30 arası 40 W/m ² (4 kişi) 07:30-19:30 arası 0 W/m ² (0 kişi) 19:30-24:00 arası 60 W/m ² (4 kişi)	Haftasonu 00:00-09:30 arası 40 W/m ² (4 kişi) 09:30-12:30 arası 80 W/m ² (4 kişi) 12:00-18:00 arası 100 W/m ² (2 kişi) 18:00-24:00 arası 60 W/m ² (2 kişi)
HVAC		
Optimum bağıl nem	%50	
İnfiltrasyon	0.5 airchange/hour	
Ekipman [32-34]	Haftaiçi 00:00-07:00, 07:30-19:00 ve 19:00-24:00 arası 38.4 W/h 07:00-07:30 arası 652.8 W/h 19:00-22:00 arası 1161 W/h	Haftasonu 00:00-09:30 ve 12:00-18:00 arası 38.4 W/h 09:30-10:00 arası 652.8 W/h 10:00-12:00 ve 18:00-24:00 arası 890 W/h
Aydınlatma	4,5 W/m ² LPD değeri-Lighting Power Density [35]	
	Haftaiçi	Haftasonu
1 Ocak-28 Şubat	00:00-06:00 = %5	00:00-18:00= %5
1 Ekim-31 Aralık	06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	18:00-24:00= %50
1 Mart-30 Nisan	00:00-06:00 = %5	00:00-19:00= %5
1 Ağustos-30 Eylül	06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	19:00-24:00= %50
1 Mayıs-31 Temmuz	00:00-07:00 = %5 07:00-20:30= %0 20:30-24:00= %50	00:00-20.30= %5 20:30-24:00= %50

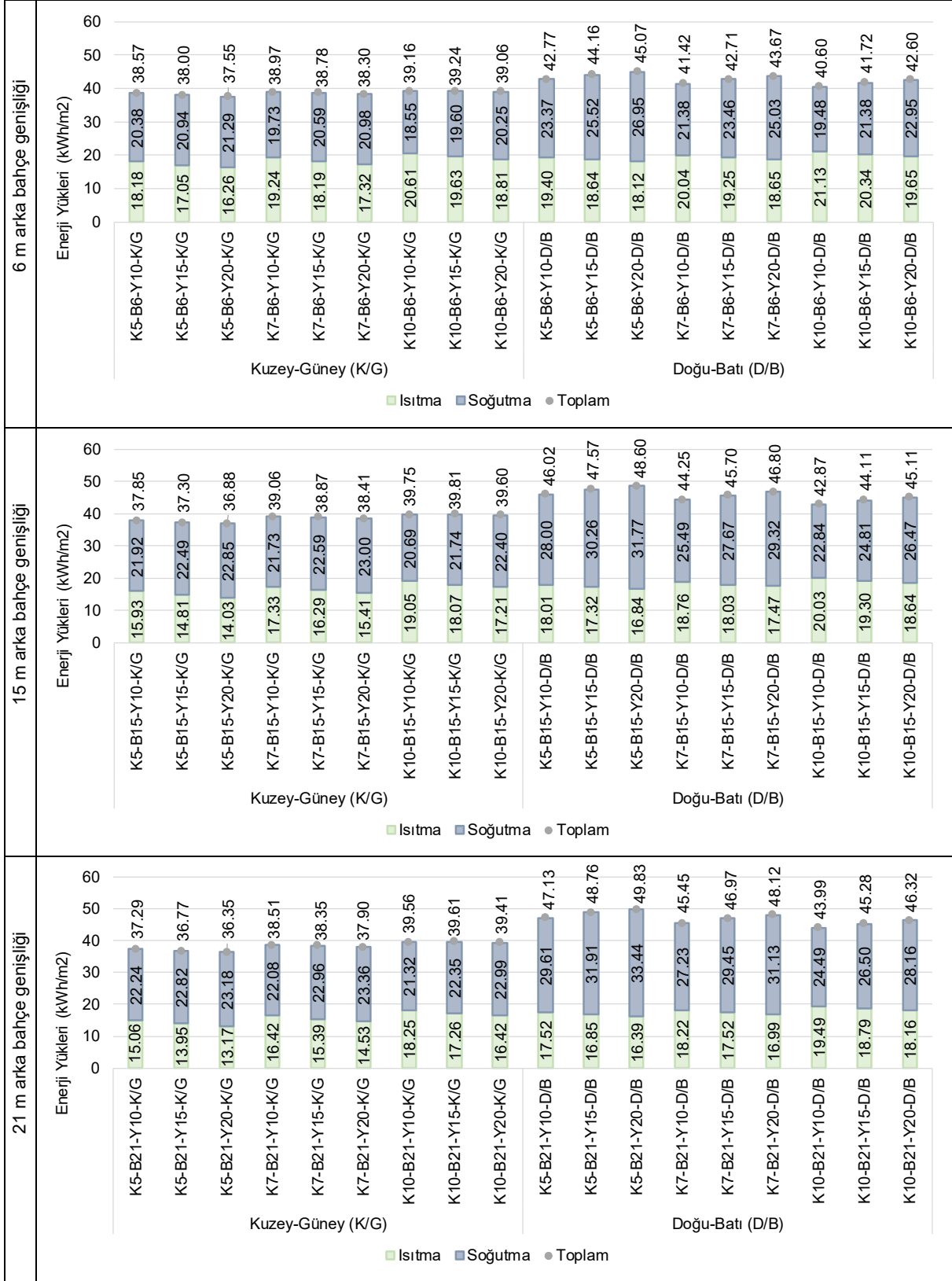
2.4. Enerji Hesaplamalarının Yapılması

Bina yüksekliği, arka bahçe genişliği, yol genişliği, sıra blok uzunluğu gibi değişkenleri tanımlanmış olan olası tüm yerleşme dokusu seçeneklerinin performansı yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri, (kWh/m²) Energyplus çözücüsü yardımıyla hesaplanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir [36]. Simülasyon programı DOE-2 ve BLAST programlarının geliştirilmesi ile meydana getirilmiş olan EnergyPlus, modüler bina enerji hesaplaması yapabilen ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir programdır. Bu simülasyon aracı, tüm etmenlerin birleşik etkisi altında binalarda oluşan ısı dengesinin, binanın ısı yükünün ve enerji tüketiminin dinamik olarak hesaplanmasını, ısıtma ve soğutma sistemlerinin boyutlandırılmasını ve performanslarının değerlendirilmesini olanaklı kılan, HVAC sistem bileşenleri ve işletimi ile ilgili detaylı donanıma sahip, yaygın kullanılan bir araçtır. EnergyPlus hesaplama algoritması olarak CTF (Conduction Transfer Function) yöntemi seçilmiştir.

Yerleşmenin Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularında olması halinde, ısıtma soğutma ve toplam enerji yükü hesaplama sonuçları; binaların farklı kat yükseklikleri için yol genişliğine bağlı olarak Şekil 4' de ve arka bahçe genişliğine bağlı olarak Şekil 5' de gösterilmiştir.



Şekil 4. Yol genişliğine bağlı ısıtma soğutma ve toplam enerji yükü hesaplama sonuçları



Şekil 5. Arka bahçe genişliğine bağlı ısıtma soğutma ve toplam enerji yükü hesaplama sonuçları

2.5. Bulguların Değerlendirilmesi

Yerleşmenin Kuzey-Güney ve Doğu- Batı doğrultusunda olması halinde ısıtma soğutma ve toplam enerji yükü hesaplama sonuçları; binaların farklı kat yükseklikleri için yol genişliğine ve arka bahçe genişliğine bağlı olarak Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir.

KUZEY-GÜNEY doğrultusundaki yerleşme dokusu seçenekleri;

ısıtma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²'ye düşen ısıtma yükünün, 5 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen ısıtma yükünün de arttığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği arttıkça, ısıtma yükünün azaldığı, en düşük ısıtma yükünün, bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu ve en yüksek ısıtma yükünün de bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği arttıkça, m² ye düşen ısıtma yükünün azaldığı, minimum ve maksimum ısıtma yükü farkının 5 katlı binalarda %27,55, 7 katlı binalarda %24,48 ve 10 katlı binalarda ise %20,32 oranında değiştiği,
- Minimum ısıtma yükünün, 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde, maksimum ısıtma yükünün ise 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu K10-B6-Y10-K/G seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen ısıtma yükü farkının % 36,09 olduğu görülmüştür.

soğutma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²'ye düşen soğutma yükünün, 10 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen soğutma yükünün de azaldığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği azaldıkça soğutma yükü azalmaktadır. En düşük soğutma yükünün, bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu ve en yüksek soğutma yükünün ise bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği azaldıkça, m² ye düşen soğutma yükünün azaldığı, minimum ve maksimum soğutma yükü farkının 5 katlı binalarda % 12,07, 7 katlı binalarda %15,53 ve 10 katlı binalarda ise % 19,31 oranında değiştiği,
- Minimum soğutma yükünün, 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu K10-B6-Y10-K/G seçeneğinde, maksimum soğutma yükünün ise 7 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu K7-B21-Y20-K/G seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen soğutma yükü farkının % 11,08 olduğu görülmüştür.

toplam enerji yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²'ye düşen toplam enerji yüklerinin, 5 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen toplam enerji yüklerinin de arttığı,
- Minimum toplam enerji yükünün, 5 katlı, minimum arka bahçe (B=21m.) ve maksimum yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde, maksimum toplam enerji yükünün ise 10 katlı, maksimum arka bahçe (B=15m.) ve yol genişliğinin Y=15 m. olduğu K10-B15-Y15-K/G seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen toplam enerji yükü farkının % 8,69 olduğu görülmüştür.

DOĞU-BATI doğrultusundaki yerleşme dokusu seçenekleri;

ısıtma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²'ye düşen ısıtma yükünün, 5 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen ısıtma yükünün de arttığı,

- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği arttıkça, ısıtma yükünün azaldığı ve en düşük ısıtma yükünün, bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu ve en yüksek ısıtma yükünün de bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği arttıkça, m² ye düşen ısıtma yükünün azaldığı, minimum ve maksimum ısıtma yükü farkının 5 katlı binalarda %15,51, 7 katlı binalarda %15,21 ve 10 katlı binalarda ise % 14,05 oranında değiştiği,
- Minimum ısıtma yükünün, 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu K5-B21-Y20-D/B seçeneğinde, maksimum ısıtma yükünün ise 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu K10-B6-Y10-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²ye düşen ısıtma yükü farkının %22,43 olduğu görülmüştür.

soğutma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²ye düşen soğutma yükünün, 10 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²ye düşen soğutma yükünün de azaldığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği azaldıkça soğutma yükü azalmaktadır. En düşük soğutma yükünün, bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu ve en yüksek soğutma yükünün ise bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği azaldıkça, m² ye düşen soğutma yükünün azaldığı, minimum ve maksimum ısıtma yükü farkının 5 katlı binalarda % 30,11, 7 katlı binalarda %31,32 ve 10 katlı binalarda ise % 30,82 oranında değiştiği,
- Minimum soğutma yükünün, 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu K10-B6-Y10-D/B seçeneğinde, maksimum soğutma yükünün ise 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=12m.) ve yol genişliğinin (Y=21m.) olduğu K5-B21-Y20-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²ye düşen soğutma yükü farkının % 41,74 olduğu görülmüştür.

toplam enerji yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, m²ye düşen toplam enerji yüklerinin, 10 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²ye düşen toplam enerji yüklerinin de azaldığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği arttıkça, toplam enerji yüklerinin arttığı,
- Minimum toplam enerji yükünün, 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve minimum yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu K10-B6-Y10-D/B seçeneğinde, maksimum toplam enerji yükünün ise 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu K5-B21-Y20-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²ye düşen toplam enerji yükü farkının % 18,19 olduğu görülmüştür.

KUZEY-GÜNEY ve DOĞU-BATI doğrultusundaki yerleşme dokusu seçenekleri;

ısıtma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, yerleşmenin doğrultusu K/G veya D/B iken, m²ye düşen ısıtma yükünün, 5 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²ye düşen ısıtma yükünün de arttığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği arttıkça, en düşük ısıtma yükünün, arka bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu ve en yüksek ısıtma yükünün de arka bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, en düşük ısıtma yükünün, yerleşmenin K/G doğrultusunda ve bina aralıklarının maksimum (B=21m., Y=20m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği; en yüksek ısıtma yükünün ise yerleşmenin D/B doğrultusunda ve bina aralıklarının minimum (B=6m., Y=10m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği arttıkça, m² ye düşen ısıtma yükünün azaldığı ve minimum ve maksimum ısıtma yükü farkının 5 katlı binalarda % 32,62, 7 katlı binalarda %27,49 ve 10 katlı binalarda ise % 22,29 oranında değiştiği,

- Minimum ısıtma yükünün, 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu K/G olan K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde, maksimum ısıtma yükünün ise 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu D/B olan K10-B6-Y10-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen ısıtma yükü farkının % **37,67** olduğu,
- Tüm bina yükseklikleri için, en düşük ısıtma yüklerinin daima Kuzey-Güney doğrultusundaki yerleşmelerde, en yüksek ısıtma yüklerinin ise daima Doğu-Batı doğrultusundaki yerleşmelerde gerçekleştiği görülmüştür.

soğutma yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı arka bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, yerleşmenin doğrultusu K/G veya D/B iken, m²'ye düşen soğutma yükünün, 10 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen soğutma yükünün de azaldığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, yol genişliği arttıkça, en düşük soğutma yükünün, arka bahçe genişliğinin minimum (B=6m.) olduğu ve en yüksek soğutma yükünün de arka bahçe genişliğinin maksimum (B=21m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, en düşük soğutma yükünün, yerleşmenin K/G doğrultusunda ve bina aralıklarının minimum (B=6m., Y=10m.) olduğu seçeneklerde, en yüksek soğutma yükünün ise yerleşmenin D/B doğrultusunda ve bina aralıklarının maksimum (B=21m., Y=20m.) olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Arka bahçe ve yol genişliği azaldıkça, m² ye düşen soğutma yükünün azaldığı ve minimum ve maksimum soğutma yükü farkının 5 katlı binalarda %**39,05** , 7 katlı binalarda %**36,62** ve 10 katlı binalarda ise %**34,12** oranında değiştiği,
- Minimum soğutma yükünün, 10 katlı, minimum arka bahçe (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu K/G olan K10-B6-Y10-K/G seçeneğinde, maksimum soğutma yükünün ise 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=21m.) ve yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu D/B olan K5-B21-Y20-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen soğutma yükü farkının %**44,52** olduğu,
- Tüm bina yükseklikleri için, en düşük soğutma yüklerinin daima Kuzey-Güney doğrultusundaki yerleşmelerde, en yüksek soğutma yüklerinin ise daima Doğu-Batı doğrultusundaki yerleşmelerde gerçekleştiği görülmüştür.

toplam enerji yükleri açısından değerlendirildiğinde;

- Aynı bahçe ve yol genişliğine sahip yerleşmelerde, yerleşmenin doğrultusu K/G veya D/B iken, m²'ye düşen toplam enerji yüklerinin, 5 katlı binalarda her zaman daha düşük olduğu ve bina yüksekliği arttıkça m²'ye düşen toplam enerji yüklerinin de arttığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, arka bahçe genişliğinin (B=6m.) ve yol genişliğinin (Y=10m.) minimum olduğu seçeneklerin en düşük toplam enerji yükünü gerçekleştirdiği,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı seçeneklerin hepsinde, en düşük toplam enerji yükünün, yerleşmenin K/G doğrultusunda ve en yüksek toplam enerji yükünün ise yerleşmenin D/B doğrultusunda olduğu seçeneklerde gerçekleştiği,
- Minimum ve maksimum toplam enerji yüklerinde 5 katlı binalarda % **27,05**, 7 katlı binalarda % **21,23** ve 10 katlı binalarda ise %**18,58** oranında değişim olduğu,
- Minimum toplam enerji yükünün, 5 katlı, minimum arka bahçe (B=21m.) ve maksimum yol genişliğinin (Y=20m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu K/G olan K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde, maksimum toplam enerji yükünün ise 5 katlı, maksimum arka bahçe (B=12m.) ve yol genişliğinin (Y=21m.) olduğu ve yerleşim doğrultusu D/B olan K5-B21-Y20-D/B seçeneğinde gerçekleştiği ve bu iki seçenek arasındaki m²'ye düşen toplam enerji yükü farkının % **27,05** olduğu,
- ~~K/G ve D/B doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde, tüm binalarda soğutma yüklerinin ısıtma yüklerinden her zaman daha yüksek çıktığı görülmüştür.~~

SONUÇ

Bu çalışmada, kent içi bina ve yerleşme dokusu planlamasında etkili olan, bina yükseklikleri, sıra blok uzunlukları, yol ve arka bahçe genişlikleri ve yön değişkenlerinin etkisinde binalarda oluşan ısıtma ve soğutma yükleri belirlenmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmaya ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda görülmektedir.

K/G ve D/B doğrultusundaki yerleşme dokusu seçenekleri karşılaştırıldığında,

- Soğutma yüklerinin ısıtma yüklerinden her zaman daha yüksek çıktığı,
- Minimum ısıtma yüklerinin 5 katlı binalarda, minimum soğutma yüklerinin ise 10 katlı binalarda gerçekleştiği,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı binalarda, bina aralıkları arttıkça (B=21, Y=20) ısıtma yükünün azaldığı, bina aralıkları azaldıkça (B=6, Y=10) soğutma yükünün azaldığı,
- 5 kat, 7 kat ve 10 katlı binalarda, en düşük ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin her zaman K/G doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde, en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji yüklerinin ise her zaman D/B doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde gerçekleştiği,
- D/B doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde, bina yüksekliği, arka bahçe ve yol genişliği değişkenlerindeki farklılıkların soğutma yüklerinin değişiminde daha etkili olduğu ve minimum ve maksimum soğutma yüklerinin gerçekleştiği K10-B6-Y10-D/B ve K5-B21-Y20-D/B yerleşmelerinde m² başına düşen soğutma yükünün %41,74 oranında değiştiği görülmektedir.

K/G ve D/B yerleşme dokusu seçenekleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde,

- m²'ye düşen toplam yük değeri açısından çok yakın sonuçlar veren farklı yerleşme dokusu seçenekleri olduğu görülmektedir. Bu durum, her farklı yönlendiriliş durumu için, farklı yerleşme dokusu seçenekleriyle aynı koşulların elde edilebileceğini ve böylece tasarımda esneklik sağlanabileceğini göstermektedir.
- K/G doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde, minimum ve maksimum toplam yüklerin, % 8,69 D/B doğrultusundaki yerleşme dokusu seçeneklerinde, minimum ve maksimum toplam yüklerin ise % 18,19 oranında değiştiği görülmektedir. Bu durum K/G yerleşmelerinde kullanıcıların enerji harcamaları farkının daha az olacağını ancak D/B yerleşmelerinde bu farkın neredeyse 2 katı kadar daha fazla olacağını göstermektedir.
- Yerleşme dokusu seçenekleri arasında ortaya çıkan m²'ye düşen toplam yük farkı üzerinde en etkili değişkenin yerleşmenin yönü olduğu görülmektedir
- Tüm yerleşme dokusu seçenekleri arasında en düşük toplam enerji yükleri; 5 katlı binalarda, arka bahçe ve yol genişliklerinin maksimum olduğu koşullarda, yani K5-B21-Y20-K/G seçeneğinde gerçekleşmiştir.

Mevcut iklimsel koşullar altında yapılan bu çalışmada yerleşmenin enerji etkinliği üzerinde farklı değişkenlerin farklı etkileri görülebilmektedir. Ancak küresel ısınma etkisinde gelecekte oluşacak iklim koşulları etkisinde bu değerlerin değişme olasılığı da oldukça yüksektir. Bu nedenle yerleşmelerin enerji etkinliğinin gelecek iklim koşulları için değerlendirilmesi, bugün tasarlanırsa bile gelecekte de kullanılacak olan binalar ve yerleşmelerde enerji harcamalarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yer alan tüm hesaplamalar, "121M573, Enerji ve Su Etkin Bina ve Yerleşme Tasarımına Yönelik Bir Yaklaşımın Geliştirilmesi" başlıklı TÜBİTAK 1001 projesinden elde edilmiştir. Projeyi destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, D., Xu, J., Zhang, Y., Wang, J., He, Z., Zhou, X., “Study on sustainable urbanization literature based on Web of Science, scopus, and China national knowledge infrastructure: A scientometric analysis in CiteSpace”, *Journal of Cleaner Production*, 264, 121537, 2020.
- [2] UN DESA, 2014, “World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights”, The United Nations Department of Economic and Social Affairs. <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf> Son erişim tarihi: 21 Ocak 2023.
- [3] Manioğlu, G., Yılmaz, Z., “Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey”, *Building and Environment*, 43 (7), 1301-1309, 2008.
- [4] Berköz, B., Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G. ve diğ., “Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı”, Tübitak-Intag, Proje No: İNTAG 201 Araştırma Raporu, İTÜ, İstanbul, 1995.
- [5] Manioğlu, G., “Enerji etkin tasarım ve yenileme çalışmalarının örneklerle değerlendirilmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (126), 2011.
- [6] Oke, T.R., “Street design and urban canopy layer climate”, *Energy and Buildings*, 11, 103-113.
- [7] Bourbia, F., Awbi, H.B., “Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate, Part 2: Shading simulations”, *Renewable Energy*, 29, 291-301, 1988.
- [8] Andreou, E., “Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate”, *Renewable Energy*, 55, 182-188, 2013.
- [9] Strømman-Andersen, J., Sattrup, P.A., “The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains” *Energy and Buildings*, 43, 2011-2020, 2011.
- [10] Mangan, S.D., Koclar Oral, G., Sozen, I., Erdemir Kocagil, I., “Evaluation of settlement textures in terms of building energy, economic performance, and outdoor thermal comfort”, *Sustainable Cities and Society*, 56, 102110, 2020.
- [11] Ratti, C., Raydan, D., Steemers, K., “Building form and environmental performance: Archetypes, analysis and an arid climate”, *Energy and Buildings*, 35, 49-59, 2003.
- [12] Ratti, C., Baker, N., Steemers, K., “Energy consumption and urban texture”, *Energy and Buildings*, 37, 762-776, 2005.
- [13] Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., Compagnon, R., “Urban form, density and solar potential”, PLEA2006: 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, 2006.
- [14] Tereci, A., Kesten, D., Tahira, S., Özkan, E., Eicker, U., “The Impact of the urban form on building energy demand”, 1st International Graduate Research Symposium on the Built Environment, METU, Ankara, 2010.
- [15] Van Esch, M.M.E., Looman, R.H.J., de Bruin-Hordijk, G.J., “The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies”, *Energy and Buildings*, 47, 189-200, 2012.
- [16] Martins, T.A.L., Adolphe, L., Bastos, L.E.G., “From solar constraints to urban design opportunities: Optimization of built form typologies in a Brazilian tropical city”, *Energy Build*, 76, 43-56, 2014.
- [17] Vartholomaos, A., “A parametric sensitivity analysis of the Influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean City”, *Sustainable Cities and Society*, 28, 135-145, 2017.
- [18] Vermeulen, T. Merino, L., Knopf-Lenoir, C., Villon, P., Beckers, B., “Periodic urban models for optimization of passive solar irradiation”, *Solar Energy*, 162, 67-77, 2018.
- [19] Deng, J.Y., Wong, N.H. “Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts”, *Sustainable Cities and Society*, 53, 101966, 2020.
- [20] Türkiye İstatistik Kurumu. “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS), 2020” https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059, Son erişim tarihi: 21 Ocak 2023.
- [21] Harita Genel Müdürlüğü. “Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası”. <https://www.harita.gov.tr/sunum/> Son erişim tarihi: 21 Ocak 2023.
- [22] Hu, C.B., Zhang, F., Gong, F.Y., Ratti, C., Li, X. “Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning”. *Building and Environment*, 167, 106424, 2019.
- [23] Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C., Wang, K. “Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage”, *Science of The Total Environment*, 726, 138147, 2020.

- [24] Deng, J.Y., Wong, N.H. "Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts", *Sustainable Cities and Society*, 53, 101966, 2020.
- [25] Evola, G., Costanzo, V., Magri, C., Margani, G., Marletta, L., Naboni, E., "A novel comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort and energy demand in urban canyons: Results and critical issues", *Energy and Building*, 216, 109946, 2020.
- [26] Camporeale, P.E., Mercader-Moyano, P., "Towards nearly Zero Energy Buildings: Shape optimization of typical housing typologies in Ibero-American temperate climate cities from a holistic perspective", *Solar Energy*, 193, 738-765, 2019.
- [27] İstanbul Büyükşehir Belediyesi. "İmar Planları" <https://application2.ibb.gov.tr/ibbwc/imarplanlari.aspx>, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [28] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2017. "Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği". <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.html>, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [29] İç İşleri Bakanlığı. 2007. "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik". <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm>, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [30] Türk Standartları Enstitüsü. 2008. TSE-825, "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları". <http://www.kutuphane.itu.edu.tr/arastirma/standartlar>, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [31] Climate.OneBuilding.Org, "Climate/Weather Data Sources", <http://climate.onebuilding.org/>, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [32] Url 1-Arçelik, www.arcelik.com.tr, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022.
- [33] Url 2-Vestel, www.vestel.com.tr, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022. .
- [34] Url 3-Bosch, www.bosch-home.com/tr, Son erişim tarihi: 21 Aralık 2022. .
- [35] ASHRAE, Standard 90.1., "Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings", 2019.
- [36] Url-4. <https://www.energy.gov>. 21 Aralık 2022.
- [37] ASHRAE, Standard 55., "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Gülten MANİOĞLU

Doç. Dr. Gülten Manioğlu 1993 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde öğretim görevlisidir. Binaların Enerji Etkin Tasarımı konularında çeşitli araştırma projelerinde yer almıştır. Enerji Etkin, Bina Tasarımı, Ekolojik Mimarlık, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Binalarda Su Korunumu, Yerleşmelerde Yağmur Suyu Eldesi konularında çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. 2009-2018 yılları arasında Uluslararası Yapı Fiziği Derneğinde (IABP) yönetim kurulu üyeliği yapmış olan G. Manioğlu, şu anda İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Fiziksel Çevre Kontrolü alanında eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.

Ş. Filiz AKŞİT

Doç. Dr. Ş. Filiz Akşit, 1989 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü, 1993 yılında İTÜ FBE Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programını ve 2002 yılında ise Yapı Bilgisi Doktora Programını tamamlamıştır. 1991 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde görevini sürdürmektedir. Enerji Etkin Bina Tasarımı, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Soğutma Enerjisi Korunumu vb. konularda çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. Halen İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Yapı Fiziği ve Fiziksel Çevre Kontrolü alanında eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.

Neşe GANIÇ SAĞLAM

2010 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü, aynı üniversitede 2012 yılında Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Yüksek Lisans Programını ve 2017 yılında Yapı Bilimleri Doktora Programını tamamlamıştır. 2011-2017 yılları arasında İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılından bu yana Özyeğin Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde Dr. Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır.

**Eda KÖSE MURATHAN**

1992 yılı Trabzon doğumludur. 2015 yılında KTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. 2019 yılında İTÜ Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programında Yüksek Mimar ünvanını almıştır. 2019 yılı itibariyle İTÜ Yapı Bilimleri Doktora Programında Doktora öğrenimine devam etmektedir. Aynı üniversitede 2017 yılından itibaren Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Bina ve yerleşmelerde enerji etkin tasarım konularında çalışmaktadır.

Halime Firdevs TAŞKIN

1995 yılı Zonguldak Ereğli doğumludur. 2018 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü (İngilizce) bitirmiştir. 2019 yılında özel sektörde mimar olarak görev almasının ardından 2020 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek lisans eğitimini 2022 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı'nda 'Su Korunumu Açısından Yerleşme Tasarımında Yüzeysel Akış Miktarının Değerlendirilmesi' adlı çalışma ile tamamlamıştır. Şu anda Araştırma Görevlisi görevine ve aynı üniversitenin Yapı Bilimleri Programı'nda doktora eğitimine devam etmektedir.

AVLULU BİNALARDA ÇEVRESEL PARAMETRELERİN DIŞ ORTAM KONFOR KOŞULU BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of Environmental Parameters in terms of Outdoor Comfort Conditions in Urban Courtyard Blocks

Eda Köse Murathan
Gülten Manioğlu

ÖZET

Kentlerdeki nüfus artışı, yerleşmeleri yoğunlaştırmakla birlikte çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Artan enerji tüketimleri sebebiyle oluşan sera gazı emisyonları iklim değişikliğine sebep olmakta ve yerleşmelerde mikro iklimi değiştirerek dış ortam konfor koşullarını da olumsuz etkilemektedir. Bina ölçeğinde alınan kararlar ile enerji tüketimleri azaltılabilir, iç ve dış ortam ısı konfor koşulları kontrol edilebilir. Dolayısıyla, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan önlemlerin bütünsel bir yaklaşım ile düşünülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, çevresel değişkenlere bağlı olarak yerleşmelerde meydana gelen dış ortam konfor koşulunu etkileyen olumsuzlukların değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe yönelik olarak, Grasshopper simülasyon aracı ve Urban weather generator (UWG) eklentisi yardımı ile iklim değişikliği ile uyum sağlayabilen yeni bina ve yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi planlanmıştır. Bu alternatifler üretilirken, ılımlı-nemli iklim tipini temsil eden İstanbul ve sıcak-kuru iklim tipini temsil eden Diyarbakır illerinde kentsel alandaki ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulu değerlendirilmeleri yapılması ve yerleşme dokusu seçeneklerinin üretilmesi için avlulu bina grupları kullanılmıştır. Çalışmada, yerleşmeyi oluşturan binaların yükseklikleri, yol genişlikleri ve yoğunlukları gibi fiziksel ve çevresel değişkenlere dayalı olarak farklı iklim bölgeleri için en uygun tasarım ve planlama stratejilerinin belirlenmesi öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yerleşme tasarımı, ısı adası etkisi, mikro-iklim, dış ortam konfor koşulu

ABSTRACT

Population growth in cities intensifies settlements and causes environmental problems. Greenhouse gas emissions due to increased energy consumption cause climate change and adversely affect outdoor comfort conditions by changing the microclimate in settlements. With the decisions taken at the building scale, energy consumption can be reduced and indoor and outdoor thermal comfort conditions can be controlled. Therefore, the measures taken at the scale of buildings and settlements should be considered with a holistic approach. In this study, it is aimed to evaluate the negativities that affect the outdoor comfort conditions in urban designs depending on environmental variables. For this purpose, it is planned to produce new building and settlement texture alternatives that can adapt to climate change with the help of the Grasshopper simulation tool and the Urban weather generator (UWG) add-on. While producing these alternatives, building groups with courtyards were used to evaluate the heat island effect and outdoor comfort conditions in the urban area and to produce settlement texture alternatives in the cities of İstanbul, which represents the temperature-humid climate type, and Diyarbakır, which represents the hot-dry climate type. In the study, it is envisaged to determine the most suitable design and planning strategies for different climatic regions based on physical and environmental variables such as the heights of the buildings that make up, road widths and densities.

Key Words: Urban design, heat island effect, micro-climate, outdoor thermal comfort condition

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun neredeyse yarısının kentsel alanlarda yaşadığı bilinmektedir. IPCC (Hükümetler arası iklim değişikliği paneli) raporuna göre, 2050 yılına kadar nüfusun üçte ikisinin kentsel alanlarda yaşaması beklenmektedir [1]. Kentlerdeki nüfus artışı, yerleşmeleri yoğunlaştırmakla birlikte çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir [2]. Binalarda konfor koşullarının sağlanabilmesi için enerji tüketimleri artmaktadır. Artan enerji tüketimleri sebebiyle oluşan sera gazı emisyonları iklim değişikliğine sebep olmakta ve iç ve dış ortam konfor koşullarını olumsuz etkilemektedir. İnsanın iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkisi kesindir [1]. Bunun dışında, kentlerde yerleşmeleri oluşturan bina geometrileri ve yüzeylerin özellikleri mikro-iklimleri oluşturmakta ve ısınan mikro-iklimler kentlerde ısı adası etkisinin oluşmasına sebep olmaktadır [3,4]. Kentsel ısı adası etkisi olarak bilinen yapılı çevre tarafından tetiklenen dış hava sıcaklığındaki değişim kentsel alanların kırsal alanlara göre daha sıcak olmasına sebep olmaktadır. Bu kavram ve etkilerinin gözlenmesi ile birlikte, kentsel bina geometrilerinin mikro iklimi ve ayrıca bina enerji tüketimlerini etkileme potansiyeli ortaya konmuştur [5]. Bu döngü, binalarda minimum enerji tüketimleri ve iç ve dış ortam konfor koşullarının sağlanabilmesi ile sonlandırılabilir. Buna dayanarak, kentlerde bina ve yerleşme ölçeğinde alınan doğru tasarım kararları ile enerji etkin tasarım stratejileri önemli rol oynamaktadır.

Yerleşmelerdeki dış ortam mikro-iklimi binaların enerji talebini etkilerken, bina kabuğunun da dış ortam mikro-iklimini etkilediği bilinmektedir. Bu durumda, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararları bütünleşik olarak ele alınmalıdır. Örneğin; binalardaki mekanik sistemlerin etkisiyle binaların yapay olarak iklimlendirilmesi kent morfolojisini de etkilemektedir. Bu durum, bina aralıkları ve binaların yüzeyleri aracılığıyla alınan güneş radyasyonunun dağılımını etkilemekte ve rüzgar hızını azaltarak yapılı çevre ile dış hava arasındaki konveksiyon yolu ile gerçekleşen ısı akış oranını değiştirmektedir. Bu durumların kentsel ısı adası etkisini arttırmasıyla birlikte yayalar için de belirgin dış mekân ısı konforsuzluğuna yol açtığı görülmektedir [6]. Dolayısıyla, bina ve yerleşmeler için yapılan enerji simülasyonlarında kırsal alan ölçümlerine dayanan mevcut hava durumu verilerinin doğrudan kullanılmasının da binaların soğutma yüklerinin olması gerekenden daha az, ısıtma yüklerinin ise daha fazla tahmin edilmesine sebep olması kaçınılmazdır. Bu durumda, temelde kent nüfusunun artmasına dayanan değişen yerleşme koşullarına uygun hava durumu verilerinin üretilerek bina ve yerleşme ölçeğinde yaklaşımlar önerilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımlar, geçmişte yapılan çalışmalarda farklı simülasyon araçları ile yapılmıştır. Başlangıçta, Envimet simülasyon aracı yardımı ile yapılan değerlendirmeler günümüzde kentsel mikro iklim ve dış mekân ısı konforu arasındaki karşılıklı ilişkileri modellemek için Grasshopper, Dragonfly ve Ladybug araçları yardımıyla yapılabilmektedir [7]. Bu araçlar yardımı ile kentsel ölçekte iklim tahmini yapabilmek mümkündür ve bunun için Dragonfly eklentisi içerisinde yer alan UWG (Urban weather generator) aracı kullanılmaktadır. UWG, Bruno Bueno tarafından geliştirilen binaların enerji performansı ile kentsel iklim arasındaki karşılıklı etkileşimi hesaplamalara dahil eden ayrıntılı bir Şehir enerji dengesi modelidir (Town Energy Model). UWG temelde kırsal hava durumu veri dosyasındaki (meteoroloji tarafından üretilen TMY dosyası) saatlik dış hava sıcaklıkları ve bağıl nem verilerini değiştirerek yeni bir kentsel hava durumu dosyası oluşturma prensibine dayanır. UWG, bir kentsel alanda morfolojik ve geometrik parametrelerin yanı sıra meteorolojik parametrelere de girdi olarak ihtiyaç duyar. Bu parametreler; bina opak ve saydam yüzeylerin varlığı, iç kazançlar, havalandırma ve iklimlendirme yöntemleri, antropojenik ısı kaynakları, bitki örtüsü özellikleri, arazi sınırı dahil olmak üzere kentsel alan ile ilgili özellikler ve referans saha konumu, engel yüksekliği, meteorolojik faktörler ve ölçüm yüksekliği gibi sınır parametreleridir [9,10]. Bu araç, temelde yapılı çevrenin neden olduğu ısı adası etkisini yansıtmak için; ortalama bina yükseklikleri, bina ayak izleri, yüzeylerin yansıtıcılıkları ve diğer ısı özellikleri gibi çeşitli parametrelerin etkilerini birleştirerek değerlendirebilen bir algoritma kullanır. Algoritmanın güvenilirliği, çeşitli iklim bölgelerinde yapılan saha ölçümleri ile doğrulanmıştır [8,9,10]. Dolayısıyla bu model yardımı ile farklı yerleşme dokularına sahip morfolojiler iklimsel açıdan karşılaştırılabilir.

Literatürdeki çalışmalarda, dış ortam konfor koşulu değerlendirmeleri için PET (Physiological Equivalent Temperature) ve UTCI (Universal Thermal Climate Index) indekslerinin kullanıldığı görülmektedir [11,12,13,14,15]. UTCI, 1999 yılında çeşitli araştırmacıların geliştirdikleri, dış ortamdaki ısı konfor düzeyinin belirlenmesine yönelik evrensel bir indekstir. UTCI, meteorolojik koşulların (güneş ışınımı, hava sıcaklığı, hava nemi ve rüzgar hızı) ve termo-fizyolojik koşullarının (giysi türü (clo) ve metabolik aktivite düzeyi) ağırlıklandırılması sonucunda (UTCI-Fiala termofizyolojik modeli) sıcaklık

cinsinden insanlar üzerindeki termal stresi ifade eder. Değerlendirmede yararlanılacak olan, termal stres bakımından UTCI indeks aralıkları Tablo 1’de gösterilmektedir [16].

Tablo 1. Termal stres bakımından UTCI indeks aralıkları [16]

UTCI (°C) indeks aralıkları	Stres Kategorileri
> +46	Aşırı sıcak (extreme heat stress)
+38 to +46	Çok güçlü (very strong heat stress)
+32 to +38	Güçlü (strong heat stress)
+26 to +32	Orta derecede (moderate heat stress)
+9 to +26	Nötr (no thermal stress)
+9 to 0	Hafif soğuk (slight cold stress)
0 to -13	Orta derecede (moderate cold stress)
-13 to -27	Güçlü (strong cold stress)
-27 to -40	Çok güçlü (very strong cold stress)
< -40	Aşırı soğuk (extreme cold stress)

Dış ortam konfor koşulu değerlendirilirken UTCI indeksinin hesaplanabilmesi için ortalama ışımsal sıcaklık değerinin de hesaplanabilmesi gerekmektedir. Diğer yandan, Grasshopper ve eklentileri yardımı ile dış ortam konfor koşulunun değerlendirilmesi de mümkündür. Buna dayanarak, yerleşmede UTCI indeksi, UWG modülüne ek olarak ortalama ışımsal sıcaklık (MRT) hesaplama bileşenlerinden faydalanılarak hesaplanabilmektedir.

Literatürde kentsel alanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde; Yasser Ibrahim ve diğ. (2022) çalışmasında, avlulu bina gruplarının iklimsel etkileri hafifletme özelliğine dayanarak geliştirilen yerleşme dokusunda, sıcak-kuru iklim tipi için bina yükseklikleri, avlu genişlikleri ve yön değişkenlerinin optimize edilmesini hedeflemiştir. Çalışmada kentsel dokunun iklim datası üzerindeki oluşturduğu etki UWG aracı yardımıyla hesaplamalara katılmıştır ve dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi ile değerlendirilmiş olup, optimum çözüm önerilerinde soğutma yüklerini %31,7’ye kadar azalttığı ve UTCI değerinin 1,6 C°’ye kadar düştüğü gözlenmiştir [17]. Akdeniz sıcak ikliminde farklı şehirlerde yapılan bir dizi çalışmada, Natanian ve diğerleri [18,19,20,21] avlu tipolojisinin diğer bina tipolojilerine karşı dış mekân ısı konforu ve soğutma yükleri açısından daha iyi performans gösterdiğini vurgulamıştır. Emanuele Naboni ve diğ. (2019) çalışmasında, ele alınan bina ve çevresi için dış ortam konfor koşulu, gün ışığı performansı, enerji tüketimi ve üretimi ile ilgili değerlendirmeleri kapsamaktadır. Binanın performans ölçütü; UTCI indeksidir [22].

Bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarının, sadece enerji etkinliği açısından değil aynı zamanda iklim değişikliği, dış ortam ısı konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi açısından da dikkate alınması fikrini doğurmaktadır. Buna dayanarak bu çalışmada, nüfus artışına bağlı kentleşmenin, yerleşmelerde sebep olduğu kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulunun değerlendirilmesine yönelik bir bakış açısının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın hedefine yönelik olarak geliştirilen yerleşme dokusu seçeneklerini oluştururken avlulu bina tipolojileri kullanılmıştır. Avlulu bina tipolojileri sıcak iklim bölgelerinin geleneksel mimarisinde sıklıkla görülmekle birlikte, dünya genelinde birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Farklı iklim bölgeleri için de, ısı konfor koşullarını optimize edebilmek için tercih edilmektedir [5]. Buna dayanarak, çalışma ılımlı-nemli iklim tipinin temsili ili İstanbul ve sıcak-kuru iklim tipinin temsili ili Diyarbakır illerinde gerçekleştirilmiştir. TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında İstanbul ve Diyarbakır illeri aynı derece-gün bölgesinde bulunmaktadır [23]. Bu durum, sıcak-kuru iklim bölgesinin karakteristik özelliklerini gösteren Diyarbakır şehrinde yapılacak bir bina ve yerleşme tasarımında alınacak kararlarla İstanbul şehrinde yapılacak bir bina ve yerleşme tasarımında alınacak kararların aynı olabileceği yanılığına yol açmaktadır. Bu nedenle bu çalışma, TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında İstanbul ili ile birlikte aynı derece gün bölgesinde yer alan ancak farklı iklimsel özelliklere sahip olduğu bilinen Diyarbakır ili için de tekrarlanmıştır. Farklı iklimsel özelliklere sahip bölgelerde, bina ve yerleşme tasarımlarında, dış ortam ısı konfor koşullarının sağlanması ve kentsel ısı adası etkisi gibi konuların birlikte ele alınacağı bu çalışma kapsamında; yerleşme ölçeğinde, seçilen yerleşme dokusu ile bina yükseklikleri ve yol genişlikleri gibi değişkenler ele alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde gerçek hizmet koşullarına en yakın olduğu bilinen, [16,24] dış ortam konfor değerlendirmesinde kullanılmak üzere UTCI indeksi seçilmiştir. Çalışmada, kentsel mikro-iklim ve dış ortam ısı konforu

arasındaki karşılıklı ilişkileri modellemek için Grasshopper ve eklentileri Dragonfly, UWG ve Ladybug araçları yardımıyla simülasyon modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU BİR BAKIŞ AÇISININ GELİŞTİRİLMESİ

Çalışma, TS825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında belirtilen Türkiye'nin 2. Derece Gün Bölgesi'nde yer alan [23], ılımlı-nemli iklim bölgesinin temsili ili İstanbul ve sıcak-kuru iklim bölgesinin temsili ili Diyarbakır'da gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İstanbul ve Diyarbakır farklı iklim özelliklerine sahip olmasına rağmen aynı derece gün bölgesinde yer almaları sebebiyle, bina ve yerleşme tasarımları sırasında alınacak kararların aynı olabileceği yanılığını oluşturmaktadır. Ancak, İstanbul ili ısıtma öncelikli Diyarbakır ili ise soğutma önceliklidir. Bu doğrultuda, avlulu bina tipolojileri yardımıyla üretilen konut binalarından oluşan yerleşme dokusu seçenekleri için kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulları değerlendirilmiştir. Çalışmada girdi olarak tanımlanan özellikler ve uygulama adımları aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Yerleşme dokusu seçeneklerinde kullanılan tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Çalışmada, bina ve yerleşme dokularında, mikro-iklimin düzenlenmesi ve dış ortam konfor koşulunun sağlanabilmesi için;

- Yerleşme ölçeğinde; binanın bulunduğu yerin ve yoğunluklarının,
- Bina ölçeğinde; bina tipolojisi, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin,
- Bina grupları ölçeğinde ise; binanın taban alanı, bina kat adedi, yol genişlikleri gibi tasarım değişkenlerinin

belirlenmesi gerekmektedir.

2.1.1. Bina ve bina gruplarına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşme dokusu seçeneklerini oluşturan en küçük birim olan konut modüllerinde 4 kişilik çekirdek bir ailenin yaşadığı varsayılmıştır [26]. Kare planlı konut binası tipi 10m x 10m boyutlarında bir modül olarak kabul edilmiş ve bu modüllerle avlulu bina grubu elde edilmiştir. Avlulu bina grupları, bina taban alanı ile uyumlu olarak 10m x 10m modüllerden oluşan 60m x 60m boyutlarında kabul edilen bir ada üzerinde konumlandırılmışlardır. Bina yükseklikleri 9m (3 katlı), 18m (6 katlı) ve 27m (9 katlı) olarak tanımlanmıştır.

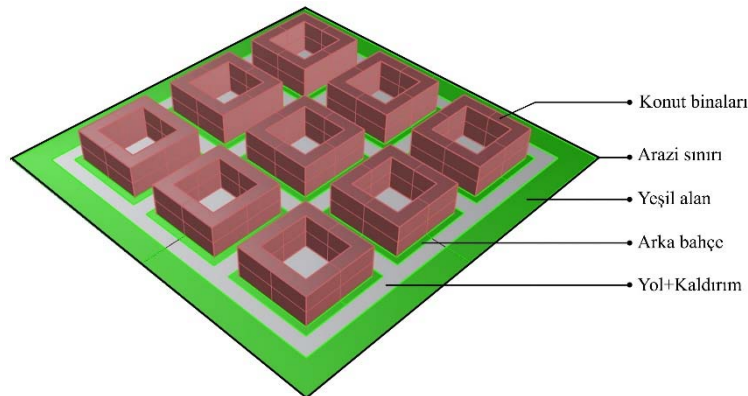
Bina kabuğu katmanlaşma detayları TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nda [23] İstanbul ve Diyarbakır illerinin de içinde bulunduğu 2. Derece Gün Bölgesi için önerilen toplam ısı geçirme katsayısı (U) değerlerini sağlayacak şekilde opak ve saydam bileşenlere ilişkin değerler belirlenmiştir (Tablo 2). Hesaplamalarda saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı değeri $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, güneş ışımasını kazancı katsayısı değeri (Solar heat gain coefficient) 0,56 ve görünür geçirgenlik değeri (visible transmittance) 0,79 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında tasarlanan binalarda saydamlık oranları %30 olarak alınmıştır.

Tablo 2. Bina kabuğu katmanlaşma detayları

#	Opak Bileşen Detayı	Sıra	Malzemeler	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Dış Duvar		1	Alçı sıva	0.4	0.01	0.565
		2	Kireç Harcı	0.8	0.01	
		3	Tuğla	0.72	0.19	
		4	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
		5	Kireç sıva	0.8	0.02	
Zemine Oturan Döşeme		1	Ahşap Kaplama	0.14	0.03	0.561
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	Hafif Beton	1.9	0.05	
		4	Betonarme	1.13	0.12	
		5	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
		6	Alçı sıva	0.4	0.01	
Çatı		1	Agrega-kum-çakıl	1.3	0.08	0.363
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.08	
		4	Betonarme	1.13	0.12	
		5	Alçı sıva	0.4	0.01	
Bodrum kat döşemesi		1	Epoksi	0.25	0.01	1.72
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	Tesviye Betonu	1.65	0.03	
		4	Temel Betonu	2.5	0.8	

2.1.2. Yerleşmelerin yoğunluklarının ve yerleşme dokusu seçeneklerinin belirlenmesi

Yöntemin uygulanacağı 40.970 enlem ve 28.820 boylam koordinatlarında bulunan İstanbul ve 37.88 enlem ve 40.183 boylam koordinatlarında bulunan Diyarbakır'da [25], farklı yerleşme dokusu ve yoğunluğu seçeneklerinin oluşturulabilmesi için, şehir dokusu içinde yaklaşık 50.000 m²'lik düz bir alan seçilmiştir. Yerleşme dokusu seçenekleri için; üretilen avlulu bina gruplarına ek olarak, sabit olan arka bahçe mesafesi (5m), ve sırasıyla 10m, 15m, 20 m olmak üzere değişken olan yol genişlikleri, kaldırım (2m) ve yeşil alan ve sert zeminler için yüzey malzemeleri tanımlanmıştır. Rhinoceros geometrik araçları yardımı ile üretilen yerleşmenin geometrik model tanımlayıcıları Şekil 1'de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Avlulu bina gruplarından oluşan yerleşmenin geometrik model tanımlayıcıları

Dış iklim elemanlarının yerleşme dokuları üzerinde oluşturduğu mikro-iklim etkisi ile iç ve dış ortam konfor koşullarının değiştiği bilinmektedir. Bu sebeple, geliştirilen yerleşme dokusu önerilerinin yerleşmenin yoğunluğu ile tanımlanması çalışmanın anlaşılabilirliği açısından gereklidir. Çalışmada, son yıllarda mikro-iklim üzerinde doğrudan etkili olan yerleşmelerin yoğunluğunun belirlenmesi için;

binalardaki toplam kullanım alanının yerleşme taban alanına oranını ifade eden FAR oranı (Floor area ratios) kullanılmıştır. Geçmişte yapılan çalışmalar incelenerek [18,19,20,21,27] bu çalışmada da belirlenen arazi üzerinde farklı yoğunluklardaki yerleşme dokularının tanımlanabilmesi için FAR oranı değerleri kullanılmıştır.

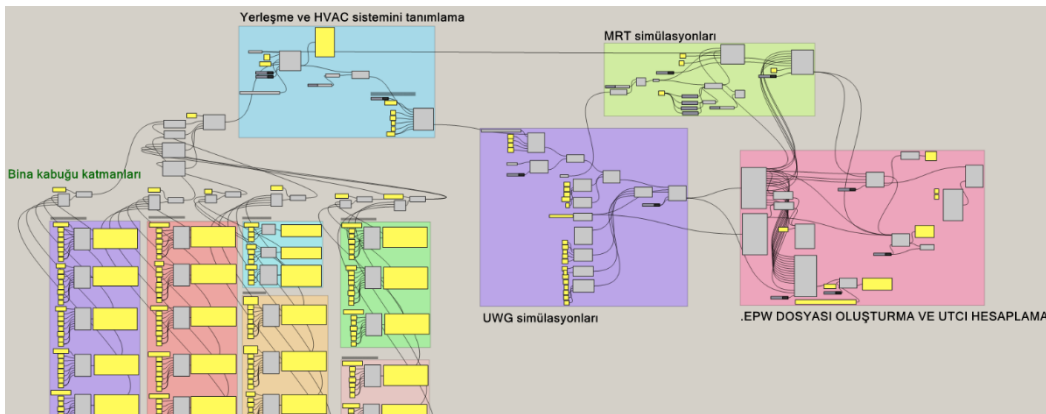
Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi için gereken bilgiler tanımlandıktan sonra, farklı yoğunluklardaki yerleşmeler oluşturulmuştur. Bu sebeple, bina gruplarının zemine oturduğu alanlar sabit tutulup, kat adetleri değiştirilerek; düşük, orta ve yüksek yoğunluklu yerleşmeler önerilmiştir. Seçilen yerleşme alanında öncelikli olarak düşük yoğunluklu yerleşme dokusu seçenekleri için FAR oranı 1 olan 2000 kişinin yaşadığı, orta yoğunluklu yerleşmeler için 4000 nüfuslu FAR oranı 2 olan ve yüksek yoğunluklu yerleşmeler için 6000 nüfuslu FAR oranı 3 olan yerleşme dokusu seçenekleri geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında avlulu bina grupları ile farklı FAR oranına ve yol genişliklerine sahip 9 farklı yerleşme dokusu seçeneği geliştirilmiştir (Tablo 3). Geliştirilen yerleşme dokusu seçenekleri ile kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam ısıl konfor analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Avlulu yerleşme dokusu seçenekleri, kat adedi ve FAR oranı ilişkisi

Yerleşme dokusu seçenekleri	Yol Genişlikleri		
	10m	15m	20m
FAR 1 (2000 kişi): 3 katlı, bina yüksekliği 9m,			
FAR 2 (4000 kişi): 6 katlı, bina yüksekliği 18m,			
FAR 3 (6000 kişi): 9 katlı, bina yüksekliği 27 m			

2.2. Yerleşme dokusu seçeneklerinde kullanılan hesaplamalara ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Bina ve yerleşme tasarım için; 2.1 adımında açıklanan parametreler dışında hesaplamalarda kullanılan diğer parametrelerin de belirlenmesi gerekmektedir. Kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam ısıl konfor analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan UWG aracı, morfolojik ve geometrik parametrelere ek olarak meteorolojik parametrelere de girdi olarak ihtiyaç duyar. Ayrıca, hesaplamalarda gerçek atmosfer koşullarını temsil eden meteorolojik veri dosyaları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Grasshopper ve eklentileri Ladybug, Dragonfly ve UWG araçları yardımı ile üretilen iş akışı Şekil 2'de gösterilmiştir. Hesaplamalara girdi olarak tanımlanan diğer parametreler Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 2. Grasshopper ve eklentileri yardımı ile üretilen iş akışı

Tablo 4. UWG simülasyonları için gereken girdi parametreleri

Parametreler		Değerler			
Konum		İstanbul Diyarbakır	40.970 enlem, 28.820 boylam 37.88 enlem, 40.183 boylam		
İklim datası		İstanbul; IWEK hava durumu dosyası Diyarbakır; http://climate.onebuilding.org hava durumu dosyası			
HVAC		İdeal Air Load System			
HVAC program tipi		ASHRAE 90.1 standardına göre Midrise Apartment			
Isıtma		20 C°			
Soğutma		26 C°			
İnfiltrasyon		0.5 airchange/hour			
Aydınlatma		4,5 W/m ² LPD değeri-Lighting Power Density			
Antropojenik ısı		4 W/m ²			
Gündüz sınır tabakası yüksekliği		700 m (Daytime boundary-layer height)			
Gece sınır tabakası yüksekliği		50 m (Nighttime boundary-layer height)			
Engel yüksekliği		0.1 m			
Sıcaklık ölçüm yüksekliği		2 m			
Rüzgar hızı ölçüm yüksekliği		10 m			
Yol ve kaldırım	Albedo	0.08	Yeşil Alan	Albedo	0.26
	Kalınlık	0.06		Gizli ısı	0.7-0.6
	İletkenlik	0.5	İnsan boyu	1.8m	
	Yoğunluk x duyulur ısı (Volumetric heat capacity)	1700000 J/m ³ K	Değerlendirme periyodu	Yıllık	

2.3. Geliştirilen yerleşme dokusu seçenekleri için hesaplamaların yapılması

Çalışmada, FAR oranıyla tanımlanan yerleşme yoğunluğu, bina yüksekliği ve yol genişliği gibi değişkenler ile üretilen tüm yerleşme dokusu seçeneklerinde oluşan mikro-iklimin değerlendirilebilmesi için kentsel ısı adası etkisi İstanbul ve Diyarbakır illeri için hesaplanmıştır. Yöntemin kurgulanması için Grasshopper ve eklentilerinden faydalanılmıştır. Grasshopper araçlarından biri olan UWG aracı ile yerleşmelerdeki kentsel ısı adası etkisi hesaplanmıştır. Bu araç ile kentsel alan hava durumu verileri .epw hava durumu dosya formatında üretilmekte ve enerji hesaplamalarında kullanılabilir. Bu çalışmada, güncel hava durumu dosyası ile kentsel alanda üretilen hava durumu dosyasındaki dış hava sıcaklığı değişimine bakılarak kentsel ısı adası etkisi hesaplanmıştır. Bu aşamadan sonra, kentsel ısı adası etkisine bağlı olarak yerleşmelerde dış ortam konfor koşulunun değerlendirilmesi UTCI indeksi yardımı ile yapılmıştır. UTCI hesabının gerçekleştirilebilmesi için, dış ortamdaki ortalama ışınimsal sıcaklığın da hesaplanması gerekmektedir. Bu sebeple, yerleşmelerin merkezinde yer alan avlulu bina grubu referans bina grubu olarak seçilmiştir. Bina grubunun dört ana yönünden geçen yolların merkezinde ve seçilen bina grubunun avlusunun merkezine olmak üzere temsili yayalar konumlandırılmıştır. Dış ortam konfor koşulu, yerleşmede konumlandırılan insanlardan elde edilen UTCI verilerinin ortalamaları alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada, İstanbul ve Diyarbakır illeri için kentsel ısı adası ve dış ortam konfor koşulu hesaplamaları yıllık olarak yapılmıştır ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) aylık olarak verilmiştir. Ayrıca, ısıtma döneminin temsili günü 21 Aralık'ı kapsayan 18-24 Aralık haftasının ve soğutma döneminin temsili günü 21 Temmuz'u kapsayan 18-24 Temmuz haftasının ortalamaları alınarak kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulu değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.3.1 İstanbul ili için yapılan hesaplama sonuçları

İstanbul ili için kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulu hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplama sonuçları, yıllık ortalama dış hava sıcaklığı olarak bulgulara ve aylık kentsel ısı adası etkisinin (UHI) gösterimi olarak Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca, kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulunun FAR oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı olarak değişimlerinin gösterimi 18-24 Ocak ve 18-24 Temmuz haftaları için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 4 ile 7 arasında gösterilmiştir.

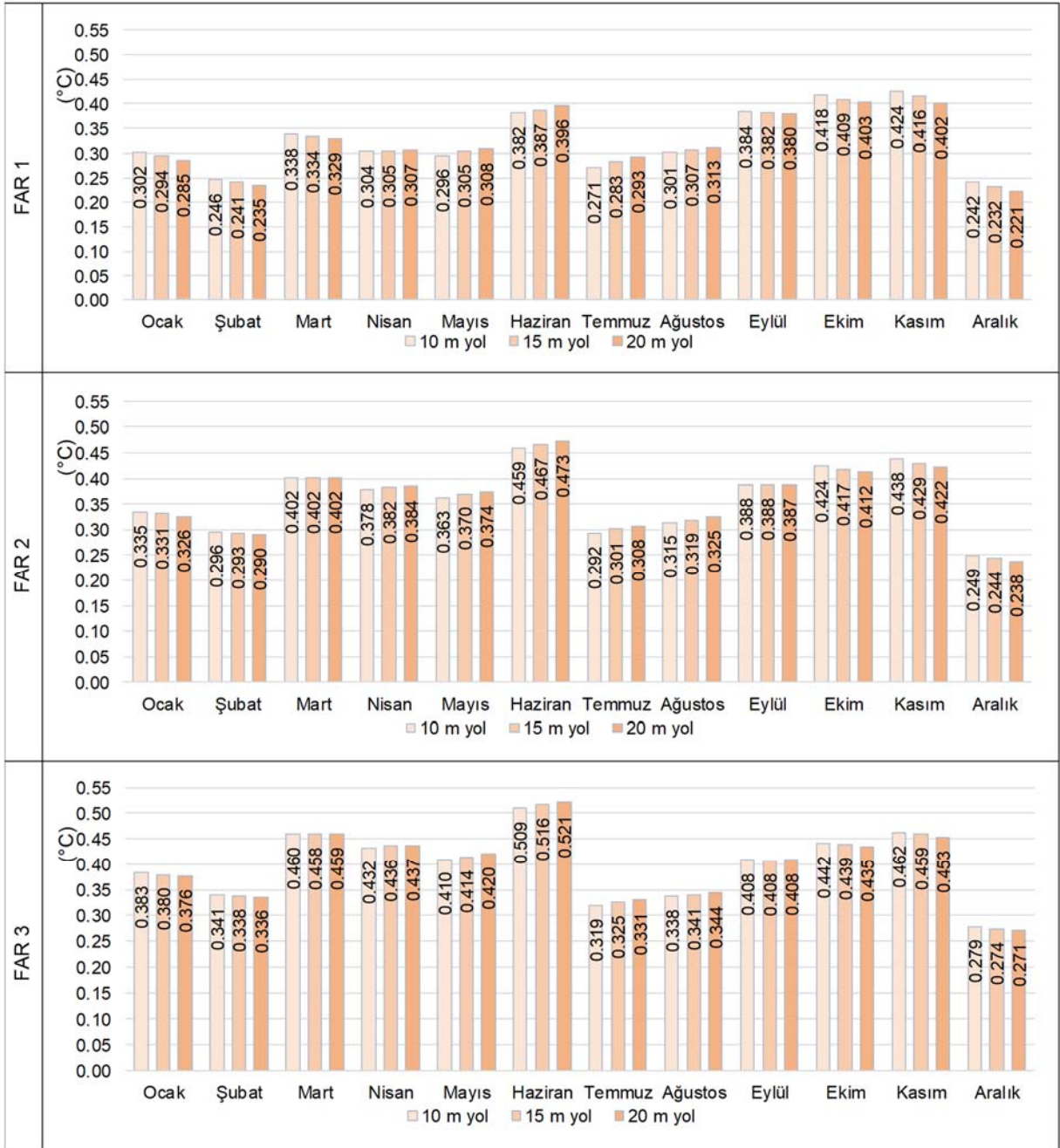
İstanbul ili için, geliştirilen avlulu yerleşme dokusu seçenekleri ile yapılan simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde;

- Tüm yerleşme senaryoları için oluşan dış hava sıcaklığı değeri kırsal hava durumu dosyasındaki dış hava sıcaklığı değerinden yüksektir. Dolayısıyla, yerleşmeler üzerinde sıcaklık artışı ve dolayısıyla ısı adası etkisi oluşmaktadır.
- Avlulu bina grupları ile geliştirilen FAR oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki yıllık ortalama ısı adası etkisi 0.322 C° ile 0.399 C° arasında değişmektedir. Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı değeri ise, kırsal hava durumu dosyasında 14.445 C° iken, kentsel hava durumu dosyalarındaki değerlerin 14.767 C° ile 14.844 C° arasında değiştiği gözlenmiştir.
- Yıllık ortalama en yüksek ısı adası etkisi FAR 3 ve 20m yol genişliği seçeneği ile gerçekleşmiştir (0.399 C°).
- Tüm yerleşme senaryolarında kış aylarında yol genişliği arttıkça ısı adası etkisi azalırken, yaz aylarında artmaktadır.
- Yerleşme senaryolarındaki FAR oranı sabit olup, yol genişliği arttıkça; yıllık ortalama ısı adası etkisinin azaldığı, yol genişliği sabit olup, FAR oranı arttığında ise ısı adası etkisinin arttığı gözlenmiştir.
- Yerleşmelerde, ısıtma dönemini temsil eden 21 Ocak günü içinde olacak şekilde 18-24 Ocak günleri arasındaki yol genişliği arttıkça ortalama ısı adası etkisinde düşüş gözlenmiştir.
- Yerleşmelerde, soğutma dönemini temsil eden 21 Temmuz günü içinde olacak şekilde 18-24 Temmuz günleri arasındaki yol genişliği arttıkça ortalama ısı adası etkisinde artış gözlenmiştir.
- 18-24 Ocak haftasında yol genişliği arttıkça ısı adası etkisi azalmakta, 18-24 Temmuz günlerinde ise yol genişliği arttıkça ısı adası etkisi artmaktadır. Buna dayanarak mevsimlere göre ısı adası etkisinin değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir (Tablo 5).

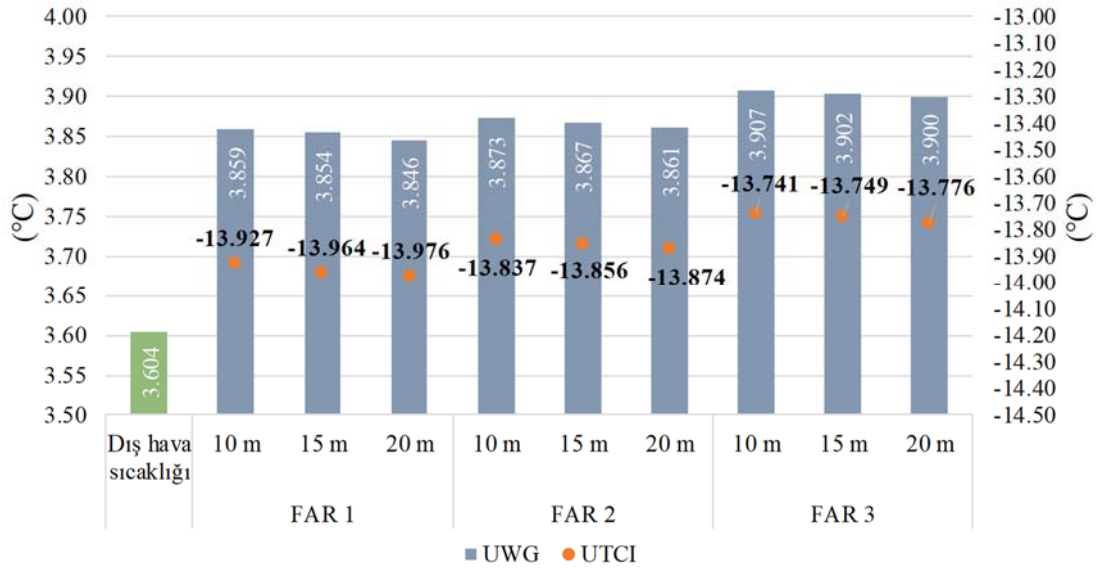
Tablo 5: 18-24 Ocak ve Temmuz için ısı adası etkisi değişimi

Dönem	FAR 1			FAR 2			FAR 3		
	10 m	15 m	20 m	10 m	15 m	20 m	10 m	15 m	20 m
18-24 Ocak	0.255	0.251	0.242	0.269	0.263	0.257	0.304	0.299	0.296
18-24 Temmuz	0.221	0.231	0.243	0.222	0.233	0.241	0.240	0.247	0.252

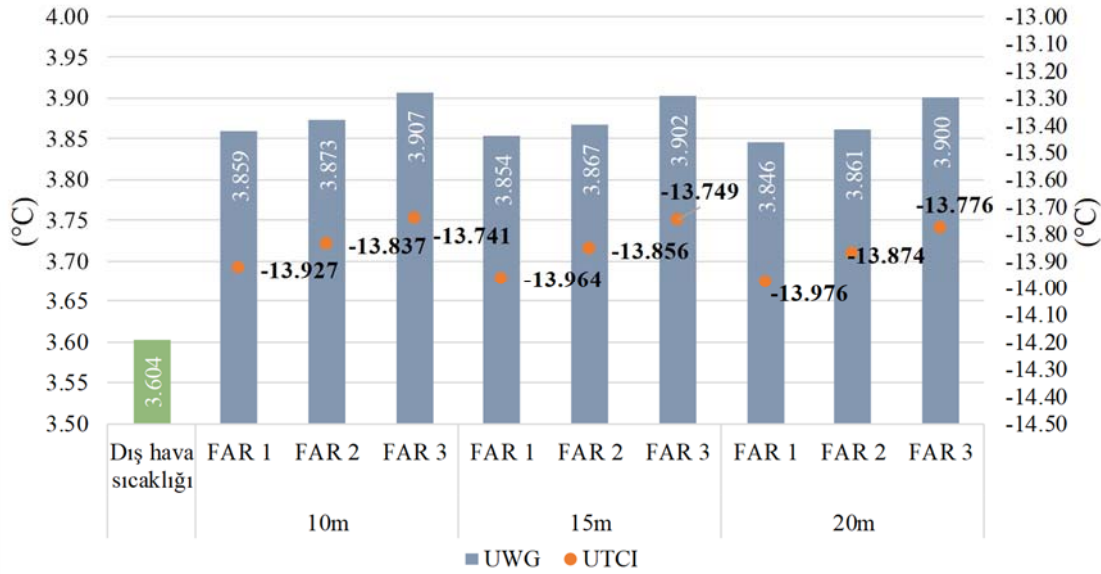
- Dış ortam konfor koşulu değerlendirmelerine gelindiğinde; kış koşullarında, yerleşmedeki yol genişliği arttığında; dış ortam konfor koşulu nötr koşuldan uzaklaşmakta olup, -13.976 C°'den -13.741 C°'ye yükselerek insanın dış ortamdaki konfor durumunu temsil eden UTCI indeksi aralıklarında "Güçlü soğuk (Strong cold stress)" aralığına denk gelmektedir.
- Yerleşmedeki Far oranı arttığında ise; dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi aralıklarında "Güçlü soğuk (Strong cold stress)" aralığına denk gelmektedir.
- En kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.235 C°'dir.
- Yaz koşullarında, yerleşmedeki yol genişliği arttıkça, dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi "Nötr (no thermal stress)" aralığına denk gelmektedir. Ancak, UTCI değerinin 21.280 C°'den 20.358 C°'e doğru arttığı gözlenmiştir.
- Yerleşmedeki Far oranı arttığında, dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi aralıklarında "Nötr (no thermal stress)" aralığına denk gelmektedir.
- En kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.922 C°'dir.



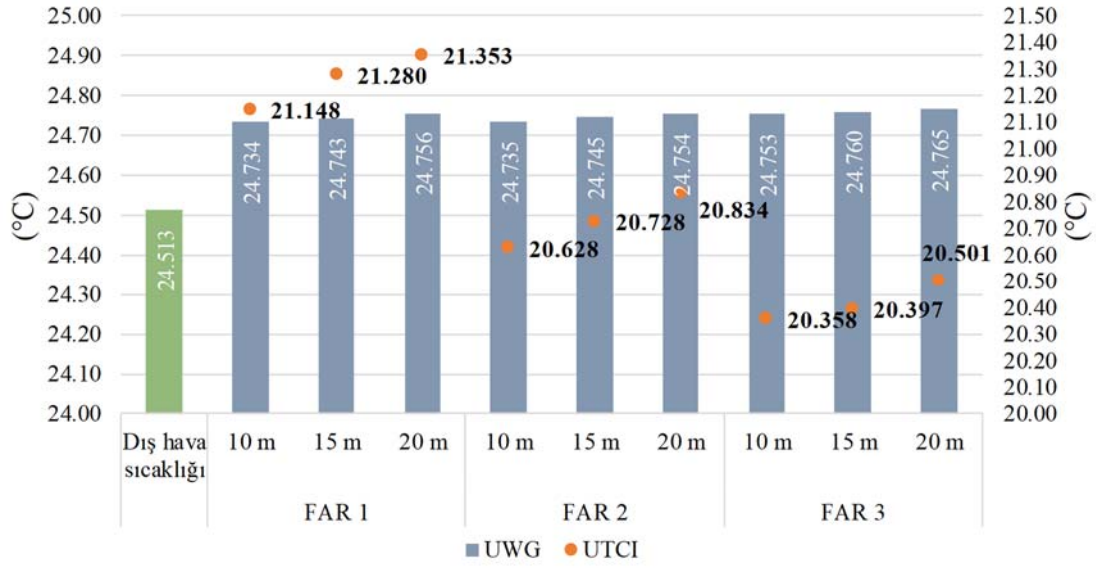
şekil 3. İstanbul ili için aylık kentsel ısı adası (UHI) etkisi değişimi



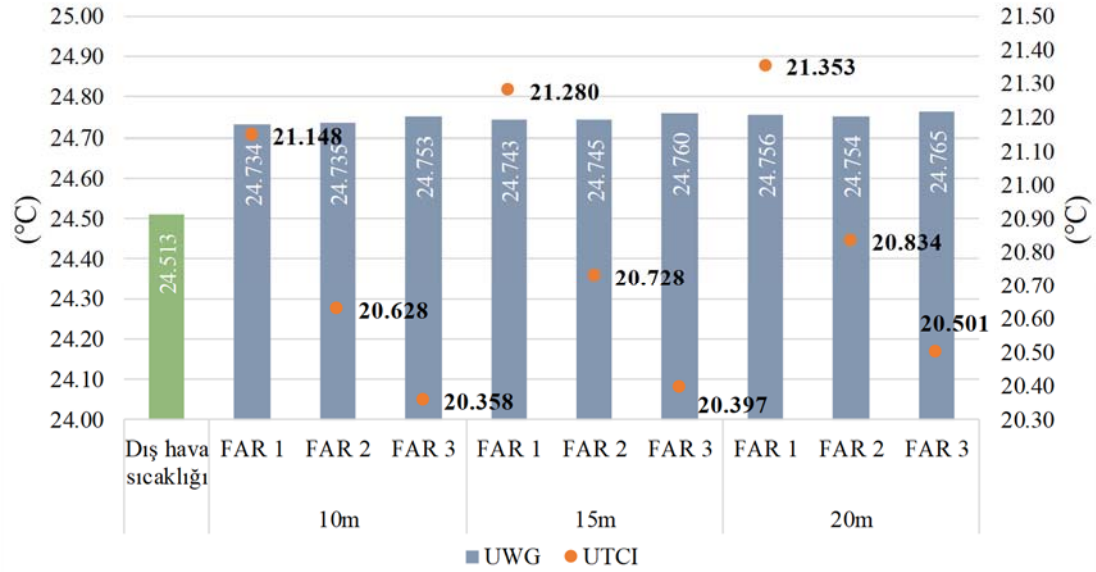
Şekil 4. İstanbul ili 18-24 Ocak haftası için yol genişliği değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 5. İstanbul ili 18-24 Ocak haftası için FAR oranı değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 6. İstanbul ili 18-24 Temmuz haftası için yol genişliği değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 7. İstanbul ili 18-24 Temmuz haftası için FAR oranı değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları

2.3.2. Diyarbakır ili için hesaplama sonuçları

Diyarbakır ili için kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulu hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplama sonuçları, yıllık ortalama dış hava sıcaklığı olarak bulgulara ve aylık kentsel ısı adası etkisinin (UHI) gösterimi olarak Şekil 8'de verilmiştir. Ayrıca, kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam konfor koşulunun FAR oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı olarak değişimlerinin gösterimi 18-24 Ocak ve 18-24 Temmuz haftaları için ayrı ayrı olmak üzere Şekil 9 ile 12 arasında gösterilmiştir.

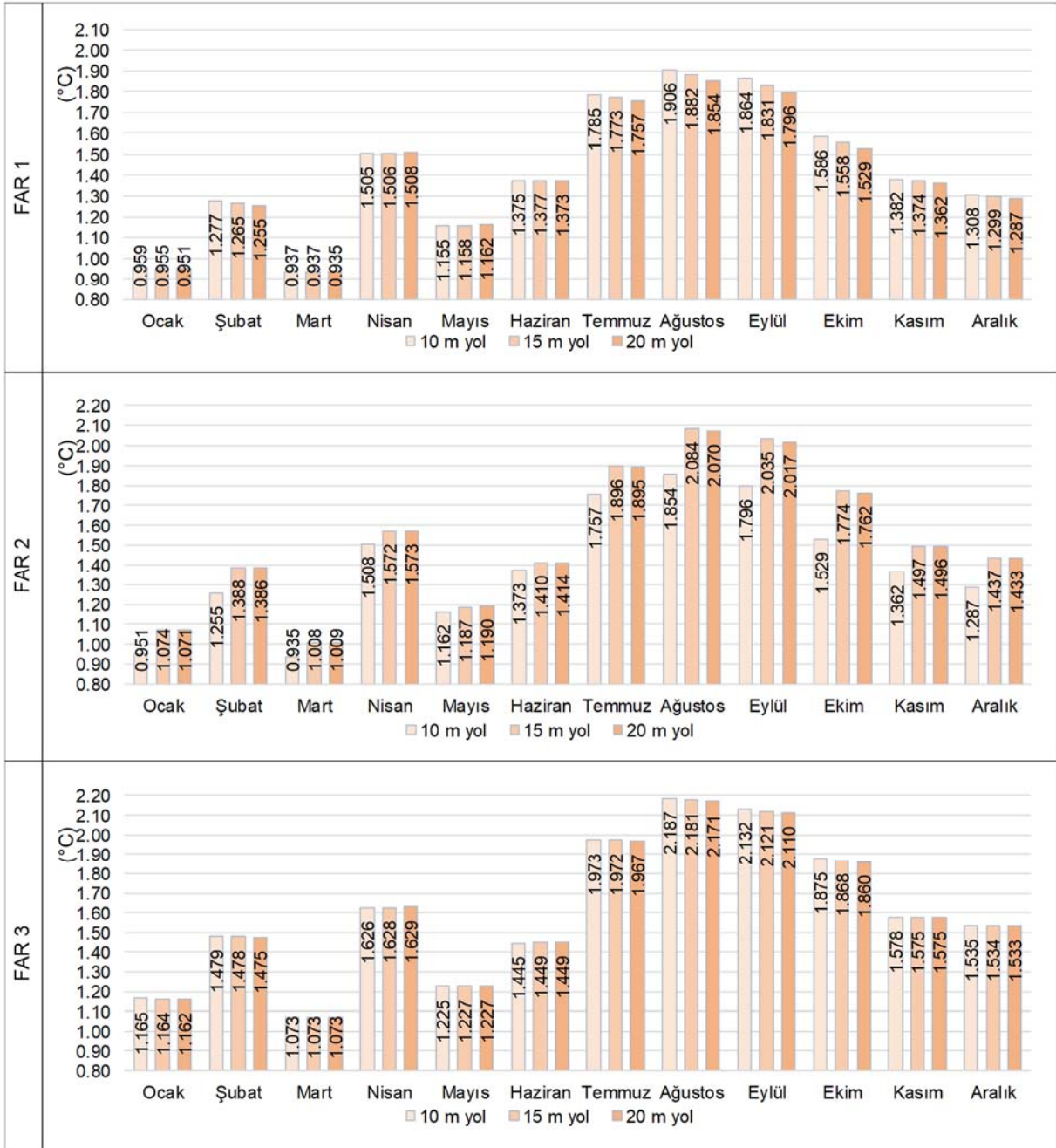
Diyarbakır ili için, geliştirilen avlulu yerleşme dokusu seçenekleri ile yapılan simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde;

- Tüm yerleşme senaryoları için oluşan dış hava sıcaklığı değeri kırsal hava durumu dosyasındaki dış hava sıcaklığı değerinden büyüktür. Dolayısıyla, yerleşmeler üzerinde ısı adası etkisi oluşmaktadır.
- Avlulu bina grupları ile geliştirilen FAR oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki yıllık ortalama ısı adası etkisi 1.397 C° ile 1.607 C° arasında değişmektedir. Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı değeri ise, kırsal hava durumu dosyasında 14.845 C° iken, kentsel hava durumu dosyalarındaki değerlerin 16.242 C° ile 16.453 C° arasında değiştiği gözlenmiştir.
- Yıllık ortalama en yüksek ısı adası etkisi FAR 3 ve 10m yol genişliği seçeneği ile gerçekleşmiştir (1.607 C°).
- Yerleşme senaryolarındaki FAR oranı sabit olup, yol genişliği arttıkça ısı adası etkisinin azaldığı, yol genişliği sabit olup, FAR oranı arttığında ise ısı adası etkisinin arttığı gözlenmiştir.
- Yerleşmelerde, ısıtma dönemini temsil eden 21 Ocak günü içinde olacak şekilde 18-24 Ocak günleri ve soğutma dönemini temsil eden 21 Temmuz günü içinde olacak şekilde 18-24 Temmuz günleri arasındaki yol genişliği arttıkça ortalama ısı adası etkisinde düşüş gözlenmiştir (Tablo 6).

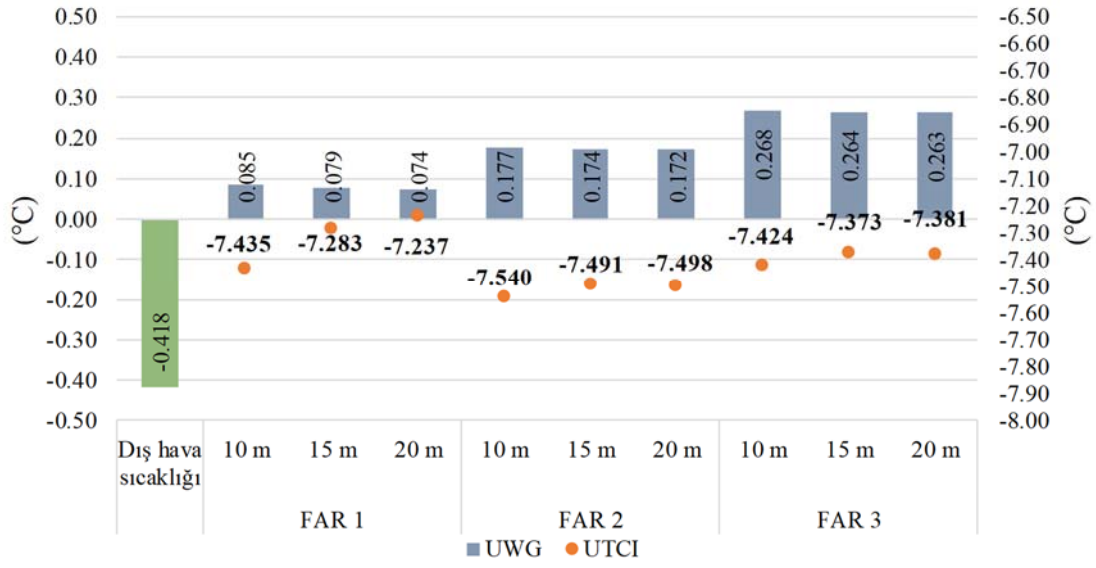
Tablo 6: 18-24 Ocak ve Temmuz için ısı adası etkisi değişimi

Dönem	FAR 1			FAR 2			FAR 3		
	10 m	15 m	20 m	10 m	15 m	20 m	10 m	15 m	20 m
18-24 Ocak	0.503	0.497	0.493	0.596	0.593	0.590	0.686	0.683	0.682
18-24 Temmuz	1.382	1.375	1.357	1.481	1.481	1.480	1.552	1.550	1.546

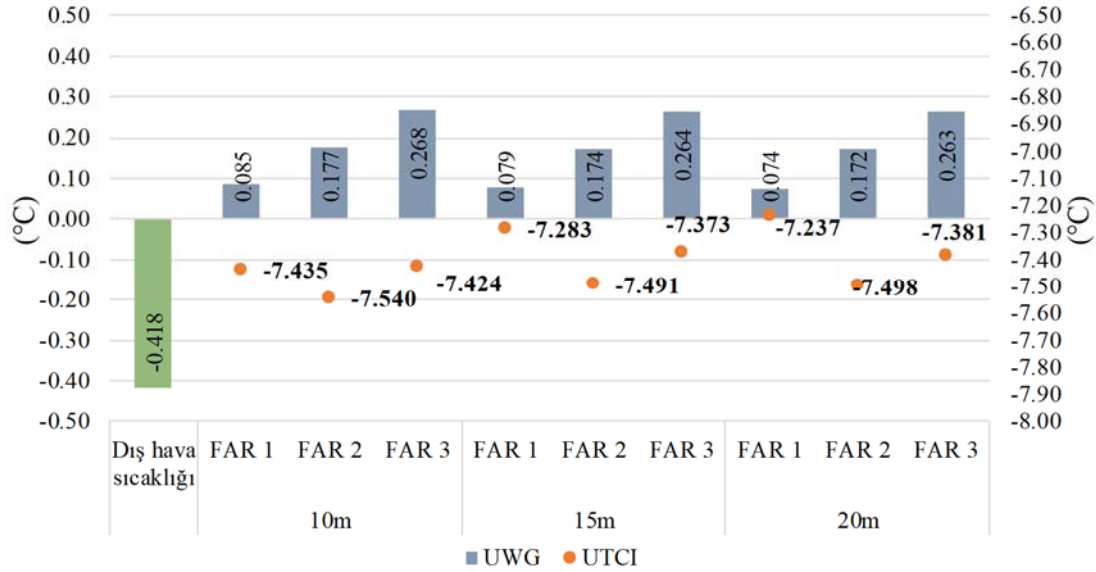
- Dış ortam konfor koşulu değerlendirmelerine gelindiğinde; kış koşullarında, yerleşmedeki yol genişliği arttığında; dış ortam konfor koşulu nötr koşula yaklaşmakta olup, -7.54 C°'den -7.237 C°'ye yükselerek insanın dış ortamdaki konfor durumunu temsil eden UTCI indeksi aralıklarında "Orta derecede (moderate cold stress)" aralığına denk gelmektedir.
- Yerleşmedeki Far oranı arttığında da; dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi aralıklarında "Orta derecede (moderate cold stress)" aralığına denk gelmektedir. Ancak, Far oranı 2 olan yerleşme seçeneklerindeki dış ortam konfor koşulu değer olarak daha düşüktür.
- En kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.303 C°'dir.
- Yaz koşullarında, yerleşmedeki yol genişliği arttıkça, dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi "Güçlü (strong heat stress)" aralığına denk gelmektedir. Ancak, UTCI değerinin 31.171 C° ile 33.365 C° arasında değiştiği gözlenmiştir.
- Yerleşmedeki Far oranı arttığında, dış ortam konfor koşulu UTCI indeksi aralıklarında "Güçlü (strong heat stress)" aralığına denk gelmektedir.
- En kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.514 C°'dir.



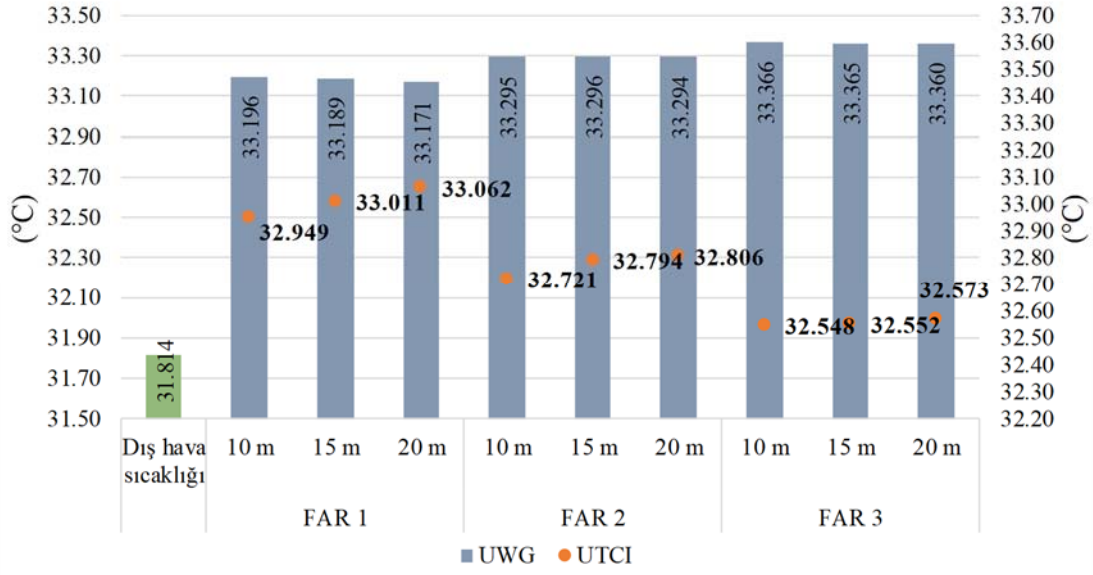
Şekil 8. Diyarbakır ili için aylık kentsel ısı adası (UHI) etkisi değişimi



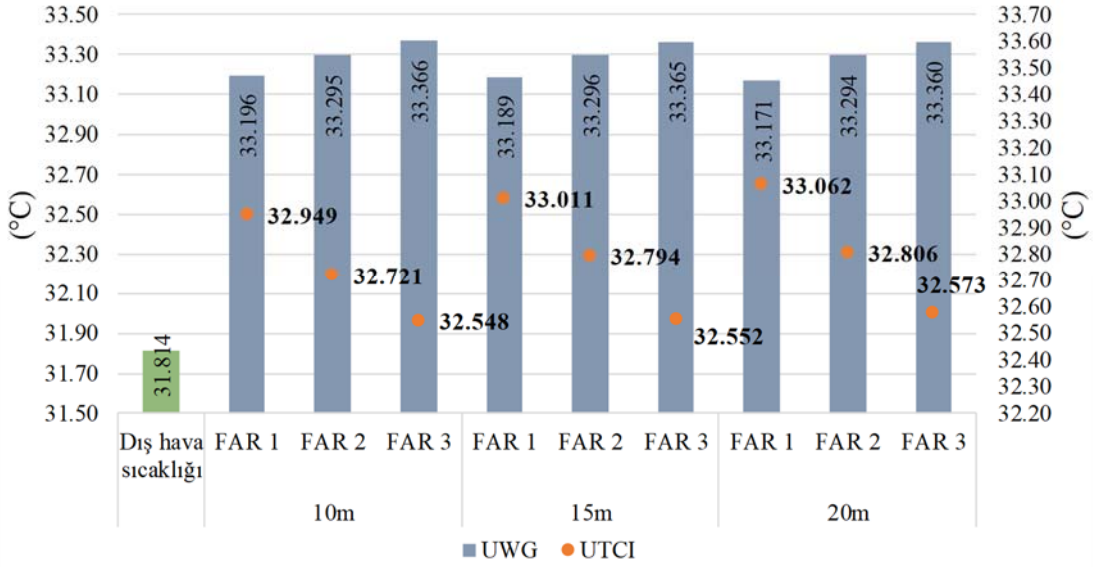
Şekil 9. Diyarbakır ili 18-24 Ocak haftası için yol genişliği değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 10. Diyarbakır ili 18-24 Ocak haftası için FAR oranı değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 11. Diyarbakır ili 18-24 Temmuz haftası için yol genişliği değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları



Şekil 12. Diyarbakır ili 18-24 Temmuz haftası için FAR oranı değişkenine bağlı dış ortam hava sıcaklığı ve konfor hesaplama sonuçları

SONUÇ

Çalışmada, yerleşmelerdeki yoğunluğun artması ile birlikte oluşan çevresel sorunların mikro-iklim üzerindeki etkisi; kentsel ısı adası ve dış ortam konfor koşulu hesaplamaları ile değerlendirilmiştir. Çalışma, farklı iklim özellikleri gösteren ancak TS825 “Isı Yalıtım Kuralları” standardına göre aynı derece gün bölgesinde yer alan İstanbul ve Diyarbakır illerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları aşağıda özetlenmiştir.

- Her iki il için de tüm yerleşme senaryoları için oluşan dış hava sıcaklığı değeri kırsal hava durumu dosyasındaki dış hava sıcaklığı değerinden büyüktür. Dolayısıyla, yerleşmeler üzerinde ısı adası etkisi oluşmaktadır.
- Avlulu bina grupları ile geliştirilen FAR oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı yerleşme dokusu seçenekleri arasındaki yıllık ortalama ısı adası etkisi İstanbul ili için 0.322 C° ile 0.399 C° arasında değişirken, Diyarbakır ili için 1.397 C° ile 1.607 C° arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durumda, Diyarbakır ilinde yerleşmeler üzerindeki ısı adası etkisinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.
- İstanbul ve Diyarbakır illerinde yol genişliği arttıkça kentsel ısı adası etkisi eğiliminde değişkenlik gözlenmiştir. İstanbul ilinde yıllık ortalama kentsel ısı adası etkisinin en fazla olduğu yerleşme dokusu seçeneği Far oranı 3 yol genişliği 20 m olan seçenek olurken, Diyarbakır ilinde ise Far oranı 3 ve yol genişliği 10 m seçeneği olmuştur. Diyarbakır ilinde tüm yerleşme yoğunluğu seçeneklerinde yol genişliği arttığında ısı adası etkisi azalmıştır. İstanbul ilinde ise Far oranı 1 olan yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttığında ısı adası etkisi azalırken, Far oranı 2 ve 3 olan yerleşme seçeneklerinde artmaktadır. Bu farklılığın; iklim bölgelerinin etkisinde, dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak binalardan yayılan iklimlendirme sistemi kaynaklı atık ısı ve binalar ve kaldırımların termal kütesinden gece yayılan ısı nedeniyle oluştuğu düşünülebilir.
- Her iki ilde de yerleşmelerde, ısıtma dönemini temsil eden 18-24 Ocak günleri arasında yol genişliği arttıkça ortalama ısı adası etkisinde düşüş gözlenmiştir. 18-24 Temmuz günleri arasında ise İstanbul ili için ortalama kentsel ısı adası etkisinde artış gözlemlenirken Diyarbakır ilinde düşüş gözlenmiştir.
- Kış koşullarında, tüm yerleşme dokusu alternatifleri için dış ortam konfor koşulu değerlendirmeleri yapıldığında, İstanbul ili için UTCI indeksi “Güçlü soğuk (Strong cold stress)” aralığındayken, Diyarbakır ili için “Orta derecede (moderate cold stress)” aralığındadır. İstanbul ili için en kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.235 C°, Diyarbakır için 0.303 C°’dir.
- Yaz koşullarında ise, İstanbul ili için UTCI indeksi “Nötr (no thermal stress)” aralığındayken, Diyarbakır ili için “Güçlü (strong heat stress)” aralığındadır. İstanbul ili için en kötü ile en iyi senaryo arasındaki derece bakımından UTCI farkı 0.922 C°, Diyarbakır için 0.514 C°’dir.

TS 825 Standardına göre aynı derece gün bölgesinde yer alan ancak farklı iklimsel özelliklere sahip olan İstanbul ve Diyarbakır illerinde yerleşmelerin çevresel parametrelere bağlı olarak kentsel ısı adası etkisi ve dolayısıyla dış ortam konfor koşulu değerlendirmeleri yapıldığında birbirinden farklı eğilim ve değerlere sahip sonuçlarının elde edildiği saptanmıştır. Bu çalışma ile bina ve yerleşmelerde enerji etkin ve konfor koşullarının sağlanabileceği tasarımların gerçekleştirilebilmesi için birçok değişkenin etkili olabileceği ve her zaman değişkenlerin bileşik etkilerinin göz önünde bulundurulması gerektiği görülmüştür. Yerleşmenin boyutsal özelliklerinin farklı bölgeler için ne kadar etkili olabileceği de ele alınmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler doğrultusunda, gelecekteki kent yoğunluğu ile ilgili yapılacak çalışmalarda, bina tipolojilerinin de bina ve yerleşme ölçeğinde yapılacak çalışmalarda etkileri analiz edilerek araştırılabilir. Bu şekilde, morfolojik değişkenlerin de doğru tasarım kararlarıyla kullanıldığında elde edilebilecek faydaları dikkate alınarak doğru bina ve yerleşme tasarımları mümkün olabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, “Bina ve Yerleşme Tasarımında İklim Değişikliği ile Uyumlu Enerji Etkin Bir Yaklaşımın Geliştirilmesi” başlıklı İstanbul Teknik Üniversitesi BAP Doktora Tez projesinin bir ürünüdür. Projenin desteklenmesinden ötürü İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] IPCC, “Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3-32, doi:10.1017/9781009157896.001, 2021.
- [2] ZHANG, D., XU, J., ZHANG, Y., WANG, J., HE, Z., ZHOU, X. “Study on sustainable urbanization literature based on Web of Science, scopus, and China national knowledge infrastructure: A scientometric analysis in CiteSpace”, Journal of Cleaner Production, 264, 121537, 2020.
- [3] TALEGHANI, M., TENPIERIK, M., VAN DEN DOBBELSTEEN, A., SAILOR, D.J., “Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands”, Solar Energy, 103, 108-124, 2014.
- [4] PALME, M, INOSTROZA, L., VILLACRESES, G, LOBATO-CORDERO, A, C, “From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect,” Energy Build, 145, 107-120, 2017.
- [5] CALLEJAS, A I.J., CLEONICE DURANTE, L., DIZ-MELLADO, E., GAL’AN-MARÍN, C., “Thermal sensation in courtyards: Potentialities as a passive strategy in tropical climates. Sustainability”, 12 (15), 6135, 2020.
- [6] BOURBIA, F., BOUCHERİBA, F., “Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine)”, Renew. Energy, 35, 343-347, 2010.
- [7] EVOLA, G., COSTANZO, V., MAGRI, C., MARGANI, G., MARLETTA, L., NABONI, E. “A novel comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort and energy demand in urban canyons: Results and critical issues”, Energy and Building, 216, 109946, 2020.
- [8] BUENO, B., NORFORD, L., HIDALGO, J., PIGEON, G., “The urban weather generator”, Journal of Building Performance Simulation, 6, 269-281, 2013.
- [9] BUENO, B., ROTH, M., NORFORD, L., LI, R., “Computationally efficient prediction of canopy level urban air temperature at the neighbourhood scale”, Urban Climate, 9, 35-53, 2014.
- [10] SALVATI, A., MONTI, P., ROURA, H.C., CECERE C., “Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context”, Energy Buildings, 185, 162-179, 2019.
- [11] MANGAN, S.D., KOÇLAR O.G., SÖZEN I., ERDEMİR K. I., “Evaluation of settlement textures in terms of building energy, economic performance, and outdoor thermal comfort”, Sustainable Cities and Society, 56, 102110, 2020.
- [12] HAMDAN, D.A., OLIVEIRA, F., L., “The impact of urban design elements on microclimate in hot arid climatic conditions: Al Ain City”, UAE, Energy and Buildings, 200, 86-103, 2019.
- [13] PERINI, K., CHOKHACHIAN, A., DONG, S., AUER, T., “Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by Grasshopper”, Energy and Buildings, 152, 373-384, 2017.
- [14] NATANIAN, J., AUER, T., “Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow”, Sustainable Cities and Society, 56, 102094, 2020.
- [15] DAWODU, A., CHESHMEHZANGIA, A. “Impact of Floor Area Ratio (FAR) on Energy Consumption at Meso Scale in China: Case Study of Ningbo Glossary of Terms for Thermal Physiology (2003)”. Journal of Thermal Biology 28, 75-106, 2017.
- [16] UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX, www.utci.org, Son erişim tarihi: 20 Aralık 2022.
- [17] İBRAHİM, Y., KERSHAW, T., SHEPHERD, P., ELKADY, H., “Multi-objective optimisation of urban courtyard blocks in hot arid zones”, Solar Energy, 240, 104-120, 2022.

- [18] NATANIAN, J., ALEKSANDROWICZ, O., AUER, T., “A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts”, Appl. Energy 254 (113637), 1-17, 2019.
- [19] NATANIAN, J., AUER, T., “Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow”, Sustain. Cities Soc., 56, 102094, 1-11, 2020.
- [20] NATANIAN, J., DE LUCA, F., WORTMANN, T., CAPELUTO, G., “The Solar Block Generator: an additive parametric method for solar driven urban block design. In: Journal of Physics: Conference Series”, 2021.
- [21] NATANIAN, J., MAIULLARI, D., YEZIORO, A., AUER, T., “Synergetic urban microclimate and energy simulation parametric workflow. In: Journal of Physics: Conference Series”, 2019.
- [22] NABONI, E., MELONI, M., MACKEY, C., KAEMPF, J., “The simulation of mean radiant temperature in outdoor conditions: A review of software tools capabilities. Paper presented at the. In Proceedings of the 16th IBPSA Conference”, 2019.
- [23] TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, 2013.
- [24] FIALA, D., HAVENITH, G., BRÖDE, P., KAMPMANN, B., JENDRITZKY, G., “UTCI Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation”. Int.J. Biometeorol. 56, 429-441, 2012.
- [25] HARITA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (HGM), “Türkiye Jeodezik Ağlar Haritası”, <https://www.harita.gov.tr/sunum/> Son erişim tarihi: 20 Kasım 2022.
- [26] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Nüfus ve Konut Sayımı, 2021.
- [27] YUEYANG, H., ABEL, T., NYUK, H., “Effects of non-uniform and orthogonal breezeway networks on pedestrian ventilation in Singapore's high-density urban environments”, Urban Climate, 24, 460-484, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Eda KÖSE MURATHAN

1992 yılı Trabzon doğumludur. 2015 yılında KTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. 2019 yılında İTÜ Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programında Yüksek Mimar ünvanını almıştır. 2019 yılı itibariyle İTÜ Yapı Bilimleri Doktora Programında Doktora öğrenimine devam etmektedir. Aynı üniversitede 2017 yılından itibaren Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Bina ve yerleşmelerde enerji etkin tasarım konularında çalışmaktadır.

Gülten MANIOĞLU

Mimar Gülten Manioğlu 1993 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde öğretim görevlisidir. Binaların Enerji Etkin Tasarımı konularında çeşitli araştırma projelerinde yer almıştır. Enerji Etkin, Bina Tasarımı, Ekolojik Mimarlık, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Binalarda Su Korunumu, Yerleşmelerde Yağmur Suyu Eldesi konularında çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. 2009-2018 yılları arasında Uluslararası Yapı Fiziği Derneğinde (IABP) yönetim kurulu üyeliği yapmış olan G. Manioğlu, şu anda İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Fiziksel Çevre Kontrolü alanında Doçent olarak eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.

ISITMA ENERJİSİ KORUNUMUNDA ETKİLİ OLAN TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ : BOLU GÜLEZLER KONAĞI

Evaluation of Design Parameters Affecting Heating Energy Conservation: Bolu Gülezler Mansion

Şule Filiz Akşit
Cansu Akfidan Metin

ÖZET

Günümüzde çevre ve enerji problemleri giderek artarken, binaların tükettiği enerji de çevresel problemlere neden olmaktadır. Son yıllarda bulunduğu bölgenin iklimiyle dengeli olmayan bina sayısının hızla artması nedeniyle, binalarda kullanılan enerji tüketimi de artmıştır.

Bu çalışmada, soğuk iklim bölgesinde yer alan Bolu Gülezler Konağı, ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım değişkenleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, geleneksel konut özelliklerinin korunarak, iklime uygun enerji etkin bina tasarımları yapılması açısından, yeni yapılacak tasarımlara ışık tutmaktır. Çalışmanın yönteminde ise; Design Builder simülasyon programı kullanılarak rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası Gülezler Konağı modellenmiş ve ısıtmanın istendiği dönemde ısıtma yükü, CO₂ salımı ve ısıtma enerjisi için harcanan yakıt miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm bu değerleri en aza indirmek için bina kabuğunda iyileştirmeler yapılarak, bazı senaryolar geliştirilmiştir. Tüm senaryoların değerlendirilmesi sonucu, optimum senaryoyu oluşturmak için en az ısıtma yükünü sağlayan alternatif belirlenmiştir. Optimum senaryonun ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı değerleri, rekonstrüksiyon sonrası hesaplamalarına göre karşılaştırıldığında ise; ısıtma yükünde % 25, CO₂ salımında ise % 14 oranında azalma gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, tasarımcılara soğuk iklim bölgesinde yer alan Bolu ilinde geleneksel konut özelliklerinin korunarak iklimle dengeli bina tasarımları yapılması açısından yol gösterecek ve eski geleneksel mimariye uygun binaların kazandırılması, yenilenmesi ve konforlu hale getirilmesi için ilerde yapılacak çalışmalara da örnek olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Isıtma enerjisi korunumu, Tasarım Değişkenleri, Bolu Gülezler Konağı

ABSTRACT

Today, while environmental and energy problems are increasing, the energy consumed by buildings also causes environmental problems. Due to the rapid increase in the number of buildings that are not balanced with the climate of the region in which they are located, the energy consumption used in buildings has also increased.

In this study, Bolu Gülezler Mansion, located in the cold climate zone, was evaluated in terms of design parameters that are effective in heating energy conservation. The aim of the study is to shed light on the new designs in terms of making energy efficient building designs suitable for the climate while preserving the traditional housing features. In the method of the study; Using the Design Builder simulation program, Gülezler Mansion was modeled before and after the reconstruction, and the heating load, CO₂ emission or the heating energy were calculated during the heating period. In order to minimize all these calculated values, some scenarios have been developed by making improvements in the building envelope. As a result of the evaluation of all scenarios, the alternative

providing the least heating load was determined to create the optimum scenario. When the heating load of the optimum scenario and the corresponding CO2 emission and the amount of fuel consumed are compared according to the post-reconstruction calculations; A reduction of 25% in heating load, 14% in CO2 emission was observed.

As a result, this study will guide the designers in terms of creating climate-balanced building designs by preserving the traditional housing features in the province of Bolu, which is located in the cold climate zone, and will also serve as an example for future studies to bring buildings suitable for the old traditional architecture, to renovate them and to make them comfortable.

Key Words: Heating energy conservation, Design parameters, Bolu Gülezler Konağı

1. GİRİŞ

Kentleşme ve sanayileşmenin artmasıyla birlikte dünyadaki nüfus için gerekli enerjiyi sağlamak problem haline gelmiştir. Binalarda kullanılan fosil yakıtlar; karbondioksit salımı, çevre kirliliği, sera etkisi ve iklim değişikliği gibi problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu problemler küresel ısınmanın birincil nedenleri arasındadır. Gelecek kuşaklara daha temiz ve sağlıklı bir çevre bırakmak için alternatif enerji kaynaklarının kullanılması gerekmektedir [1].

Ülkemizde ithal edilen enerjinin çoğunluğu binaların ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle tasarım sürecindeyken, enerji etkinliği açısından binaların doğru tasarlanması ve bulunduğu iklimin koşullarına göre planlanmasıyla binaların ısıtma ve soğutmasında harcanan enerji miktarı azaltılmalıdır. İklimsel özelliklerine göre ısıtmanın istendiği ve ısıtmanın istenmediği dönemin baskınlığı binaların tasarımını etkilemektedir. Anadolu'daki iklimle dengeli olan geleneksel bina tasarımları, günümüzün enerji etkin binalarının tasarlanmasına yol göstermelidir [2].

2. ISITMA ENERJİSİ KORUNUMUNDA ETKİN OLAN TASARIM DEĞİŞKENLERİ

Isıtma enerjisi korunumunda etkili olan başlıca değişkenler; kullanıcıya ilişkin değişkenler, iklime ilişkin değişkenler ve binaya ilişkin değişkenler olarak incelenebilir.

2.1. Kullanıcıya İlişkin Değişkenler

Kullanıcıya ilişkin değişkenler; kullanıcı niteliği ve durumuna ilişkin değişkenler ve fizyolojik değişkenler olarak ikiye ayrılır.

Kullanıcı niteliği ve durumuna ilişkin değişkenler: Aktivite düzeyi ve giysi türü, iklimsel konfor koşullarını etkileyen önemli etkenlerdir. Aktivite düzeyi, insan vücudunun aldığı besinleri yakarak birim zaman da ürettiği metabolizma düzeyini etkiler. Giysi türü, insanın bulunduğu ortamdaki performansını etkilemektedir [3].

Fizyolojik değişkenler: Fizyolojik değişkenler ortalama vücut sıcaklığı, deri sıcaklığı, terleme miktarı ve kalp atışı gibi objektif, görülür terleme ve termal duyu (veya hissediş) gibi sübjektif değişkenler olarak açıklanabilmektedir [4].

2.2. İklimle İlişkin Değişkenler

İklimle ilişkin değişkenler, iç iklimle ilişkin değişkenler ve dış iklimle ilişkin değişkenler olmak üzere ikiye ayrılır. İç iklimle ilişkin değişkenler, iç hava sıcaklığı, iç hava nemliliği, iç yüzey sıcaklığı ve iç hava hareketidir. Dış iklimle ilişkin değişkenler ise, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemi ve dış hava (rüzgar) hareketidir.

2.3. Binaya İlişkin Değişkenler

Bina grubu ölçeğinde bir yapma çevre ele alındığında, ısı kayıplarının azaltılmasında dolayısıyla, enerji tasarrufunda etkili olan binaya ilişkin başlıca tasarım değişkenleri;

- Binanın bulunduğu yer,

- Bina ve hacimlerin yönlendiriliş durumu,
- Bina aralıkları,
- Bina formu ve
- Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

ele alınabilir [3].

2.3.1. Binanın bulunduğu yer: Binanın bulunduğu yer, binanın iç ikliminin kontrolünde ve hava kirliliğini önlemede etkili olan bir tasarım değişkenidir. Bu değişken, yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, konumu ve örtüsü (güneş ışınımı yansıtma özelliği) gibi bir grup alt değişkenler bütünüdür. Bu değişkenlere ilişkin uygun değerler yörelerde geçerli olan iklimsel koşullar ve insanın iklimsel ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenir ve yerleşmeler için en uygun olan bölgeleri tanımlarlar [3].

2.3.2. Bina ve hacimlerin yönlendiriliş durumu: Bina ve hacimlerin yönlendiriliş durumunu etkileyen en önemli etmenler; güneş ışınımı, rüzgar yönü, biyoklimatik veriler, ulaşım aksları, manzara, gürültü, kirli hava kaynaklarının yerine olan uzaklığı ve arazinin sahip olduğu topografik özelliklerdir [5]. Bina ve hacimlerin yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak, binayı çevreleyen kabuk elemanının dış yüzeyindeki güneş ışınımı yeğnilliği ve dolayısıyla kabuğun birim alanından geçen ısı miktarı değişkenlik gösterir [6].

2.3.3. Bina aralıkları: Binalar arasındaki uzaklıklar belirlenirken, binaların birbirinin güneş ışınım kazançlarını kesmemesi ve rüzgarın yararlı etkilerden yararlanması gibi etkenlere dikkat edilmelidir. Binalar arasındaki uzaklık rüzgar engeli de oluşturabilmektedir. Bina içerisinde istenen iç rüzgarın oluşması için bina aralıklarının ona göre belirlenmesi gerekmektedir [3].

2.3.4. Bina formu: Herhangi bir yaşam alanını örten ve onu dış çevreden ayıran bina kabuğunun formuna bağlı olarak, binanın toplam dış yüzey alanı, farklı yönlere bakan ve farklı eğimlerdeki cephe ve çatı yüzeyleri alanları ve cephe ve çatı yüzeyleri arasındaki oranlar değişim gösterir. Bina formu, biçim faktörü (plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı), bina yüksekliği, çatı türü (düz, beşik ve kırma çatı), çatı eğimi ve cephe eğimi gibi binaya ilişkin geometrik değişkenler aracılığıyla tanımlanabilir [6].

2.3.5. Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri: İç çevre iklimsel koşulları ve ısıtma yükleri bina kabuğundan yitirilen toplam ısı miktarlarına bağlı olarak değişim gösterir. Dolayısıyla bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri aynı zamanda gerek iç iklimsel koşulların gerekse ısıtma yüklerinin belirleyicileridir [7]. Pasif ısıtma işlevi açısından bina kabuğunun tanımı, kabuğun; güneş ışınımına ilişkin yutuculuk (a), yansıtıcılık (r), geçirgenlik (t) gibi optik ve toplam ısı geçirme katsayısı (U), saydamlık oranı (x) gibi ana termofiziksel özellikleri ile yapılmaktadır.

3. BOLU GÜLEZLER KONAĞI'NIN ISITMA ENERJİSİ KORUNUMUNDA ETKİLİ OLAN TASARIM DEĞİŞKENLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ [8]

Binalarda bulunan pasif ısıtma ve soğutma sistemleri, ısıtmanın istendiği ve ısıtmanın istenmediği dönemlerden etkilenmekte olup, bina inşa edilirken veya inşa edildikten sonra da uygulanabilir. Ülke genelinde enerji verimliliğinin sağlanması için bu sistemlerin tüm binalara en kısa zamanda uygulanması gerekmektedir.

Isıtmanın istendiği dönem, ılımlı nemli iklim bölgesi, ılımlı kuru iklim bölgesi ve soğuk iklim bölgesinde daha uzun sürmektedir. Sıcak nemli ve sıcak kuru iklim bölgelerinde ise ısıtmanın istendiği dönem çok kısa sürmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında ısıtma enerjisi korunumu açısından bir değerlendirme çalışması yapılacağı için soğuk iklim bölgesi ve Bu iklim bölgesinde yer alan Bolu ili ele alınmıştır.

Soğuk iklim bölgesinde yer alan Bolu'nun etrafı ormanlarla çevrili olduğundan, geçmişten günümüze kadar yapılan binalarda ahşap malzeme ağırlık kazanmıştır. Günümüzde kent merkezinde çok olmasa

da geleneksel mimari özellikleri taşıyan Bolu evlerine rastlanmaktadır. Bu çalışmada ısıtma enerjisi korunumunun değerlendirilmesi için geleneksel Bolu evi tercih edilmiştir. 19.yy sonlarında inşa edilen Gülezler Konağı, geleneksel Bolu evlerinden biri olup, ikiz konak tipindedir. Bu özelliğiyle Gülezler Konağı, Bolu kent merkezindeki geleneksel dokudaki ayakta kalan sayılı örneklerden biridir. Gülezler Konağı'nda geleneksel mimarinin son dönem izleri ve Batı etkisi sivil mimari etkileri gözlemlenmektedir [9]. Konağın uğradığı tahribat sonucu 2009 yılında Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun kararıyla yıkılmasının ardından aslına uygun şekilde yeniden inşa edilmiştir. Tahribat öncesi konut olarak kullanılan Gülezler Konağı, 2008 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi'ne devredilmiş ve 2009 yılında Üniversite'ye teslim edilmiştir. Gülezler Konağı, 2009 yılından itibaren Bolu Halk Kültürünü Araştırma ve Uygulama Merkezi olarak kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmanın adımları aşağıda görülmektedir.

3.1 Bolu Gülezler Konağı Isıtma Enerjisi Korunumunda Etkili Olan Tasarım Değişkenleri

Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım değişkenleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Gülezler Konağı yerleşme alanı

Bu çalışmada ele alınan Gülezler Konağı, Bolu'nun Karaçayır Mahallesi geleneksel konut bölgesinde, düz bir arazide yer almaktadır. Şekil 1'de konağın vaziyet planı ve arazide yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 1. Gülezler Konağı vaziyet planı ve arazide yerleşimi [10,11].

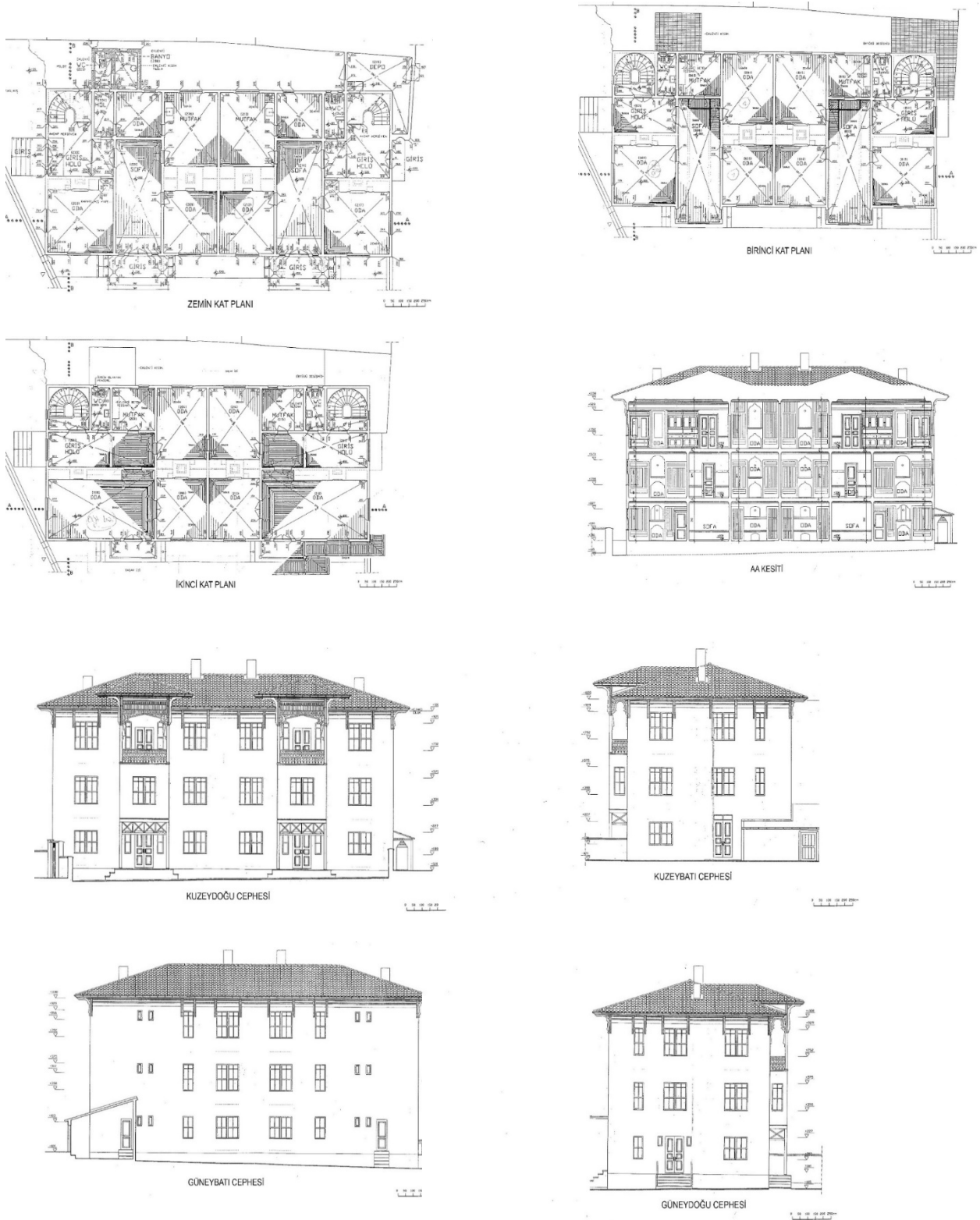
Gülezler Konağı yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu

Rekonstrüksiyon öncesine ait bina kat planları, kesiti ve görünüşleri Şekil 2'de; rekonstrüksiyon sonrasına ait bina kat planları, kesiti ve görünüşleri ise Şekil 3'de görülmektedir.

Şekil 1'deki vaziyet planında görüldüğü gibi konağın ön cephesi kuzeydoğu yönüne bakmaktadır. Binanın zemin katında 6 adet girişi vardır. 2 tanesi ön cephede, 2 tanesi yan cephelerde ve 2 tanesi arka cephededir. Rekonstrüksiyon sonrası bina girişleri değiştirilmemiştir.



Şekil 2. Rekonstrüksiyon öncesine ait bina kat planları, kesiti ve görünüşleri [9]



Şekil 3. Rekonstrüksiyon sonrasında ait bina kat planları, kesiti ve görünüşleri [9]

Zemin katta ve birinci kattaki hacimler sofanın üç tarafına gelecek şekilde güneydoğu, güneybatı ve kuzeybatı olacak şekilde planlanmıştır. İkinci kattaki hacimler ise tüm yönlere bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Binanın zemin katında ve birinci katında sofalar vardır. Katlarda yer alan odalar, rekonstrüksiyon sonrası yapılan planlamada bazı fonksiyonel değişikliğe uğramıştır. Bu değişiklik sadece zemin katta mevcuttur. Birinci ve ikinci katta herhangi bir fonksiyonel değişiklik söz konusu değildir.

Rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası zemin kat, giriş kat ve ikinci katta bulunan odalardan 2 tanesi kuzeydoğu yönüne, 1 tanesi kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerine, 1 tanesi kuzeydoğu ve güneydoğu yönlerine, 2 tanesi de güneybatı yönüne bakmaktadır.

Gülezler Konağı bina aralıkları

Şekil 3.1'deki vaziyet planında görüldüğü gibi Gülezler Konağı etrafında, konağın direkt güneş ışınımını engelleyecek ve üzerinde gölge oluşmasına neden olacak herhangi bir bina bulunmamaktadır.

Gülezler Konağı formu

Gülezler Konağı özgün kimliğini bugünlere kadar taşımıştır. Bina, eklentileri ve bazı bölümlerinin fonksiyonlarının değiştirilmesine rağmen plan şeması, strüktürü, cephesiyle genelde özgün kabul edilebilir [9]. Gülezler Konağı ikiz konak olup 3 katlıdır. Gülezler Konağı'na ait rekonstrüksiyon öncesi ve rekonstrüksiyon sonrası fotoğrafları Şekil 4'te görülmektedir. Gülezler Konağı, biçim faktörü 1:1 olan iki konağın birleşiminden oluşan bir ikiz konaktır.



Şekil 4. Gülezler Konağı Rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası [12,13].

Gülezler Konağı bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

Rekonstrüksiyon öncesi Gülezler Konağı'nın dış duvarları ahşap kagir içine harman tuğlası ile inşa edilmiştir. Bina bağdadi sıvadan yapılmıştır. Pencere ve kapılar ahşaptır. Zeminde yoğun kalker kullanılmıştır. Çatı kiremit ile kaplıdır. Binanın pencereleri ahşap tek camlı doğramalardır. Pencerenin toplam ısı geçirgenlik katsayısı 5,778 W/ m²K'dir.

Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı aslına uygun şekilde çelik konstrüksiyon ile inşa edilmiştir. Bina duvarlarında betopan levha, alçıpan levha, camyünü ve sıva kullanılmıştır. Binanın pencere ve kapıları özgün ahşaptır. Zeminde kirişsiz radye temel kullanılmıştır. Çatı kiremit ile kaplıdır. Binanın pencereleri 6mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama ve berrak cam olup pencerenin toplam ısı geçirme katsayısı 2,665 W/ m²K'dir.

Binanın rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası bina kabuğu termofiziksel özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Saydamlık oranlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Saydamlık oranları; Kuzeydoğu cephesinde %17, Güneydoğu cephesinde %15, Kuzeybatı cephesinde %13, Güneybatı cephesinde ise %10'dur.

Tablo 1. Rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası bina kabuğu termofiziksel özellikleri.

		Malzeme	Isı iletkenlik hesap değeri (W/mK)	Kalınlık (m)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U (W/m ² K)
Rekonstrüksiyon öncesi Gülezer Konağı	Dış duvar	Dış sıva	1,4	0,03	2,168
		Kagir duvar	0,81	0,2	
		İç sıva	0,87	0,02	
	Çatı Döşemesi	Ahşap (iğne yapraklı)	0,13	0,04	1,28
Hava		0,3	0,1		
Ahşap (iğne yapraklı)		0,13	0,02		
Zemin Döşemesi	Yoğun Kalker	2,3	0,6	2,124	
Pencere	Ahşap tek camlı doğrama			5,778	
Rekonstrüksiyon sonrası Gülezer Konağı	Dış duvar	Rabitzli kireç harcı sıva	0,35	0,01	0,289
		Betopan levha	0,21	0,015	
		Dolgu camyünü	0,052	0,16	
		Alçıpan levha	0,2	0,02	
		Alçı sıva	0,87	0,01	
	Çatı Döşemesi	Isı izolasyonu taşıyünü	0,035	0,05	0,275
		Ahşap döşeme(iğne yapraklı)	0,13	0,03	
		Isı izolasyonu taşıyünü	0,035	0,05	
		Ahşap kör döşeme (iğne yapraklı)	0,13	0,03	
	Zemin Döşemesi	Ahşap çatı kaplaması (iğne yapraklı)	0,13	0,02	1,286
Blokaj		0,19	0,025		
Grobeton		1,74	0,1		
Pencere	Ahşap çift camlı doğrama (6mm cam + 12 mm hava+ 6 mm cam)	Şap	1,4	0,03	2,665
		Donatılı beton	2,1	0,6	

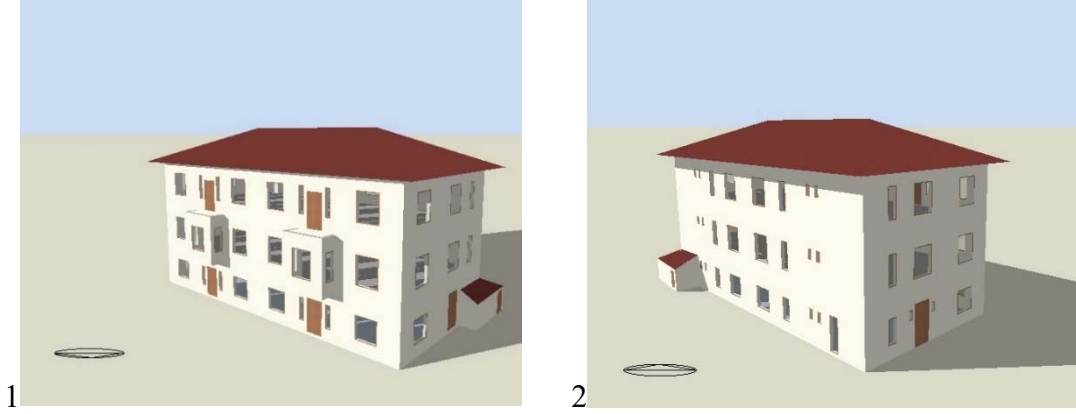
3.2 Rekonstrüksiyon Öncesi ve Sonrası Gülezer Konağı Isıtma Yüklerinin Modelleme Yoluyla Değerlendirilmesi

Isıtmanın istendiği dönemde, rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası Gülezer Konağı ısıtma yüklerini hesaplamak için Design Builder simülasyon programı kullanılmıştır. Design Builder simülasyon programı, EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracıdır. Programda modellenen binaya ait ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı hesapları yapılmıştır. Rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası Gülezer Konağı ısıtma yüklerinin hesaplamasında ele alınan kabuller aşağıdaki gibidir.

- Bina tek zon olarak kabul edilmiştir. Binada yer alan oda sayısı ve büyüklüğüne göre binadaki kullanıcı sayısı 16 kişi olarak tanımlanmıştır. Binanın tüm hafta kullanıldığı, saat 08.00 - 23.00 arası ise yapma ısıtma sisteminin çalıştığı kabul edilmiştir.
- Isıtmanın istendiği dönemde iç mekan konfor sıcaklığı 20°C olarak tanımlanmıştır.
- Binadaki ısıtma ve sıcak su sisteminde yakıt olarak doğalgaz kullanıldığı kabul edilmiştir.
- Rekonstrüksiyon öncesi bina infiltrasyonunun 1 ac/h ve rekonstrüksiyon sonrası bina infiltrasyonunun ise 0,7 ac/h olduğu varsayılmıştır.
- Bina aydınlatması için asılı ışıklıklar kullanıldığı kabul edilmiştir.

3.2.1. Gülezler Konağı'nın modellenmesi

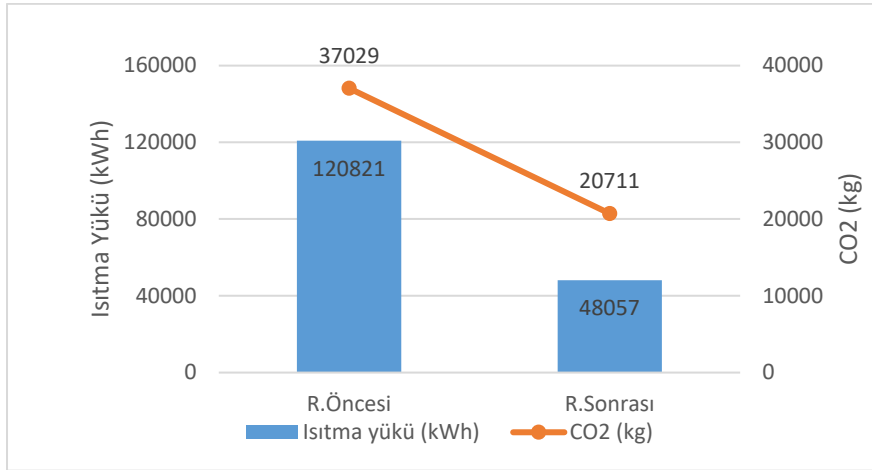
Simülasyon programında Gülezler Konağı, üç boyutlu olarak modellenmiştir. Rekonstrüksiyon sırasında bina, özgün haline göre inşa edildiği için, modellenen bina hem rekonstrüksiyon öncesi hem de rekonstrüksiyon sonrası hesaplamalarında kullanılmıştır. Simülasyon programı ile oluşturulan model Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Gülezler Konağı'nın simülasyon programında hazırlanan modeli (1-Kuzeydoğu ve Kuzeybatı cepheleri, 2- Güneybatı ve Güneydoğu cepheleri)

3.2.2. Isıtma yükleri ve CO₂ salımının hesaplanması

Yapılan kabuller sonrasında ısıtmanın istendiği dönem için, rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası Gülezler Konağı'nın simülasyon programı yardımıyla ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerleri hesaplanmıştır. Hesap sonuçları Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Gülezler Konağı'nın rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası ısıtma yükü ve CO₂ salımı değerleri

3.2.3. Isıtma yüklerinin azaltılmasına yönelik senaryoların geliştirilmesi

Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı değerleri hesaplandıktan sonra, bunları en aza indirmek için bina kabuğunda iyileştirmeler yapılarak, bazı senaryolar geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryolarda, bina modellenmesi ve hesaplamalarda belirlenen kabuller değiştirilmemiştir. Sadece bina kabuğunda iyileştirmeler yapılarak, ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı değerleri tekrar hesaplanmıştır.

3.2.3.1. Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı opak bileşen detayına ilişkin senaryoların geliştirilmesi (Senaryo 1)

Opak bileşenin katmanları ve kalınlıkları kabuktaki ısı geçiş miktarını etkilemektedir. Farklı toplam ısı geçirme katsayıları önerilerinde bulunabilmek adına ısıtmanın istendiği dönem içerisinde, opak bileşendeki ısı yalıtım katmanının kalınlığı, kullanılan kalınlığa bağlı olarak belirli oranlarda artırılmıştır. Önerilerde bulunan toplam ısı geçirme katsayıları, yönetmelikler esas alınarak belirlenmiştir.

Senaryo 1A'da, opak bileşenin ısı yalıtım katmanı olan dolgu camyünü kalınlığı 16 cm'den 20 cm'e çıkartılarak opak bileşen toplam ısı geçirme katsayısı 0,289 W/m²K'den, 0,237 W/m²K'e düşürülmüştür.

Senaryo 1B'de ise, opak bileşenin ısı yalıtım katmanı olan dolgu camyünü kalınlığı 16 cm'den 24 cm'e çıkartılarak opak bileşen toplam ısı geçirme katsayısı 0,200 W/m²K olarak alınmıştır.

Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve opak bileşen için öneride bulunan toplam ısı geçirme katsayısı değerleri (Senaryo 1A ve Senaryo 1B) Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Isıtmanın istendiği dönemde Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve geliştirilen senaryoların toplam ısı geçirme katsayısı değerleri.

	Opak Bileşen U Değeri (W/ m ² K)	Çatı U Değeri (W/ m ² K)	Zemine Oturan Döşeme U Değeri (W/ m ² K)	Saydam Bileşen U Değeri (W/ m ² K)
Gülezler konağı R. öncesi	2,168	1,28	2,124	5,778
Gülezler konağı R. sonrası	0,289	0,275	1,286	2,665
Senaryo 1A	0,237			
Senaryo 1B	0,200			
Senaryo 2A		0,209		
Senaryo 2B		0,154		
Senaryo 3A			0,973	
Senaryo 3B			0,655	
Senaryo 4A				2,511
Senaryo 4B				1,761
Senaryo 4C				1,493

3.2.3.2. Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı çatı döşemesi detayına ilişkin senaryoların geliştirilmesi (Senaryo 2)

Kabuktaki ısı geçiş miktarını, çatı döşemesinde bulunan katmanlar ve katman kalınlıkları etkilediği için çatı döşemesinde bulunan ısı yalıtım katmanının kalınlığı kullanılan kalınlığa bağlı olarak belirli oranlarda artırılarak, farklı toplam ısı geçirme katsayıları önerilerinde bulunulmuştur. Önerilerde bulunan ısı geçirme katsayıları, yönetmeliklere uygun olacak şekilde belirlenmiştir.

Senaryo 2A'da, çatı döşemesi ısı yalıtım katmanı olan taşıyünü kalınlığı 5 cm'den 7 cm'e çıkartılarak toplam ısı geçirme katsayısı 0,275 W/m²K'den, 0,209 W/m²K'e düşürülmüştür.

Senaryo 2B'de ise, çatı döşemesi ısı yalıtım katmanı olan taşıyünü kalınlığı 5 cm'den 10 cm'e çıkartılmış ve toplam ısı geçirme katsayısı 0,154 W/m²K olarak alınmıştır.

Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve çatı döşemesi için öneride bulunan toplam ısı geçirme katsayısı değerleri (Senaryo 2A ve Senaryo 2B) Tablo 2'de görülmektedir.

3.2.3.3.Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı zemine oturan döşeme detayına ilişkin senaryoların geliştirilmesi (Senaryo 3)

Zemine oturan döşemede bulunan katmanlar ve katman kalınlıkları kabuktaki ısı geçiş miktarını etkilemektedir. Bu nedenle, ısıtmanın istendiği dönem içerisinde, zemin döşemesine ısı yalıtım katmanı eklenmiştir ve kalınlığı kullanılan kalınlığa bağlı olarak belirli oranlarda artırılarak, farklı toplam ısı geçirme katsayıları önerilerinde bulunulmuştur. Önerilerde bulunan toplam ısı geçirme katsayıları, yönetmelikler esas alınarak belirlenmiştir.

Senaryo 3A'da, zemine oturan döşemede ısı yalıtım katmanı olarak 1 cm kalınlığında polistiren köpük eklenmiştir. Toplam ısı geçirme katsayısı 0,973 W/ m²K olarak alınmıştır.

Senaryo 3B'de, zemine oturan döşemede ısı yalıtım katmanı 3 cm alınarak, polistiren köpük kalınlığı Senaryo 3A'ya göre artırılmıştır. Toplam ısı geçirme katsayısı 0,655 W/ m²K'ye düşürülmüştür.

Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve zemine oturan döşeme için öneride bulunan toplam ısı geçirme katsayısı değerleri (Senaryo 3A ve Senaryo 3B) Tablo 2'de görülmektedir.

3.2.3.4.Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı saydam bileşen detayına ilişkin senaryoların geliştirilmesi (Senaryo 4)

Kabuktaki ısı geçiş miktarını saydam bileşen türü ve katmanları önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı toplam ısı geçirme katsayıları önerilerinde bulunmak için ısıtmanın istendiği dönem içerisinde saydam bileşen türü değiştirilmiştir.

Senaryo 4A'da, 6mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama olan saydam bileşen türü, 6mm cam + 12 mm argon + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama türüne dönüştürülmüştür. Toplam ısı geçirme katsayısı 2,665 W/ m²K'den, 2,511 W/ m²K'e düşürülmüştür.

Senaryo 4B'de, 6mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama olan saydam bileşen türü, Dbl Loe (e2=1) 6mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama türü olarak değiştirilmiştir. 2,665 W/ m²K olan toplam ısı geçirme katsayısı, 1,76 W/ m²K'e düşürülmüştür.

Senaryo 4C'de, 6mm cam + 12 mm hava boşluğu + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama türü olan saydam bileşen türü yerine Dbl Loe (e2=1) 6mm cam + 12 mm argon + 6 mm cam olmak üzere çift katmanlı ahşap doğrama türü kullanılmıştır. Yapılan bu değişiklik neticesinde toplam ısı geçirme katsayısı 2,665 W/ m²K'den, 1,49 W/ m²K'e düşürülmüştür.

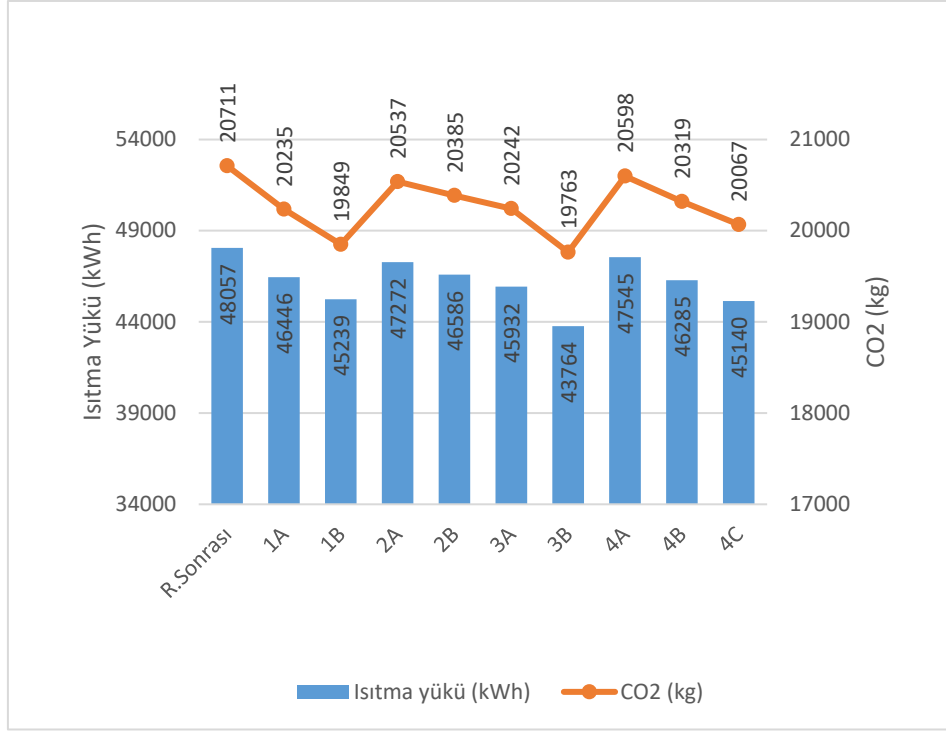
Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve saydam bileşen için öneride bulunan toplam ısı geçirme katsayısı değerleri (Senaryo 4A, Senaryo 4B ve Senaryo 4C) Tablo 2'de görülmektedir.

3.2.4.Gülezler Konağı için önerilen senaryolara ait ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerlerinin belirlenmesi

Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası ve opak bileşen senaryolarına ilişkin ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerleri Şekil 7'de görülmektedir.

Tüm senaryolar ısıtmanın istendiği dönem içerisinde değerlendirildiğinde;

- Opak bileşen, çatı döşemesi ve zemine oturan döşemede ısı yalıtım katmanının kalınlığı artırıldığında, ısıtma yükünün ve buna bağlı olarak CO₂ salımının azaldığı,
- Sıydam bileşenin türü ve katmanları iyileştirildiğinde, ısıtma yükünün ve CO₂ salımının azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Gülezler Konağı'nın rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası opak bileşen senaryolarına ilişkin ısıtma yükü ve CO₂ salımı değerleri

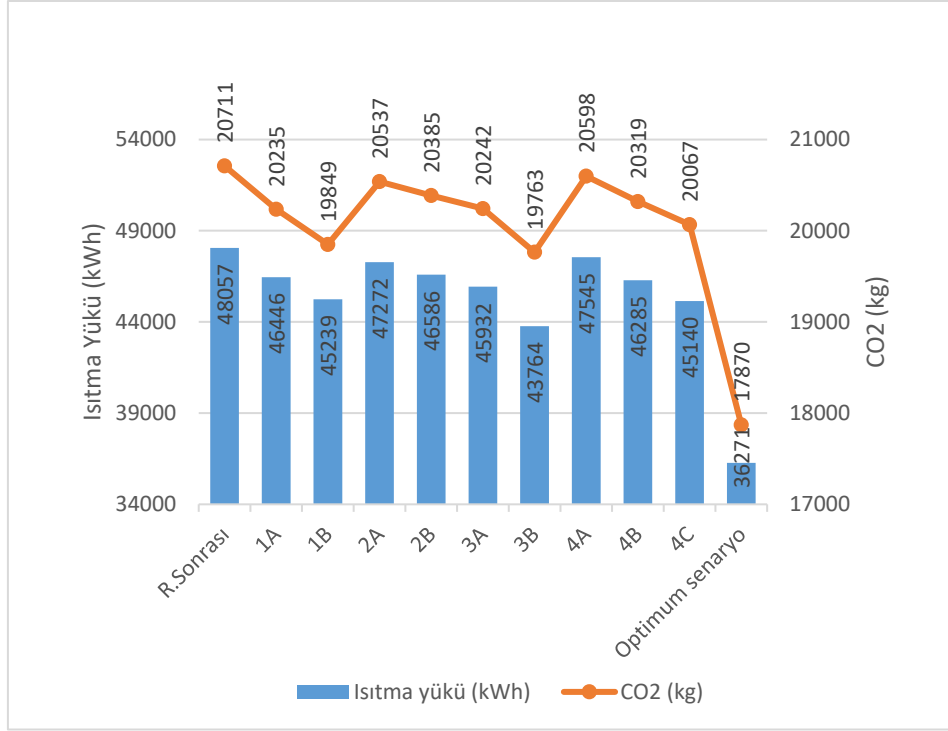
3.2.5. Gülezler Konağı'na ilişkin en az ısıtma yükünü sağlayan alternatifin (optimum senaryo) belirlenmesi ve ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerlerinin hesaplanması

Tüm senaryoların değerlendirilmesi sonucu, optimum senaryoyu oluşturmak için bina kabuğunu oluşturan opak bileşen, çatı döşemesi, zemine oturan döşeme ve saydam bileşen toplam ısı geçirme katsayısı değerlerinin en düşük değerleri alınarak (Tablo 3) ısıtma yükü ve CO₂ salımı tekrar hesaplanmıştır.

Tablo 3. Hesaplamaya alınan opak bileşen, çatı döşemesi, zemine oturan döşeme ve saydam bileşen U değerleri (W/m²K).

	Opak Bileşen U Değeri (W/ m ² K)	Çatı Döşemesi U Değeri (W/ m ² K)	Zemine Oturan Döşeme U Değeri (W/ m ² K)	Saydam Bileşen U Değeri (W/ m ² K)
Gülezler konağı/Rekons. öncesi	2,168	1,28	2,124	5,778
Gülezler konağı/Rekons. sonrası	0,289	0,275	1,286	2,665
Senaryo 1A	0,237			
Senaryo 1B	0,200			
Senaryo 2A		0,209		
Senaryo 2B		0,154		
Senaryo 3A			0,973	
Senaryo 3B			0,655	
Senaryo 4A				2,511
Senaryo 4B				1,761
Senaryo 4C				1,493

Isıtmanın istendiği dönemde, Gülezler Konağı rekonstrüksiyon öncesi, sonrası, tüm senaryolar ve optimum senaryoya ilişkin ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerleri Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 8. Gülezler Konağı'nın rekonstrüksiyon sonrası ve tüm senaryolar ile optimum senaryoya ilişkin ısıtma yükleri ve CO₂ salımı değerleri

Rekonstrüksiyon sonrası Gülezler Konağı'nın ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı, rekonstrüksiyon öncesi hesaplamalarına göre değerlendirildiğinde (Şekil 3.6);

- Isıtma yükünde % 60
- CO₂ salımında % 44 oranında azalma,

oluşturulan optimum senaryonun ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı, rekonstrüksiyon sonrası hesaplamalarına göre değerlendirildiğinde (Şekil 3.7) ise;

- Isıtma yükünde % 25
- CO₂ salımında % 14

oranında azalma gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji kaynaklarının azalması ve artan çevre kirliliği nedeniyle enerji korunumunun ve sürdürülebilir çevrenin sağlanması zorunlu hale gelmiştir. Doğal kaynakları gelecek kuşaklara aktarabilmek için yapma çevrede enerji korunumunun sağlanması son derece önemlidir. Sürdürülebilir çevrenin devamlılığını sağlamak için iklime uygun enerji etkin bina tasarımları yapmak gerekir. Türkiye, farklı iklim bölgelerine sahip olduğundan, farklı iklimsel özelliklerde yapılan bina tasarım örnekleri açısından zengin bir ülkedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin soğuk iklim bölgesinde yer alan Bolu ilindeki Gülezler Konağı'nın ısıtma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım değişkenleri açısından değerlendirmesi yapılmıştır.

Değerlendirme sonucunda, Gülezler Konağı'nın rekonstrüksiyon öncesi ve sonrası ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı değerleri karşılaştırıldığında; rekonstrüksiyon sonrası sonuçlar, binanın TS 825'e uygun yapılmasından dolayı daha iyi çıkmıştır. Binanın soğuk iklim bölgesinde yer alması nedeniyle harcanan enerjinin çoğunluğunu ısıtma yükü oluşturduğundan, ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımını azaltmak için bazı senaryolar geliştirilmiştir. Tüm senaryolar değerlendirildikten sonra optimum senaryoyu oluşturmak için bina kabuğunu oluşturan opak bileşen, çatı döşemesi, zemine oturan döşeme ve saydam bileşen toplam ısı geçirme katsayısı değerlerinin en düşük değerleri alınmıştır. En az ısıtma yükünü sağlayan alternatife (optimum senaryoya) göre, Gülezler Konağı'nın ısıtma yükü ve buna bağlı olarak CO₂ salımı da en az seviyede çıkmıştır.

Sonuç olarak, bina kabuğunu oluşturan bileşenler için iklim uygun malzeme seçiminin ve bu malzemelerin kalınlıklarının belirlenmesinin, enerji korunumu ve sürdürülebilir çevreyi sağlamak için ne kadar önemli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, tasarımcılara; soğuk iklim bölgesinde yer alan Bolu ilinde geleneksel konut özelliklerinin korunarak iklimle dengeli bina tasarımları yapılması açısından yol gösterilmesi hedeflenmiştir. Böylece yapılan çalışma, eski geleneksel mimariye uygun binaların kazandırılması, yenilenmesi ve konforlu hale getirilmesi için ileride yapılacak çalışmalara da örnek olacaktır. Enerji korunumu açısından düşünüldüğünde bu çalışma, enerji kullanımını ve çevre kirliliğini azaltmaya yönelik olarak da büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] GAZİOĞLU, A., "Enerji etkin bina tasarımında ısıtma enerjisi harcamalarını azaltmaya yönelik bir iyileştirme çalışması", (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2012.
- [2] BALCIOĞLU, A., "Geleneksel ve modern bağ evi örneklerinin soğutma enerjisi korunumunda etkili olan tasarım değişkenleri açısından değerlendirilmesi", (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [3] BERKÖZ, E., KÜÇÜKDOĞU, M., YILMAZ, Z., KOCAASLAN, G., vd., "Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı", TÜBİTAK-İNTAG 201, Araştırma Raporu, İstanbul, 1995.
- [4] ORAL KOÇLAR, G., "Isıtma-Havalandırma Ders Notları", İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1998.
- [5] OLGAY, V., "Design with climate", Princeton University Press, 1963.
- [6] BERKÖZ, E., "Güneş ışınımı ve yapı dizaynı", (Profesörlük tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1983.
- [7] ASHRAE, Standart 55-81, "Thermal comfort conditions for human occupancy", American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 1981.
- [8] AKFİDAN METİN, C., "Bolu Gülezler Konağı'nın Isıtma Enerjisi Korunumunda Etkili Olan Tasarım Değişkenleri Açısından Değerlendirilmesi", (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.
- [9] GÜLER, N., "Bolu ili geleneksel konut mimarisi üzerine bir araştırma ve koruma önerileri", (Yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1998.
- [10] Url-1 < <http://bamer.ibu.edu.tr/gulezler-konagin-in-tanitilmasi>>, erişim tarihi 25.01.2023.
- [11] Url-2 < <http://earth.google.com>>, erişim tarihi 25.01.2023.
- [12] Url-3<<http://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/bolu/gezilecekyer/gulezler-konagi/>>, erişim tarihi 25.01.2023.
- [13] Url-4 < <http://www.egmimarlik.com/calisma.php?id=19>>, erişim tarihi 25.01.2023.



ÖZGEÇMİŞ

Şule Filiz AKŞİT

Doç. Dr. Ş. Filiz Akşit, 1989 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü, 1993 yılında İTÜ FBE Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programını ve 2002 yılında ise Yapı Bilgisi Doktora Programını tamamlamıştır. 1991 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde görevini sürdürmektedir. Enerji Etkin Bina Tasarımı, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Soğutma Enerjisi Korunumu vb. konularda çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. Halen İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Yapı Fiziği ve Fiziksel Çevre Kontrolü alanında eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.

Cansu AKFİDAN METİN

1989 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında İzmir Ekonomi Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümünü bitirmiştir. 2018 yılında ise İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır

BİLEŞİK ISI GÜÇ SİSTEMİ OLARAK BİR ALIŞVERİŞ MERKEZİNDE YAKIT PİLİ UYGULAMASI

Application Of A Fuel Cell Cogeneration System In A Shopping Mall

İbrahim Utku Başyazıcı
Özden Ağra

ÖZET

Hidrojen ekonomisine geçiş ile ilgili tartışmalar yakıt pili teknolojisinin binalarda kullanımının değerlendirilmesini de tekrar gündeme getirmiştir. Binalarda kullanılacak sabit yakıt pillerinin gelişimi diğer yakıt pili uygulamalarına kıyasla yavaş ilerlemektedir. Hidrojen ekonomisi tartışmaları bu anlamda büyük ölçekli yakıt pili sistemleri için bir fırsat olarak görülebilir. Büyük ölçekli bir yakıt pili uygulaması herhangi bir binanın elektrik enerjisi ihtiyacını yüksek verimde karşılayabildiği gibi atık ısıdan yararlanılması yoluyla sıcak su üretiminde ve absorpsiyonlu soğutma grupları ile soğutmada da kullanılabilir. Dolayısıyla yakıt pili teknolojisi dizel veya gaz tahrikli kojenerasyon ve trijenerasyon teknolojilerine yüksek performanslı bir alternatif oluşturur. Klasik gaz tahrikli bileşik ısı güç üretimi sistemlerine kıyasla emisyon değerleri oldukça düşüktür. Yakıt olarak hidrojen kullanılması halinde sıfır emisyonla elektrik enerjisi üretilebilir. Yakıt pillerinin işletme durumunda gürültü seviyelerinin klasik sistemlere oranla oldukça düşük olması, verimlerinin Carnot verimi ile sınırlı olmaması, yüksek kısmi verim değerleri, modüler tasarım imkânı belirtilmesi gereken diğer avantajlardır. Bu çalışmada ilk kurulum ve işletme maliyetleri, enerji verimliliği, teknolojik kısıtlar gibi değişkenler dikkate alınarak Fosforik Asit Yakıt Pillerin (FAYP) mevcut bir alışveriş merkezinde uygulanabilirliği değerlendirilecektir

Anahtar Kelimeler: Yakıt pili, fosforik asit yakıt pili, trijenerasyon, absorpsiyonlu soğutma

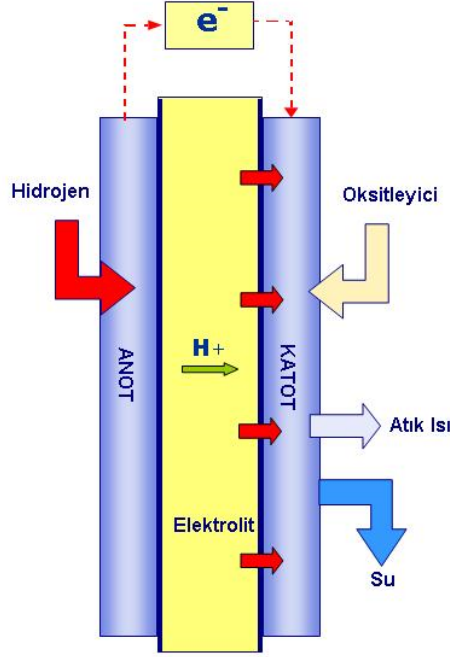
ABSTRACT

Discussions about the transition to hydrogen economy have reintroduced the use of fuel cell technology in buildings to the agenda. In comparison to other fuel cell applications, the development of stationary fuel cells for use in buildings is progressing slowly. In this sense, the discussion over the hydrogen economy can be viewed as an opportunity for large-scale fuel cell systems. A large-scale fuel cell application can meet any building's electrical energy needs with high efficiency, as well as produce hot water by utilizing waste heat and cooling with absorption chillers. As a result, fuel cell technology is a high-performance alternative to diesel and gas-powered cogeneration and trigeneration technologies. The emission values are quite low when compared to conventional gas-driven combined heat and power generation systems. Electricity can be generated with zero emissions if hydrogen is used as a fuel. Other benefits that should be mentioned are that fuel cells have low noise levels when compared to conventional systems, their efficiency is not limited to Carnot efficiency, they have high partial efficiency values, and they have modular design options. The feasibility of deploying Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC) in an existing shopping mall will be assessed in this study by considering factors such as initial installation and operating costs, energy efficiency, and technological constraints.

Key Words: Stationary Fuel Cell; Stationary fuel cell, phosphoric acid fuel cell, trigeneration, absorption cooling

1. GİRİŞ

Yakıt pilleri temel olarak kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal cihazlardır. Kimyasal reaksiyon bir elektrolitin varlığında gerçekleşir. Bir yakıt pilinin en temel bileşenleri anot, katot ve elektrolittir. Yakıt pilinde gaz fazındaki yakıt (hidrojen) anot tarafından, oksitleyici gaz (oksijen veya hava) ise katot tarafından beslenir. Bununla birlikte sonucunda elektrolit üzerinden iyon akışı olurken anottan katoda doğru ise elektron akışı olur ve ısı açığa çıkar.



Şekil 1 Yakıt pili temel çalışma prensibi [1].

2. YAKIT PİLİ TİPİ SEÇİMİ

Farklı uygulama özelliklerine sahip ısı geri kazanımı, bakım ve işletme kolaylığı, verim değerleri açısından çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip birçok farklı tipte yakıt pili tipi bulunmaktadır. Ticari ve teknolojik olgunluk seviyesi dikkate alındığında yapılarda veya bölgesel ısı ve elektrik üretimi için en uygun yakıt pili teknolojileri; yüksek çalışma sıcaklıkları nedeniyle Katı Oksit Yakıt Pilleri (KOYP), Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri (EKYP) ve Fosforik Asit Yakıt Pilleridir (FAYP). Bu yakıt pili tipleri kullandıkları elektrolitler farklı olmakla birlikte çalışma ilkeleri benzerdir.

Bir yakıt pilinin çalışması, iki elementin başka bir bileşik oluşturmak için bağlandığı kimyasal bir reaksiyon etrafında toplanır. Hidrojenin yakıt olarak kullanılması durumunda, bu genellikle oksidasyon yoluyla bir hidrojen molekülünden elektronların sıyrılmasını ve reaksiyona girerek su, elektrik ve ısı üretmek için onları bir oksijen molekülü ile birleşmesini içerir. Bu reaksiyon, yakıt pili tipine bağlı olarak farklılaşabilir, örneğin katı oksit yakıt pillerinde oksijen, oksijen iyonlarına indirgenir. Yakıt pili tipine bağlı olarak 150-1000 °C arasında değişen sıcaklıklara ulaşılabilir. Tablo 1'de binalarda kullanımı yaygın olan temel yakıt pili tipleri temel özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Tablo 1 Yakıt Pili Seçeneklerinin Karşılaştırılması [2] [3]

Yakıt Pili Tipi	Verim %	Çalışma Sıcaklığı °C	Avantajlar	Dezavantajlar
Fosforik Asit Yakıt Pilleri (FAYP)	40	150-200	<ul style="list-style-type: none">- Hidrojenin doğalgaz reformasyonu ile elde edilmesi durumunda yakıttaki safsızlıklara duyarlılığı daha azdır- Ticari olarak en olgun teknolojidir.- Kojenerasyona uygun	<ul style="list-style-type: none">- Pahalı platinum katalizöre sahip- Yakıt olarak doğal gaz kullanılması durumunda sülfüre karşı hassas.
Erimiş Karbonat Yakıt Pilleri (EKYP)	50	600-700	<ul style="list-style-type: none">- Platinum katalizör gerekmediği için maliyeti göreceli olarak düşüktür.- Yüksek verimli- Hidrojen dışı yakıt kullanımı esnekliğine sahip.- Kojenerasyona uygun.	<ul style="list-style-type: none">- Yüksek sıcaklık kaynaklı bileşenlerde korozyon.- İlk çalıştırma süreleri uzun.- Birim hacme karşılık güç yoğunluğu düşük.
Katı Oksitli Yakıt Pilleri (KOYP)	60	500-100	<ul style="list-style-type: none">- Yüksek verim- Yakıt esnekliğine sahip- Kojenerasyona uygun- Katı elektrot kullanıyor.	<ul style="list-style-type: none">- Yüksek sıcaklık kaynaklı bileşenlerde korozyon.- İlk çalıştırma süreleri uzun.- Dur kalk tipi çalışma seçeneği kısıtlı.

Pahalı platinum katalizör kullanılmasına rağmen farklı ölçeklerdeki çeşitli bina uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan yakıt pili tipi FAYP tipi yakıt pilleridir. FAYP tipi yakıt pilleri özellikle hidrojenin dolaylı olarak doğal gazdan elde edildiği bina uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu çalışmada da ticari uygulamalarının yaygın olması, çeşitli ölçeklerde projelerden toplanmış işletme verilerinin varlığı, doğalgaz ile çalışmaya uygunluğu gibi çeşitli avantajları dikkate alınarak FAYP tipi yakıt pilleri değerlendirilmiştir.

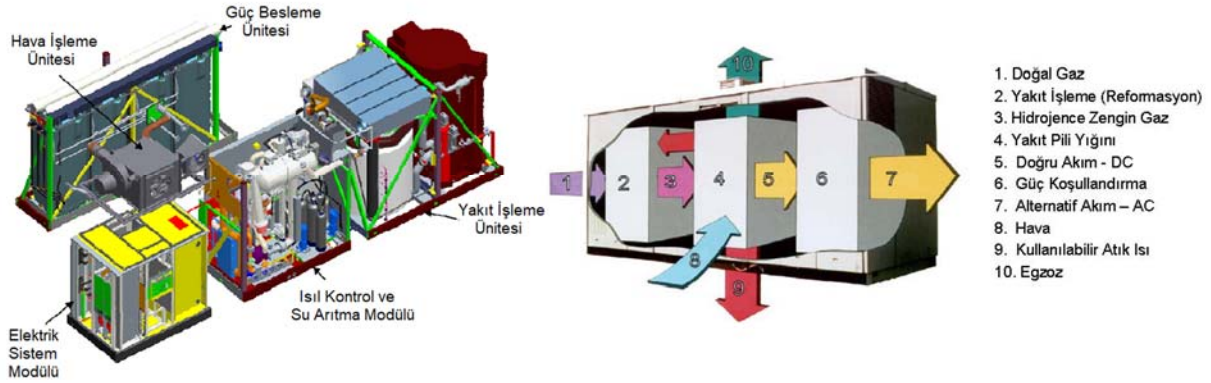
3. FOSFORİK ASİT YAKIT PİLLERİ

Erimiş karbonat yakıt pilleri ve katı oksitli yakıt pillerinin de ticari uygulamaları geliştirilmiş olmasına rağmen sadece fosforik asitli yakıt pilleri gerçek anlamda binalarda yaygın kullanım kazanmıştır. Bu bölümde FAYP tipi yakıt pillerinin teknik ve ekonomik faktörler dikkate alınarak genel değerlendirmesi yapılmıştır.

3.1 FAYP Tipi Yakıt Pili Kullanımında Teknik Faktörlerin Değerlendirilmesi

Yukarıda açıklanan temel yakıt pili reaksiyonu reaksiyon ürünleri yakıt pilinin tipine göre değişmekle birlikte tüm yakıt pilleri için hemen hemen aynıdır. Bina uygulamaları açısından temel problem bu reaksiyonun temel girdisi olarak kullanılan hidrojenin günümüz koşullarında genel bir servis sağlayıcıdan temininin kısıtlı veya hiç mümkün olmamasıdır. Binalar söz konusu olduğunda hidrojen genellikle, yaygın doğal gaz şebekesinden faydalanılarak doğal gazdan dönüştürmek yoluyla elde edilir. Şekil 2'de hidrojeni reformasyon yoluyla doğalgazdan elde eden ticari FAYP tipi bir yakıt pili uygulamasının bileşenleri verilmiştir. Bu bileşenler yakıt pili tiplerine göre değişiklik göstermekle birlikte tipik bir ticari yakıt pili; yakıt işleme ünitesi, sülfür ayırma ünitesi, güç koşullandırma ünitesi, ısı ve su yönetim sistemleri ile kontrol sisteminden oluşur.

Hidrojenin bir reformasyon ünitesi yoluyla doğal gazdan dönüştürülerek elde edilmesi, doğal gazın çok kolay ulaşılabilir bir yakıt olması nedeniyle en genel yöntemdir. Reformasyon üniteleri modüler olduğundan şebekeden hidrojen temininin mümkün olması durumunda cihazdan ayrılabilir. Doğal gaz en yaygın alternatif olmakla birlikte arıtma tesislerinde anaerobik çürütücüler tarafından üretilen metan gazının kullanımı gibi çeşitli uygulamalarda mevcuttur. FAYP tipi yakıt pilleri yakıt olarak direkt hidrojen yerine doğal gaz kullanılması durumunda bile, konvansiyonel teknolojilere göre daha verimli ve düşük emisyonla çalışan cihazlardır. Hidrojen dışındaki yakıtlarla çalışmanın yarattığı temel problem doğalgaza sonradan eklenen sülfür gibi yakıtın içerisindeki elektrokimyasal proseste istenmeyen diğer bileşenlerin ayrılmasıdır. Yakıt işleme veya reformasyon ünitesi aynı zamanda bu işlevi gerçekleştirir.



Şekil 2 FAYP Tipi yakıt pili uygulaması [4] [5]

FAYP tipi yakıt pilleri tüm diğer yakıt pilleri gibi doğru akım üretirler ancak bina uygulamaları söz konusu olduğunda alternatif akıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu neden tipik bir FAYP ünitesi doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi için bir inverter devresine sahip olmalıdır. Yakıt pili performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi kontrol sistemidir. Doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi, istenen voltaj ve frekansın tutturulması dolayısıyla üretilen elektriğin kalitesinin garanti edilmesi kontrol sisteminin performansı ile ilgilidir. Yakıt pillerinin sık devreye girip çıkması yakıt pili yığınının ömrünü azalttığından istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle yakıt pilleri yüksek performanslı bütünlük kontrol sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Yakıt pili ana bakım maliyeti 40000 saat kadar ömür öngörülen yakıt pili hücrelerinin yenilenmesi veya değiştirilmesi ihtiyacıdır.

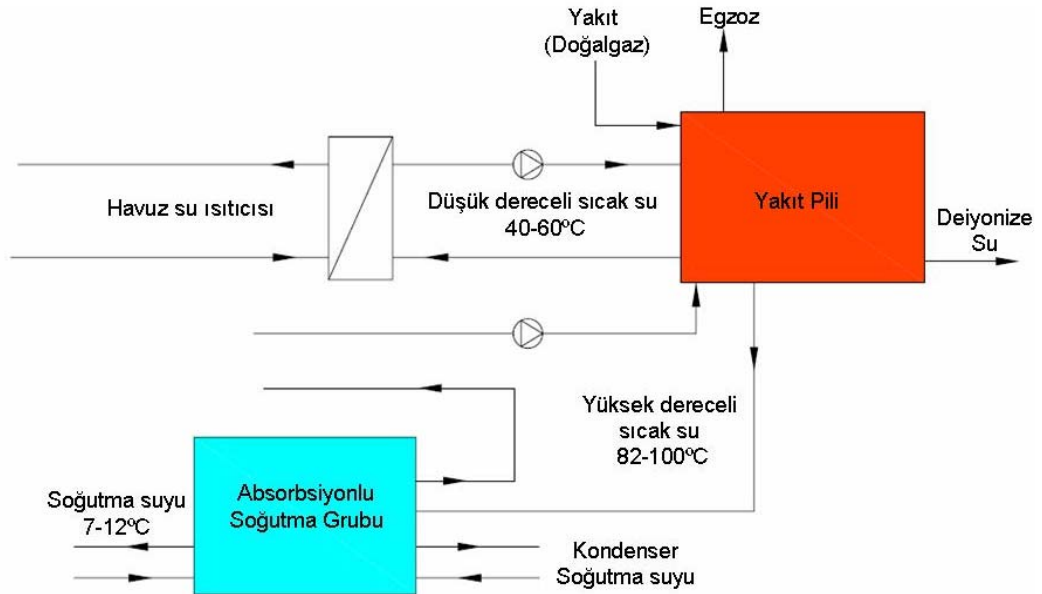


Şekil 3 400kWe Kapasitesine sahip FAYP tipi yakıt pili [6]

FAYP tipi yakıt pillerini bina uygulamaları açısından diğer yakıt pili tiplerinden ayıran en temel özellik ticari açıdan daha başarılı olmaları nedeniyle çeşitli bina tipleri ve saha koşullarında test edilmiş olmalarıdır. FAYP tipi yakıt pillerinin uygulandığı binalar arasında hastaneler, yurt binaları, askeri barakalar, kapalı yüzme havuzları, ofis binaları, endüstriyel laboratuvarlar sıralanabilir [7]. Günümüz itibarıyla bina uygulamaları için alt ısıl değere göre 42 ± 2 mertebesinde elektrik üretim verimiyle çalışan, 400kW kapasitesinde paket tip fosforik yakıt pili üniteleri temin edilebilmekte ve bu paket ünitelerin ölçeklenmesi ile daha yüksek kapasitelere çıkılabilmektedir. Bugüne kadar denenmiş en büyük fosforik asit yakıt pili uygulaması Tokyo Elektrik Tarafından. 1991 – 1997 yılları arasında 230.000 saat işletilmiş olan 11MW'lık yakıt pili güç santralidir [1].

FAYP tipi yakıt pillerinin işletilmesi ile ilgili temel detaylar aşağıdaki şekilde sıralanabilir. [8].

- Fosforik asit yakıt pillerinin işletme sıcaklıkları 150 – 200°C'dir.
- Soğutucu olarak hava veya su kullanılabilir.
- Fosforik asitli yakıt pillerinin CO₂ kontaminasyonuna duyarlılıkları azdır ancak karbonmonoksit'e karşı daha hassastırlar
- Hidrojen dışı yakıtların kullanılması durumunda kontaminasyon duyarlılıklarının az olması avantajlıdır. Bu özellikle yakıt reformasyonu maliyetinin düşmesini ve arıtma tesislerinden elde edilen yüksek kontaminasyon riski bulunan çeşitli gazlar ile çalışabilme imkânı sağlamaktadır. Arıtma tesislerinde açığa çıkan gazlar hacimsel olarak yaklaşık %65–70 metan (CH₄), %25 - 30 oranında karbondioksit (CO₂), az miktardan sülfür bileşenleri ile diğer gazlardan oluşur.
- Düşük ve yüksek sıcaklık derecesinde ısı geri kazanımı mümkündür. Bu sayede absorpsiyonlu soğutma veya direkt ısıtma amaçlı atık ısının kullanımı ya da trijenerasyon uygulamasının gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 4 Paket tip FAYP ünitesi ile tipik bir trijenerasyon uygulaması [8]

3.1 FAYP Tipi Kullanımında Ekonomik ve İşletme Faktörlerinin Değerlendirilmesi

Yakıt pili teknolojisi öngörülen üretim hacmi ve ticari kullanım seviyesine hala erişemediğinden pahalı bir teknolojidir. DOE (Amerikan Enerji Bakanlığı) ve Oak Ridge National Laboratory tarafında 100 – 400kWe kapasitesindeki yakıt pilleri için 2012 yılında yapılan 1500\$ /kWe [9] maliyet projeksiyonu hala gerçekleşmemiştir.[2] Bu çalışma öncesinde de hazırlanan çeşitli rapor ve maliyet projeksiyonu çalışmalarında da optimum bir kapasite maliyet kistası olarak bu rakam belirtilmesine rağmen arzu edilen ticari yaygınlığa ulaşamaması üretim maliyetlerinin düşmesini engellemektedir. 400kW'lık fosforik asit yakıt pilleri için ekipman maliyeti 4000-5000\$/kWe seviyelerindedir. İşçilik, montaj,

devreye alma, ısı geri kazanım ekipmanları dahil olmak üzere toplam ilk yatırım maliyetinin proje konumuna bağlı olarak 5000 – 7000 \$/kWe mertebelerinde olacağı tahmin edilmektedir [13] [14].

FAYP tipi yakıt pilleri gerçek saha koşullarında 40.000 saat üzerinde işletme ömrünü yakalamıştır. Mevcut fosforik asit pili uygulamalarında yaklaşık 5-7 sene olan yakıt hücresi ömrünün artması yakıt pili kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olacaktır. Katı oksit ve erimiş karbonat yakıt pili teknolojileri henüz deneme ve geliştirme safhasında veya yaygın ticarileşme öncesi evrelerinde bulduklarından maliyetleri bir miktar daha yüksektir. Fosforik asit yakıt pilleri için bakım maliyetleri ise 0.015 – 0.035\$/kWh mertebelerindedir [3] [13] [14].

Yakıt pili teknolojisi günümüz itibarıyla dünyanın hemen her yerinde pahalı bir teknolojidir. Binalarda yakıt pillerinin yüksek kapasite ısı ve güç kaynağı olarak kullanımı yaygın kullanım aşamasına geçemediğinden maliyetlerde öngörülen seviyelere inememiştir. Binalarda yakıt pillerinin kullanımı açısından yerel koşullar değerlendirildiğinde ülkemizin kendine özgü avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Yerel olarak geniş bir hidrojen şebeke altyapısı olmamasına rağmen hidrojenin yenilenebilir enerji kaynakları yardımıyla elektroliz yoluyla elde edilmesi ve bu tesislerin yakıt pilleri ile entegrasyonu değerlendirilebilir. Yakıt pillerinin binalarda kullanımı fikren olgunluğa erişmesine rağmen henüz genel kabul görmemiş, yapı sektörü için yeni bir teknolojidir. Bakım, montaj ve işletme gereksinimlerinin karşılanması uzmanlık gerektirir. Bu nedenle yukarıda öngörülen ilk yatırım, bakım ve işletme masraflarının Türkiye koşullarında öngörülerin üst bandından yer alacağı düşünülmelidir.

4. ALIŞVERİŞ MERKEZİ VAKA ANALİZİ

Bu çalışmada vaka analizi olarak 379.787m² kapalı alana sahip İstanbul'da mevcut bir alışveriş merkezi ele alınmıştır. Alışveriş merkezi kompleksi içinde bulunan ofis ve konut blokları dahil olmak üzere ortak ısı ve güç merkezinden beslenen yapı gruplarını barındırmaktadır. Ana ısı ve güç merkezinin detayları aşağıda verilmiştir.

3.1 Mevcut Sistemin ve Bina Enerji Talebinin İncelenmesi

Alışveriş merkezinin mevcut iklimlendirme sistemini besleyen soğutma grupları ve kazanlar tamamıyla konvansiyonel mantıkla düzenlenmiştir. Soğutma sistemi 2 adet santrifüj ve 1 adet vidalı soğutma grubundan; ısıtma sistemi ise 2 adet yüksek kapasiteli ve 1 adet düşük kapasiteli doğalgaz yakıclı çelik sıcak su kazanından oluşmaktadır. Hem soğutma hem de ısıtmada ana dağıtım pompa grupları; sabit debili primer ve değişken debili sekonder pompa grupları şeklinde düzenlenmiştir. Kazan ve soğutma gruplarının kapasiteleri Tablo 2 ve 3'te verilmiştir.

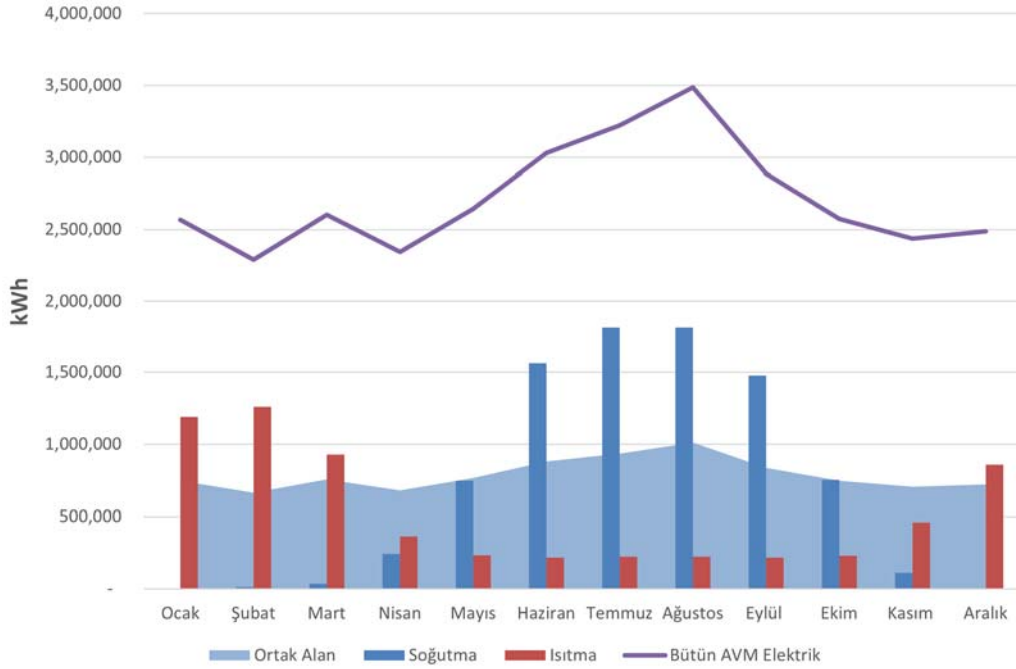
Tablo 2 Soğutma Grupları

Soğutma Grubu	Soğutma Kapasitesi	Kompresör Gücü	CoP	IPLV
	kW	kW		
Santrifüj Soğutma Grubu 01	3330	565	5,89	8,15
Santrifüj Soğutma Grubu 01	3330	565	5,89	8,15
Vidalı Soğutma Grubu 03	988	231	4,28	5,54

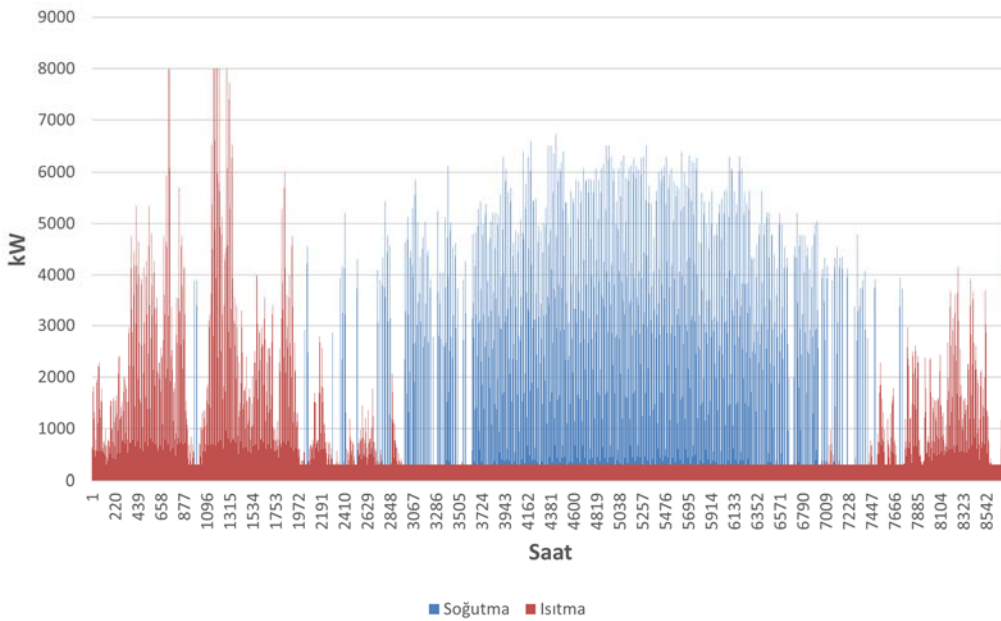
Tablo 3 Sıcak Su Kazanları

Sıcak Su Kazanı	Isıtma Kapasitesi	Brülör Kapasitesi	Verim
	kW	kW	%
Kazan 01	3500	513-5837	93,6
Kazan 02	3500	513-5837	93,6
Kazan 03	1000	90-1674	92,8

Ana ekipmanların seçimindeki temel mantığa bakıldığında eş kapasitede cihaz kullanımının tercih edilmediği görülmektedir. Kısmi yükleri karşılamak için soğutmada santrifüj soğutma gruplarından daha düşük kapasitede bir vidalı soğutma grubu, ısıtmada ise yaz kazanı olarak çalışacak 1000kW kapasitesinde bir kazan seçimi yapılmıştır. Alışveriş merkezine ait kiralanabilir alanlar, tüm kompleksin parçası olan konut ve ofis alanlarının elektrik enerjisi, ısıtma ve soğutma talebi tek merkezden sağlanmakta ve yönetilmektedir. Kiralanabilir alanlara ait enerji tüketimleri AVM yönetimi tarafından ölçülerek kiracılara paylaştırılmaktadır.



Şekil 5 Aylık enerji talep profili (Isıtma + Soğutma + Elektrik)

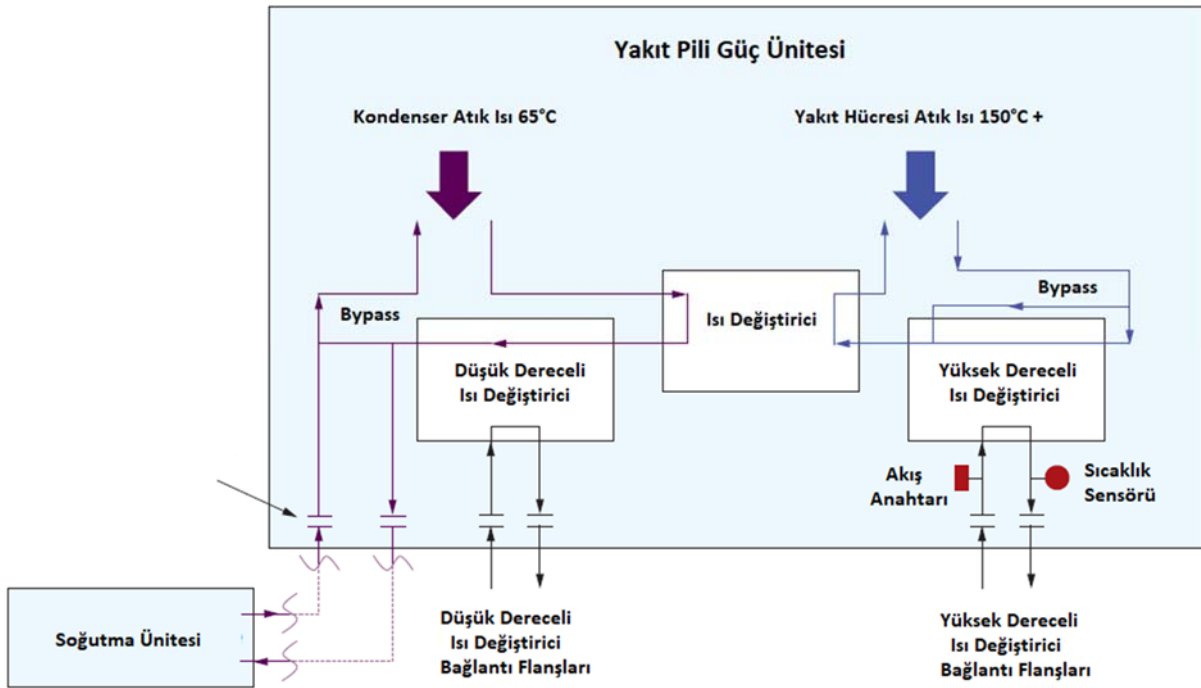


Şekil 6 Saatlik ve ısıtma soğutma talebi

Herhangi bir kojenerasyon sisteminden tam anlamıyla faydalanılabilmesi için sisteminin atık ısının kullanılabilmesi sürekli bir ısıtma veya soğutma talebi olması gerekmektedir. Bu çalışmada ele alınan FAYP tipi yakıt pilde doğalgazı reformasyon ünitesinden geçirerek hidrojen elde etmekte ekzotermik bir reaksiyon sonucunda elektrik enerjisi ve ısı açığa çıkmaktadır. Ele alınan AVM'nin ısıtma soğutma profili incelendiğinde bu atık ısının kullanılabilmesi sürekli bir ısıtma talebi olduğu görülmektedir. Bu sürekli talep AVM kompleksinin parçası olan konutların sıcak su ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Mevcut konvansiyonel çözümde bu talebi yaz sıcak su kazanı karşılamaktadır.

3.2 FAYP Tipi Yakıt Pilinin Konvansiyonel Sisteme Entegrasyonu

Bu çalışmada analizler 400kW elektrik üretme kapasitesine sahip FAYP tipi yakıt pilinin performans karakteristikleri temel alınarak yapılmıştır. FAYP tipi yakıt pili 400kW elektrik üretirken 1066kW (üst ısı değere göre) doğalgaz girdisine ihtiyaç duymaktadır. FAYP tipi yakıt pili iki farklı sıcaklık derecesinde ısı geri kazanım olanağı sunmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki atık ısı kaynağı 190kW kapasitesinde yaklaşık olarak 120°C sıcaklığından başlayarak ısı transferine olanak vermektedir. Düşük sıcaklıktaki ısı kaynağı ise 60°C sıcaklığından başlayarak 264kW kapasitesinde ısı transferine izin vermektedir. Yüksek sıcaklıktaki atık ısının direk kullanılmaması durumunda FAYP yakıt pili yüksek sıcaklıktaki tüm atık ısıyı dahili ısı değiştiricisi yardımıyla 60°C'de düşük sıcaklıkta atık ısıya çevirmektedir.



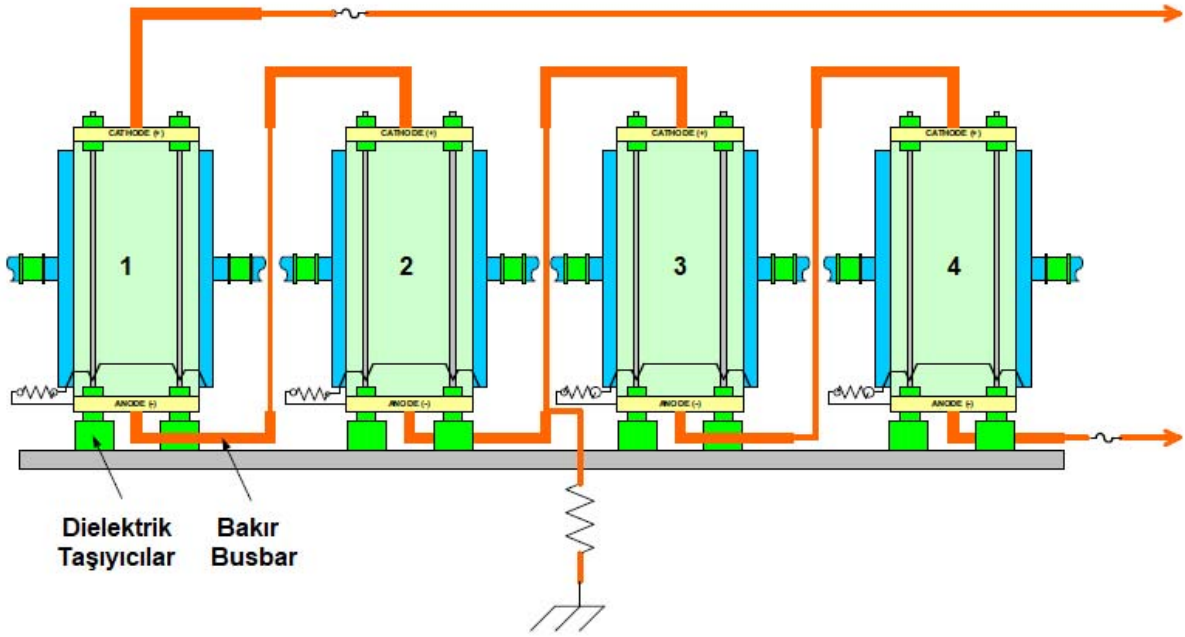
Şekil 7 Yakıt pili ısı geri kazanım seçenekleri [5]

FAYP yakıt pilinin mevcut sisteme entegrasyonu için iki farklı strateji öngörülmüştür. Yüksek sıcaklıktaki atık ısı kaynağı sıcak su tahrikli absorpsiyonlu soğutma grubunu çalıştırmak için yeterli sıcaklık derecesinde atık ısı sağlayabilmektedir. Dolayısıyla binada soğutma talebi olması durumunda bu atık ısı absorpsiyonlu soğutma grubuna yönlendirilecek, santrifuj soğutma gruplarının çalışma sıklığı azaltılacaktır. Düşük sıcaklıktaki atık ısı ise direkt olarak mahal ısıtmasında veya yaz sıcak su ısıtma talebinin karşılanmasında kullanılacaktır. Binada soğutma talebi olmaması durumunda ise tüm atık ısı yine mahal ısıtmasında veya sıcak su ısıtma talebinin karşılanmasında kullanılacaktır.

3.3 Yakıt pili sayısı ve sistem işletme maliyetinin belirlenmesi

Bu çalışmada ele alınan 400kW FAYP elektrik üretim kapasitesindeki yakıt pili dahil olarak seri bağlanmış 100kW kapasitesinde hücreden oluşmaktadır. Bu paket ünitelerde gerektiğinde seri bağlanarak toplam kapasite artırılabilir. Yakıt pilinden sağlanan atık ısıdan tam olarak

faaylanabilmek için tesisin baz ısıtma, soğutma ve elektrik yükleri dikkate alınarak 1 – 4 adet arasında değişen sayılarda FAYP tipi yakıt pili kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır.



Şekil 8 400 kW FAYP Yakıt pili hücre yapısı [5]

Dört adet yakıt pili kullanılması durumunda bazı pik yük talepleri hariç olmak üzere tesisin hemen hemen tüm elektrik ihtiyacı karşılanabilmektedir. Fakat kurulu kapasite başına 7000 USD/kW (ekipman, kurulum, işçilik dahil olmak üzere) seviyesindeki ilk yatırım maliyeti bu konfigürasyonda seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyetini ciddi olarak arttırmaktadır. Bina baz elektrik yükünü karşılayacak şekilde tek FAYP ünitesi kullanılması durumunda yakıt pilinin tüm atık ısısından ısıtma ve soğutmada faydalanılabilmektedir. Bu durumda basit geri dönüş süresi 3,3 yıl çıkmaktadır.

Tablo 4 FAYP Yakıt pili seviyelendirilmiş elektrik maliyeti ve geri dönüş süresi

No	FAYP Yakıt Pili Sayısı	Yıllık Elektrik Talebi	Yakıt Pili Tarafından Üretilen Elektrik	Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti	Geri Dönüş Süresi
		(kWh)	(kWh)	USD/(kWh)	Yıl
01	1 Adet	9,443,806	3,425,159	0,05	3,3
02	2 Adet	9,443,806	5,699,593	0,17	4,3
03	3 Adet	9,443,806	7,559,950	0,30	5,1
04	4 Adet	9,443,806	8,971,118	0,44	5,8

Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti hesapları 10 yıllık periyot için yapılmıştır. FAYP yakıt pillerinin 40000 çalışma saati sonunda yakıt hücrelerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti hesabı yapılırken beşinci yılın sorunda ilk yatırımın maliyetinin %25'i ya da yaklaşık 1750 USD/kW kadar bir maliyetle FAYP ünitesinin bakıma gireceği ve hücrelerinin değiştirileceği öngörülmüştür. İşletme maliyeti ise 0,035 USD/kWh kabul edilmiştir. İlk yatırım maliyeti en düşük olan ilk seçenekte seviyelendirilmiş elektrik maliyeti güncel şebeke elektrik fiyatının yaklaşık %20'si kadardır. Bu olumlu görüntü 3 ve 4 numaralı seçeneklerde ortadan kalkmaktadır. Her iki simülasyon alternatifi de AVM'nin elektrik satın aldığı güncel şebeke elektrik fiyatı olan 0,25 USD/kWh mertebesinde kalmaktadır.

Yukarıdaki senaryolar karbon salımı açısından değerlendirildiğinde tek yakıt pili ile yapılan simülasyon sonucunda karbon salımında %21,1 azalma sağlanabilmektedir. Ancak sisteme ilave edilen yeni yakıt

pilleri ile yapılan senaryolarda karbon salımındaki azalma kısıtlı kalmıştır. Bunun sebebi ilave edilen yakıt pillerinin atık ısılarından tam olarak faydalanılamamasıdır.

Tablo 5 FAYP Yakıt pili senaryoları karbon salımı

No	FAYP Yakıt Pili Sayısı	Konvansiyonel Sistem Karbon Salımı	Yakıt Pili Senaryosu Karbon Salımı	Karbon Salımında Azalma
		kgCO ₂	kgCO ₂	%
01	1 Adet	7,519,154.4	5,934,937.2	21,1
02	2 Adet	7,519,154.4	5,557,590.7	26,7
03	3 Adet	7,519,154.4	5,296,929.2	29,6
04	4 Adet	7,519,154.4	5,133,382.5	31,7

4. SONUÇ

Analiz sonuçlarının genel değerlendirilmesi yapıldığında geçtiğimiz 10 yılda yakıt pilleri için yapılan projeksiyonlarının gerçekleşmediği, sistem maliyetlerinin hala oldukça yüksek olduğu görülmektedir. [11] [12] [13] Buna rağmen özellikle güncel elektrik fiyatlarının geldiği nokta itibarıyla yakıt pilleri bir yerinde üretim çözümü olarak yüksek elektrik üretim verimleri nedeniyle ekonomik performans açısından daha anlamlı bir noktaya gelmiştir. Özellikle 1 ve 2 numaralı seçenekler gibi bina ısı ve elektrik talebine uygun boyutlandırılmış bir yakıt pili çözümünün anlamlı bir tablo ortaya çıkarabileceği, karbon salımını ciddi olarak azaltabileceği görülmektedir.

Buna olumlu tabloya rağmen yakıt pili teknolojisinin işletme açısından uzmanlık gerektiren bir teknoloji olduğu unutulmamalıdır. Sistemin nasıl işletileceğine, kurulum detaylarına ve ısı geri kazanım karakteristiklerine göre yukarıda öngörülen maliyetlerinden sapmalar olabileceği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle simülasyonlarda öngörülen maliyet figürlerinin en üst bandı dikkate alınmıştır. Bu çalışmada sistemin emre amadelik seviyesinin %95 altında olmadığı kabul edilmiştir. Uzun süreli arızaların ve bakım ihtiyaçlarının ortaya çıkması durumunda yukarıdaki tablonun değişebileceği dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] BAŞYAZICI, U., "Ticari binalarda Yakıt Pili Kullanımının Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Değerlendirilmesi", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir. Bildiriler Kitabı, 2010, 173-191
- [2] DODDS, P.E., STAFFELL I., HAWKES, A. D., Li, F., GRÜNEWALD, P., MCDOWALL, W., EKINS, P., "Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review", International Journal of Hydrogen Energy Volume 40, Issue 5, 9 February 2015, Pages 2065-2083
- [3] Comparison of Fuel Cell Technologies, US Department of Energy Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office Fact Sheet, 2016
- [4] Fuel Cell Handbook 7th Edition, U.S. Department of Energy, November 2004
- [5] UTC Purcell Model 400 Power Product Data Application Guide, June 2012
- [6] LARMINE, J., DICKS, A. "Fuel Cell Explained, 3rd Edition", John Wiley & Sons. Inc., 2018
- [7] HOLCOMB, F.H, BINDER M.J, TAYLOR W.R, TORREY J.M, WESTERMAN J.F, "Phosphoric Acid Fuel Cells" ERDC/CERL TR-00-33, US Army Corps of Engineers, December 2000
- [8] GALLIERS, S., "Fuel Cell Technology", BSRIA, 2003
- [9] WARREN, J., DAS S., ZHANG A., Manufacturing Process Modeling of 100-400 kWe Combined Heat and Power Stationary Fuel Cell Systems, ORNL/TM-2012/230 Oak Ridge National Laboratory, July 2012
- [10] US Department of Energy, Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program: Multi-year Research, Development and Demonstration Plan. 2017: Washington DC, USA



- [11] DARWİSH M, A., “Building air conditioning system using fuel cell: Case study for Kuwait”, Applied Thermal Engineering Volume 27, Issues 17–18, December 2007, Pages 2869-2876
- [12] SPENDELOW, J., NGUYEN,T., HOUCHİNS,C., MARTİN K,E., PAPAGEORGOPOULOS D., “Medium-scale CHP Fuel Cell System Targets,”, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record, March 2012
- [13] Stationary Fuel Cell Cost Trends, An assessment produced by the National Fuel Cell Research Center, May 2018
- [14] Catalog of CHP Technologies, U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, September 2017
- [15] James, B, D., DeSantis, D, A., “Manufacturing Cost and Installed Price Analysis of Stationary Fuel Cell Systems”, Strategic Analysis Inc, Rev 3 August 2016

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Utku BAŞYAZICI

Utku Başyazıcı, 2004 Yılında Yıldız Teknik Üniversitesi makine mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Mezuniyet sonrası çeşitli yerli ve yabancı firmaların Londra ve İstanbul ofislerinde HVAC tasarım mühendisi ve yönetici olarak çalışmıştır. İngiltere, Türkiye ve Türkmenistan’da uçak bakım hangarları, spor yapıları, veri merkezleri ve yüksek binalar, metro sistemleri gibi farklı özelliklerde pek çok projede çalışma şansı yakalamıştır. Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği konusundaki çalışmalarına paralel olarak 2012 yılında BREEAM uluslararası denetçisi sertifikasını almaya hak kazanmıştır. 2015 yılında çok disiplinli bir tasarım stüdyosu olarak Doxa87 firmasını kurmuştur. Ulusal ve uluslararası kongrelerde yayınlanmış makaleleri ve TTMD tarafından basılmış “Jet Fanlı Otopark Havalandırma Sistemi HAD Analizi Kılavuzu” isimli bir kitabı bulunmaktadır.

Özden AĞRA

Prof. Dr. Özden AĞRA Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde çeşitli temel makine mühendisliği dersleri vermekte, lisans-lisansüstü öğrencilerin tez çalışmalarına danışmanlık yapmakta ve çeşitli endüstriyel Ar-Ge projelerinde sanayi kuruluşları ile birlikte çalışmaktadır. 2007 yılında Doktora derecesini Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden almış ve o zamandan beri çeşitli kademelerde görev yapmaktadır. Uzmanlık alanları termodinamik, ısı eşanjörleri, iki fazlı akış ve HVAC’dir.

YÜKSEK BİNALARDA ENERJİ GERİ KAZANIMI İÇİN AHRI PERFORMANS SERTİFİKALI CONTALI PLAKALI EŞANJÖR KULLANIMI

AHRI Performance Certified Gasketed Plate Heat Exchangers in High-rise Buildings for Heat Recovery

İsmail Uzman
Can Kırac Yurdakul

ÖZET

Yüksek yapılar yüksekliklerinden dolayı yüzeyde yüksek statik basınç taşırlar.

300 mt yüksekliğinde bir binanın zemin seviyesinde en az 30 bar basınç var anlamına gelir.

HVAC Kritik Ekipmanlara örneğin; Chiller, Boyler ve ilişkili otomasyon ekipmanlara gereksiz yüksek maliyetler getirir. Eğer ekipmanlar zemin katta bulunuyorsa yüksek basınca dayanabilmeleri gerekir.

Contalı plakalı ısı değiştiriciler statik basıncı kırmak için kullanılan standart endüstriyel uygulamadır. Bu eşanjörler yapının yüksekliği ile birlikte düzenli aralıklarla odalarda bulunurlar. Yüksek uzunluk daha fazla basınç kırıcı bölgelerin olacağı anlamına gelir ve chiller gibi ekipmanlar için güvenlik sağlar.

Birçok tasarımcı fancoil cihazında ve su sıcaklıklarına bağlı olarak giriş ve çıkışlar arasında 2°C veya 1,5°C ya da 1°C bir yaklaşım oluşturur. Plakalı Eşanjör seçimi için her bir taraf için eşit akış oranı ve eşit sıcaklık farkı ile bu yaklaşım sıcaklığı logaritmik sıcaklık farkına (LMTD) eşittir. Dünyada ve ülkemizde bina yükseklikleri git gide artıyor. Uzun binalar için enerji tasarrufu ve maliyete dikkat ederek eğilim 0.6°C yaklaşım sıcaklığına kadar düşmüştür. AHRI performans sertifikası olmayan eşanjörlerde bu sıcaklık değerlerinin kesinliği mümkün değildir ve işletme şartlarında dizayn değerlerine göre tutarlılığın olmaması Chiller kompresöründe elektrik sarfiyatına doğrudan etkide bulunur, ön görülmeyen enerji sarfiyatları ortaya çıkar. AHRI performans sertifikası bu ön görülmeyen işletme giderlerinin önüne geçer.

Anahtar Kelimeler: Enerji geri kazanımı, performans doğruluğu, verim, Chiller kompresör elektrik sarfiyatı

ABSTRACT

High-rise buildings carry high levels of static pressure due to their height. A building with 300 meters height means static pressure at the ground level of at least 30 bar. This demands unnecessary high investment costs to HVAC critical equipment such as chillers, boilers, and their associated automation equipment if located at the basement, as they need to withstand this high pressure.

Gasketed plate heat exchangers (GPHE) are standard industry practice for breaking this static pressure, located in plant rooms at regular intervals along with the height of the structure. Taller height means a greater number of zones as pressure breakers and security for associated equipment such as chillers. Many designers specify an approach between the inlets and outlets at 2.0°C or 1.5°C or even 1.0°C depending on the water temperatures required at the fan coils and the total system design. With equal flow rates and equal delta T for each side, this approach temperature equates to the LMTD for the selection of the GPHE. Buildings are getting taller and taller and with energy savings in mind

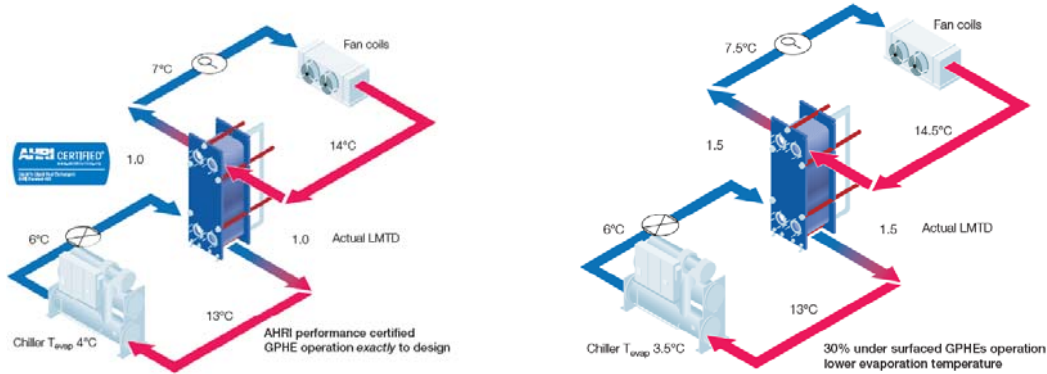
and total cost of ownership, for taller buildings, the trend is down to as low as 0.6°C approach temperature. Without AHRI performance certified GPHE it is not possible to accurate between design and operation thermal values. And that uncertainty situation in HVAC system cause extra unforeseen electricy cost through Chiller's compressor thermal changes. AHRI performance certified GPHE design is the only way to prevent these unforeseen electricy cost

Key Words: Energy recovery, performance accuracy, efficiency, chiller compressor electricy consumption

1. GİRİŞ

Soğutma noktalarında bulunan fancoiller, soğutma için soğuk suya ve ısıtma için sıcak suya ihtiyaç duyar.

Basınç kırıcı olarak çalışan soğutma için bir GPHE olması durumunda, 6 ° C → 13 ° C'de soğutulmuş su ile soğutulan fan coil tarafında sıcaklık programı 14 ° C → 7 ° C olabilir. Bu, 1 ° C'lik bir yaklaşma sıcaklığı anlamına gelir. AHRI sertifikalı olmayan ısı değıştirici basınç kırıcı olarak seçilirse toleranslarıyla sadece 1,5°C yaklaşım sıcaklığına ulaşabilir. 7,5°C → 14,5°C sağlar. Ayarlanan 7 ° C'yi karşılamak için, soğutucunun daha düşük bir sıcaklık rejiminde ve dolayısıyla daha düşük bir buharlaşma sıcaklığında çalışması gerekecek ve bu da daha yüksek bir kompresör elektrik tüketimine neden olacaktır.



0.5°C düşük chiller buharlaşma sıcaklığı gazın daha düşük doyma sıcaklığı anlamına gelir.

1°C düşük buharlaşma sıcaklığı sonucu, chiller enerji tüketimi %3,5 artar.

Sürdürülebilirlik için çözümler

4000 kW Kapasiteli AHRI Performans Sertifikalı Isı Değıştirici ile Performans Hesaplamaları

Pompa maliyetlerini en aza indirmek için HVAC sistemlerinin tipik operasyonu sabit sıcaklık ve değışken akış oranıdır. Düşük performanslı ısı değıştirici ile 7°C lik ayar karşılanmaz ve daha fazla soğutulmuş su akışına izin vermek için akış kontrol valfini çalıştırır. Buna karşılık sistem tasarım olarak chillere dönüşü 13°C izin vermez ve 12°C düşer. Böylece plakalı ısı değıştirici tasarlanan 1°C sıcaklık yerine 1.5°C LMTD ile çalışır ve chiller buharlaşma sıcaklığı T_{evap} 4°C den 3,5°C ye düşer.

Chiller kompresöründe her 1°C düşüşte %3,5 daha fazla enerji tüketimi gerçekleşir.

4000 kW soğutma kapasitesi için chiller güç tüketimi 1259 kW olacaktır. 3,2 COP değeriyle ve 0.5°C düşük buharlaşma sıcaklığı ile ekstra kompresör tüketimi 63 kW olacaktır.



Cost of energy kWh		0.10 euro				
Capacity	Flow rate	Duration in one year		Chiller compressor extra energy		Additional annual cost
4,000 kW	491 m ³ /hr	10%	876 hrs	63 kW	55,188 kW	5,519 EUR
3,000 kW	369 m ³ /hr	20%	1,752 hrs	47 kW	82,782 kW	8,278 EUR
2,000 kW	246 m ³ /hr	60%	5,256 hrs	32 kW	165,564 kW	16,556 EUR
1,000 kW	123 m ³ /hr	100%	876 hrs	16 kW	13,797 kW	1,380 EUR
		100%	8,760 hrs	36 kW	317,331 kW	31,733 EUR

Annual average

HVAC soğutma uygulamalarında sistemin çalışması her zaman en yüksek tasarım kapasitesinde ve akış koşullarında değildir. Bu nedenle pompa ve chillerin ekstra enerji tüketimi yıl boyunca değişiklik gösterecektir.

Yukarıdaki tablo yıllık mevsimsel kapasite talebini göstermektedir. Düşük performanslı ısı değiştirici koyulursa 4000 kW soğutma kapasitesi için 31.733 €/yıl ekstra enerji tüketimi olur.

Sonuç olarak, chiller kompresör elektrik tüketiminden tasarruf etmek için chillerin tasarım parametrelerinde doğru çalışmasını sağlamak için AHRI performans sertifikasını belirtmek bizim sosyal sorumluluğumuzdur!

Pazar eğilimleri ve neden büyük ölçüde farklı çözümler sunuluyor?

Birçok mühendis bir plakalı ısı değiştiricinin boyutunu belirleyen şeyin kW kapasitesi olduğuna inanır, ancak bir birimin seçiminde en yüksek rolü oynayan yaklaşım sıcaklığı ve izin verilen maksimum basınç düşüşüdür. Evet, 500 kW'lık bir ünite, LMTD değerine bağlı olarak 1.000 kW'lık bir ünitenin iki katı büyüklüğünde olabilir.

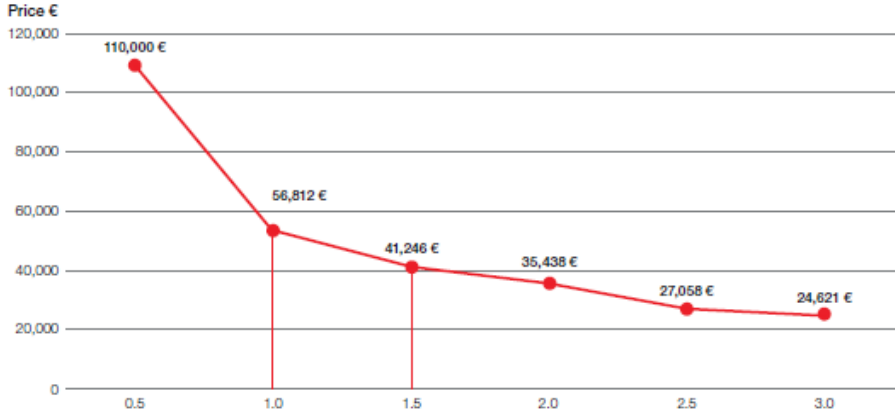
Her iki tarafın gerçek sıcaklık ve basınç düşüşünü ölçmek söz konusu olduğunda, dijital ekipman ve tam akışta en iyi ihtimalle 0,5 ° C ve 10 kPa'dır. Plakalı Isı Değiştiricilerden daha yüksek talepler ve beklenen 1 ° C LMTD (yaklaşma sıcaklığı) ile, 0,3 ° C toleransın etkisi % 30 daha düşük performans gösteren plakalı ısı değiştiricilere eşittir.

Isı Transfer Denklemi : $Q=k.A.LMTD$
LMTD Tolerans: $\frac{0.3^{\circ}C}{0.3^{\circ}C}$ $\frac{0.3^{\circ}C}{0.3^{\circ}C}$ $\frac{0.3^{\circ}C}{0.3^{\circ}C}$
Belirtilen LMTD: 2°C 1°C 0.6°C

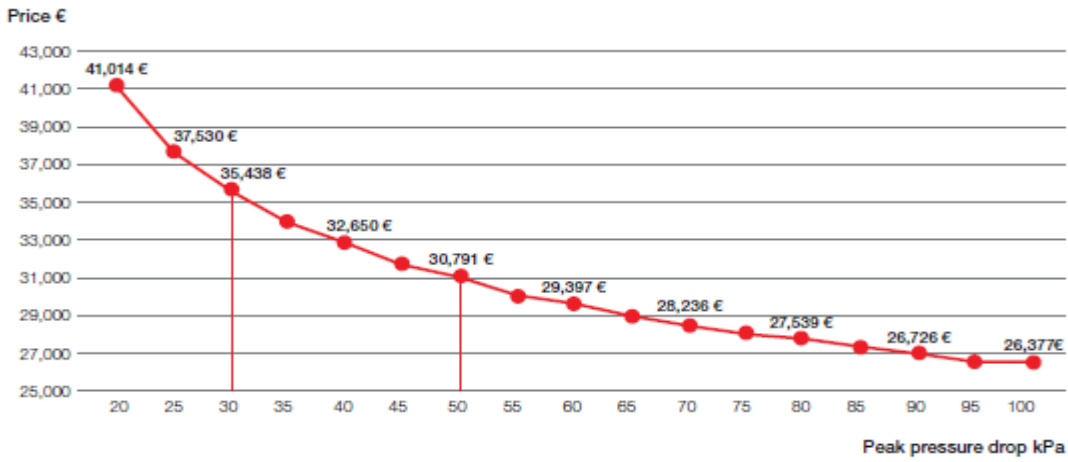
Daha Az Alan ve Düşük performans %15 %30 %50

2. AHRI PERFORMANS SERTİFİKASI OLMAYAN VE TÖLERANSLI EŞANJÖR SEÇİMİNDE LMTD VE BASINÇ DÜŞÜMÜNÜN ETKİSİ

Seçim belirtilen 1°C yerine 1,5°C LMTD ile yapılmışsa ne olur?



Seçim belirtilen 30 kPa yerine 50 kPa basınç düşüşü ile yapılmışsa ne olur?



SONUÇ

Bina soğutma uygulamalarında düşük performanslı ısı değiştirici ile 7°C lik ayar karşılanmaz ve daha fazla soğutulmuş su akışına izin vermek için akış kontrol valfini çalıştırır. Buna karşılık sistem tasarım olarak chillere dönüşü 13°C izin vermez ve 12°C düşer. Böylece plakalı ısı değiştirici tasarlanan 1°C sıcaklık yerine 1.5°C LMTD ile çalışır ve chiller buharlaşma sıcaklığı Tevap 4°Cden 3,5°C ye düşer.

Chiller kompresöründe her 1°C düşüşte %3,5 daha fazla enerji tüketimi gerçekleşir.

4000 kW soğutma kapasitesi için chiller güç tüketimi 1259 kW olacaktır. 3,2 COP değeriyle ve 0.5°C düşük buharlaşma sıcaklığı ile ekstra kompresör tüketimi 63 kW olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Alfa Laval Isı Transfer Teorisi, www.alfalaval.com.tr
- [2] Alfa Laval Solutions for Sustainability (Sürdürülebilirlik için Çözümler), 2020
- [3] Alfa Laval - Consultant Tools BIM
- [4] <https://www.alfalaval.com/industries/hvac/heating-and-cooling-hub/>



ÖZGEÇMİŞ

İsmail Uzman

1965 yılı Ankara doğumludur. 1970 yılında ailesi ile Avustralya'ya göç etmiştir. 1987 yılında Melbourne Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1988-1989 yılları arasında ICI Initiating Explosives'de proje mühendisi olarak çalışmıştır. 1989 yılında satış destek pozisyonu olarak başladığı Alfa Laval Avustralya firmasında, daha sonra demirçelik, şeker, gıda sektörlerine hitaben satış müdürü görevinde bulunmuştur. 1996 yılında Alfa Laval Türkiye ofisine transfer olmuş ve *distibütörleşmeden* sorumlu bölüm müdürü olarak görev yapmıştır. Isıtma Soğutma ve Gıda bölümleri yapılaşması ve pazar açılımlarıyla, İsveç merkez'e transfer olmuştur. Bugün *Contalı-Plakalı Eşanjörler Global Distribütörleşme Müdürü* olarak Doğu ülkeler den sorumludur. "*Sürdürülebilirlik ve Enerji Tasarrufu*" konusunda çeşitli ülkelerde seminerler çalıştaylar yürütmektedir.

Can Kırac Yurdakul

1987 İstanbul doğumludur. Pertevniyal Lisesi sonrası Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. İş kariyerine 2010'da DAF Enerji ile başlayıp sonrasında Danfoss, Honeywell gibi HVAC tesisatının önemli üreticilerinde çalışmıştır. Bu esnada Altınbaş Üniversitesi'nde İşletme Yönetimi yüksek lisansı bitirmiştir. 2017'de çalışmaya başladığı Alfa Laval firmasında 2021 itibariyle kariyerini sürdürmektedir.

AKILLI KONTROL VANALARININ MEKANİK TESİSATTA KULLANIMININ TESİSAT VE KONTROL SİSTEMİ TASARIM ve UYGULAMALARINA ETKİLERİ

The Effects Of The Use Of Smart Control Valves In Mechanical Installation On The Design And Application Of Installation And Control System

Erdem Can Pamuklu
Artuğ Fenercioğlu
Büşra Yılmaz

ÖZET

Tesisat armatürleri imalatında zaman içindeki gelişmeleri incelediğimizde, üretilen her yeni ürünün birden fazla görevi üstlenmeye başladığını ve birçok fonksiyonu yerine getirdiğini görmekteyiz. Yakın geçmişte baktığımızda, devreleri hidrolik olarak dengelemek için balans vanaları, tesisatta komşusu olan kontrol vana gövdeleri ve hat kesme vanalarının görevini üstlenmiştir. Hatta, dinamik balanslama kontrol vanası, kontrol hassasiyetini bir adım daha yukarı çıkarmıştır. Tesisata yerleşen bu vanalar kelime dağarcığında "kombine" kelimesi ile anılır olmuştur. Tüm üretim teknolojilerinde dijitalleşme etkisi bu ürünleri de etkilemiştir. Artık içinden geçirdiği akışkanın miktarını sınırlayan, değiştiren, kombine vanalar, anlık debiyi yüksek doğrulukta bilip, hatta ısı aktarıcı öncesi ve sonrasına eklenecek iki sıcaklık hissedicisi motora bağlamak sureti ile akan enerjiyi hesaplamaktadır. Muhtemelen başka bir amaçla üzerine eklenen haberleşme fonksiyonu ile üzerinden akan enerjiyi dışarıya bildirebilmektedir.

Bir hastane uygulamasında, fan coil ünitelerinde bu yeni nesil vanaların kullanılmak istenmesi ile karşılaşılan bu akıllı motorların teknik özellikleri ve yetenekleri kontrol sistemi tasarımı, uygulanması ve mekanik tesisat tasarımı etkisi detaylı analiz edilmiştir. Analiz sonucunda tesisat sektöründe dijitalleşmenin gelecekteki izlerine rastlanmıştır.

On off kontrol edilen vana gövdesinden, oransala; oransaldan debi kontrollü akıllı vanaya kadar kontrollü vanaların gelişimi tesisat üzerindeki etkileri ile birlikte anlatılacaktır. Bu motorların kontrol sisteminde kullanılmasıyla elde edilen tesisat güncel verileri, sistem toplam aklının artmasının, sistem toplam kazancının ve faydanın arttırmasının nasıl olduğu bu bildiri ile anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı kontrol vanası, dijital aktüatör, akıllı sensor, vana motoru, kombine vana

ABSTRACT

When we examine the developments in the manufacture of installation fittings, we see that every new product produced started to assume more than one task and performs many functions. In recent years, balancing valves which have been used to balance the circuits hydraulically, have taken over the tasks of their neighbors such as control valve bodies and line shut-off valves. In fact, the dynamic balancing control valve has increased the control accuracy a step further. These valves, which are located in the facilities, have been referred to in the sectoral glossary by the word "combined". The digitalization effect on all production technologies has also affected these products. The combined valves, which limit and/or change the amount of fluid flowing through it, now calculate the flowing energy, which they know at high accuracy, by connecting two temperature sensors which are installed inlet and outlet of the heat exchangers to the valve actuator. Evenmore, they can forward the data of

the flowing energy over them to the up and/or side systems via the included communication function whic by the way may at the beginning have been integrated for different purposes.

These valve actuators; which are faced with the use of these new generation valves in fan coil units at the application in a hospital project; have been analyzed in detail such as the effect of the control system design according to technical specifications and capabilities, and implementation, and mechanical installation design. Future traces of digitalization in the installation sector encountered as a result of this analysis.

The development and evolution of the control valves, from on-off controlled valves to proportionally controlled ones; and from proportionally controlled to flowrate controlling smart valves, shall be explained together with the effects on the installation. With this paper, it will be explained how the current data obtained by using these actuators in the control system, how to increase of the system total mind, and the system total profit and the benefit.

Keywords: Smart control valve, digital actuator, smart sensor, valve actuator, combined valve

GİRİŞ

1.1. Mekanik tesisat açısından akıllı vana motorunun değerlendirilmesi:

HVAC tesisatlarında motorlu vanalar, akışkan ve ortam sıcaklığı şartlandırmasında en önemli ekipmanların başında gelmektedir. Bunlar fark basınç ve debi kontrol fonksiyonlarının kontrolü ile sıcaklık konfor şartını en uygun şartlarda tutmaya çalışırlar.

Motorlu Kontrol Vanaları kontrol prensiplerine göre üç gruba ayrılır:

- Aç-Kapa Kontrol (2 nokta kontrol)
- Yüzer Kontrol (3 nokta kontrol)
- Oransal Kontrol

Tesisatta çoğunlukla kullanılan logaritmik karakteristikli motorlu vanaların ana amacı logaritmik karaktere sahip ısı terminal ünitelerin ısı transfer kontrolünü lineer olarak kontrol altına alınmasını amaçlamaktır.¹ [Şekil-1]



Şekil-1

Vana aktuatörlerinin görevi, kontrolörden aldığı sinyal ile sorunsuz bir şekilde vana strok açıklığını istenen aralığa getirmektir. Aktuatörler kontrol tiplerine göre üçe ayrılmaktadır:

- **On-Off Kontrol**

Aç Kapa motorlu vanaları stroğunda iki nokta arasında reglaj yapmaksızın akışkan tamamen akışını sağlamak ya da durdurmak için kullanılır. Açık ya da kapalı tesisatta sistemi kapatmak ve ayırmak için kullanılmaktadır.

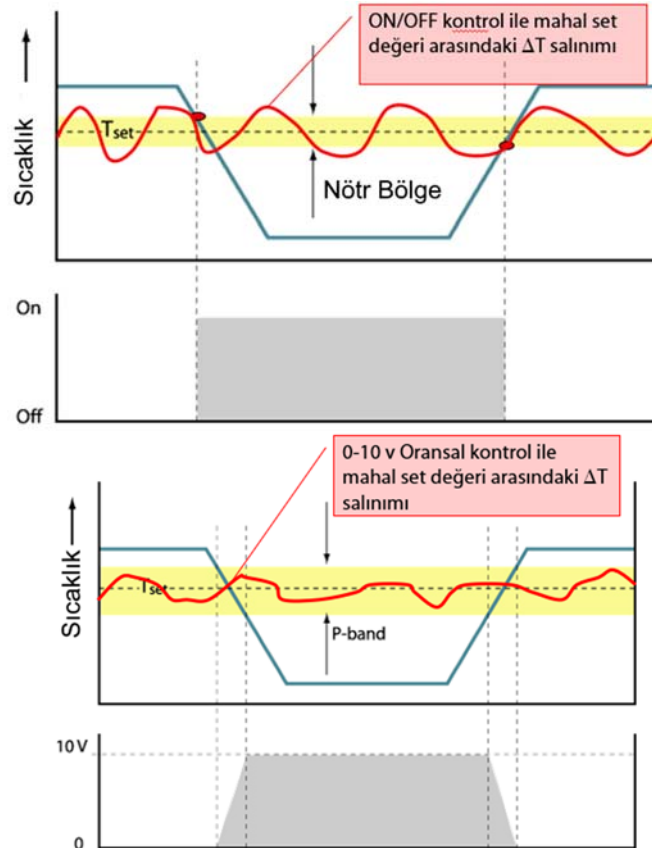
- **3 Nokta Kontrol**

Vana strok aralığının tamamı için sistemden gelen aç, kapa ya da dur sinyalleri ile istenen pozisyonu vana milinin kontrolü ile sağlamaktadır. Daha az hassas reglaj talebinde bulunan tesisatlarda kullanılmaktadır. Örnek olarak kazan tesisatları verilebilir.

- **Oransal Kontrol**

Hassas kapalı devre tesisatlarda kullanılan en yaygın uygulamadır. Kontrol sinyali elektronik gruptan 0(4)...20 mA veya 0(2) ... 10 V olarak iletilmektedir. Vana aktuatörü çok kısa süreli aralıklarla kontrol imkânı sağlamaktadır. Düşük akışlarda dahi en hassas kontrolü sağlayan bu yöntem çok değişkenli akışkan şartlarında en uygun kontrolü garanti eder. Örnek olarak hassas klima - nem santralleri ve chiller grupları verilebilir.

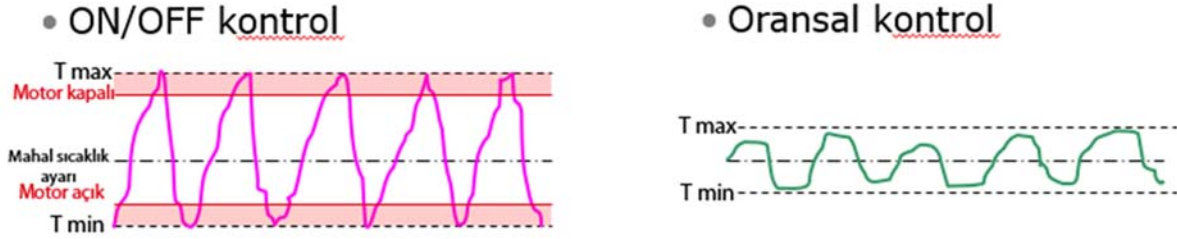
ON-OFF kontrollü motor ile Oransal kontrollü motorların mahal set değeri üzerindeki sıcaklık farkı salınımları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. [Şekil-2]



Şekil-2

Şekil-2'de de görüldüğü gibi on-off motorlarda mahal set sıcaklığındaki salınım oransal kontrollü motor kullanımına göre çok daha fazla oluyor. Mahal set sıcaklığı oransal motorlar kullanıldığında çok daha

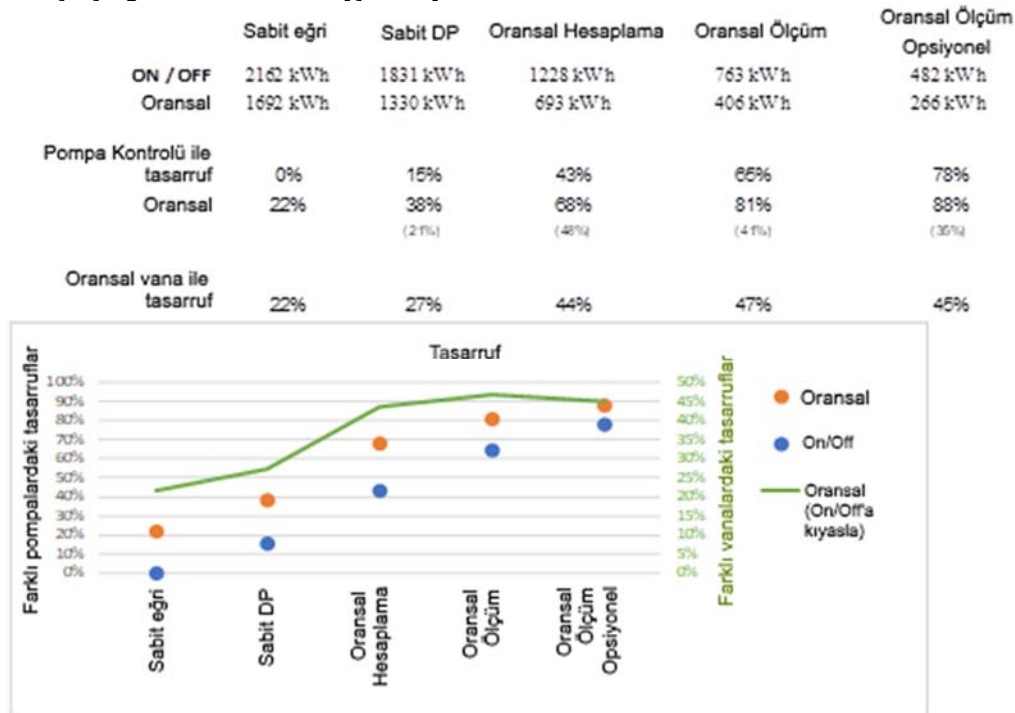
yakın noktalarda tutulabiliyor. Bu da kullanıcılar için konfor sıcaklığına daha hızlı ulaşma ve daha kararlı bir mahal sıcaklığının sağlanmasını kolaylaştırıyor. [Şekil-3]



Şekil-3

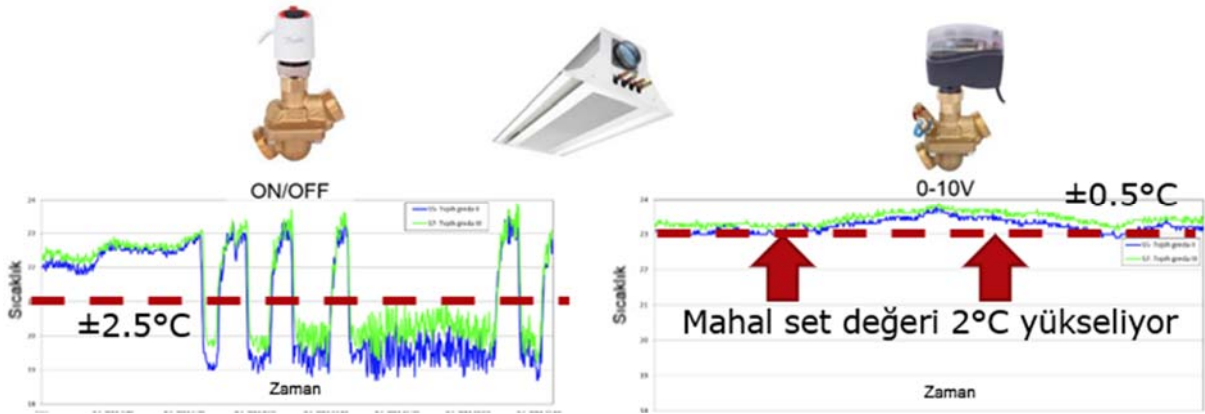
Yapılan ölçüm ve değerlendirmelerde pompa enerji sarfiyatlarında ve chiller COP değerlerinde çok ciddi değerlerde enerji tasarrufu sağlandığı yönünde olmuştur.

Aşağıdaki grafik ve değerler pompa karakteristiğine bağlı olarak on-off kontrollü motor ile oransal kontrollü motorlar arasındaki enerji sarfiyat miktarlarını bize açıkça vermektedir. Görülen odur ki oransal motor kullanımında %45'e varan değerlerde enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu değerler Şekil-4'te açıkça görülebilmektedir. [Şekil-4]



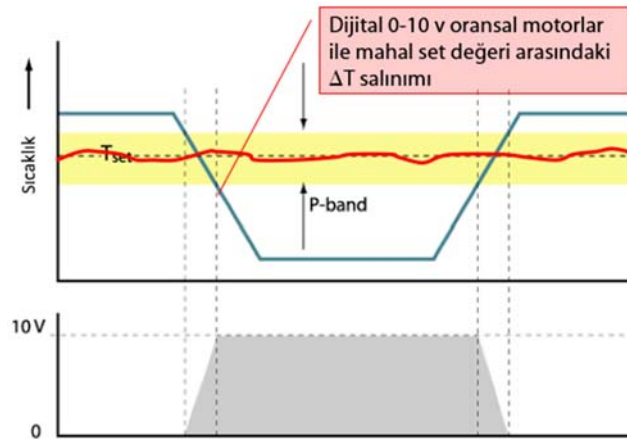
Şekil-4

Tüm bunlara ilave olarak on-off motor kullanılan bir mahaldeki vana motorlarının oransal motora çevrildiğinde mahal set değerlerinin soğutmada 2 derece arttığı görülmüştür. Bu da bize, mahalde yaşayan insanların konfor alışkanlıklarının daha kararlı iç sıcaklıklarda değişebildiğini Şekil-5'teki gibi göstermiştir. [Şekil-5]



Şekil-5

Günümüzde oransal motorların BMS sistemi ile direk kontrol edilebilir hale gelen dijital versiyonları ile daha hassas kontrollerin de sağlanması mümkün hale gelmiştir.[Şekil-6]



Şekil-6

Temel amaca ek olarak bu dijital motorlar, pazarın getirdiği talepler ve rekabet doğrultusunda ek fonksiyonlara da sahip olmuşlardır. Hassas debi kontrolünün yanında ilave BMS kontrol ekipmanları ile bağlantı kurarak tüm ısıtma-soğutma tesisatının tasarım şartlarına en yakın hale gelmesine ve bu şartlarda çalışmasına olanak tanımaktadırlar. Örneğin sıcaklık sensörleri ile sistem dönüş suyu sıcaklığının kontrolü kolaylıkla sağlanıp, chiller COP verimi en yüksek seviyede tutulabilmektedir. Şekil-7'de bir kısım otomasyon komponentine örnekleri görülmektedir. [Şekil-7] Tüm bunları merkezi bina otomasyon sisteminden kontrol edebilmek hem bina mekanik tesisatının daha verimli hale gelmesine hem de bina enerji maliyetlerinin izlenebilirlik seviyesinin artmasına olanak sağlamıştır.

Tesisat üzerindeki bir arıza halini haber verebilmek gibi ilave özellikler yüklenen bu motorlar sadece enerji tasarrufu sağlayarak değil aynı zamanda bina yaşadığı sürece meydana gelen bakım maliyetlerinin de azalmasını sağlamaktadırlar.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan bina otomasyon sistemlerine tam uyumlu bir şekilde üretilen bu motorlar, merkezi sistemden devreye alınarak, işçilik maliyetlerini ve insandan kaynaklanabilecek devreye alma sırasında çokça karşılaşılan hata payını da yok edecek noktalara taşımışlardır. Mekanik sistemi tasarıma en yakın hale getirme konusunda geleneksel motorlara göre çok önde olan bu motorlar sistem üzerindeki ana ekipmanlarla da tam bir uyum içerisinde çalışmaktadırlar.

Sıcaklık Sensörü



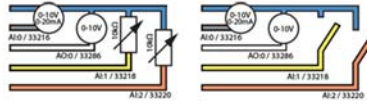
Pencere kontağı



6 yollu vana kontrolü



- Analog Output
- Analog Input
- 2x Dijital input



Çiğ noktası sensörü



Oda termostati

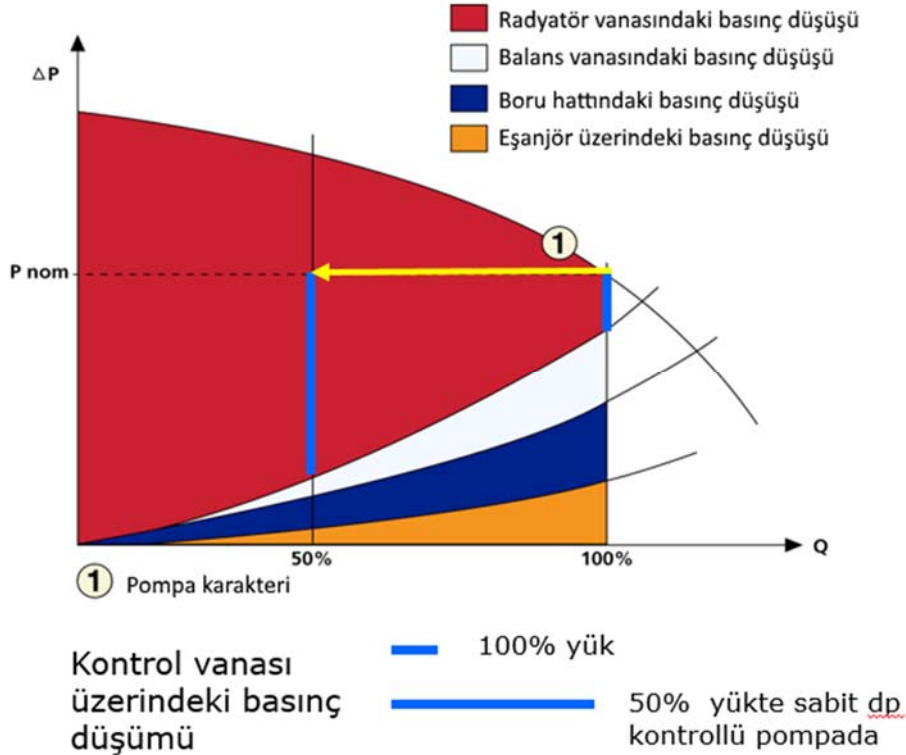


FCU fan hızı kontrolü



Şekil-7

Bu motorlar pompa optimizasyonu konusunda da önemli rol oynamaktadırlar. Pompa optimizasyonunun amacı (projelendirme) ve pompa seçim esnasında kabul edilen toleransların devreye alma sürecinde, gerçek çalışan tesisatta devre dışı bırakılması ve sistemin her durumda (tam kapasite veya kısmi yük) ideal noktasında çalıştırılmasının sağlanmasıdır. Bu işlem için tüm vanaların debi ayarlamaları yapılmalı, vanaların motorları elektriksel olarak %100 açık pozisyona getirilmeli veya bu işlem motorların montajı yapılmadan gerçekleştirilmelidir.² İşte tam bu noktada merkezden kontrolün sağlanması ve tek bir noktadan müdahale edilmesi her açıdan kolaylık ve tasarruf sağlayacaktır. [Şekil-8]



Şekil-8

1.2. Kontrol açısından akıllı motorun değerlendirilmesi:

Bağımsız zonlarda HVAC’da kullanılan terminal ünitelere gönderilen suyu kontrol etmek için akıllı vana motorları kullanılmaktadır. Terminal üniteler aşağıdaki gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

- Fan coil üniteleri
- Soğuk tavan
- İndüksiyon üniteleri
- Son ısıtıcılar
- Son soğutucular
- Klima Santralleri
- Ve Diğer Terminal Üniteleri

Akıllı vana motorlarla yüksek hassasiyetle akışı kontrol edebilmekte ve debi bilinmekte, uzaktan erişim imkanı ile motorun tüm fonksiyonları yönetilmektedir. Bu şekilde vanaların devreye alma süreci hızlanmakta, bakım kolaylığı sağlanmaktadır.³ Hassas kontrol özelliği sayesinde zon konforu artmakta ve enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Akıllı vana motorları ile vanadan geçen anlık debi, zondaki ihtiyaç bilinmektedir.[Şekil-9]



Şekil-9

ENERJİ TASARRUFU

Akıllı motorlar kullanılan balans ve kontrol vanaları anlık debiyi yüksek doğrulukta bilmektedir. Dijital motora vereceğiniz kumanda sinyalini 1/1000 kontrol oranında vanaya aktarabilmektedir. Bu özellik kontrol hassasiyetini arttırmakta ve hataları en aza indirmektedir. Terminal ünite (ısı aktarıcı) öncesi ve sonrasına eklenecek iki sıcaklık hissedicisi motora bağlandığında akan enerjiyi hesaplamaktadır. Terminal üniteyi zondaki gereksinime göre kapasite kontrolü yaparak çalıştırdığımızda, eğer terminal ünite çıkış su sıcaklığını tasarım sıcaklığını sağlayacak şekilde yönetebiliriz. Bu bize enerji tasarrufu sağlayacaktır.

$$\text{Batarya Çıkış Sıcaklığı} = \text{Tasarım Çıkış Sıcaklığı}$$



Nereden Tasarruf?

- Kaynaktan ısıtma/soğutma enerjisi düşecektir.
- Transfer-debiler hep düşme eğiliminde olacaktır.
- Pompa KW değeri düşecektir.
- Pompanın ömrü uzayacaktır.
- Bakım giderleri düşecektir.
- Yoğuşma yönetimi sağlanacaktır.

ENERJİ İZLEME VE YÖNETİMİ

Her bir bataryadan mahale aktarılan enerji anlık ve toplam olarak gösterilecek ve kaydedilecektir.

Anlık tüketim Wh/m^2 Toplam tüketim Σwh

Toplam ile ilgili sınır konulacaktır.

$\Sigma Wh \leq \text{optimum enerji}$

- Kullanıcı sınırlandırılacaktır.
- Kullanıcı davranış yönetimi sağlanacaktır.
- Tasarım doğrulaması yapılabilecektir.
- Öğrenen algoritma uygulamasına sahip olunacaktır.

İŞLETME YÖNETİMİ

Debi ayarlamaların zaman içinde veya ihtiyaca göre merkezden değiştirilmesi sağlanacaktır.

SONUÇ

Tüm bu etkenler düşünüldüğünde mekanik cihazların ve mekanik ekipmanların artık otomasyon ekipmanları ile iç içe bir hale geldiği görülmektedir. Bu sayede mekanik imalat, daha kolay, daha hızlı ve tasarım aşamasında istenen kriterlere daha yakın bir şekilde yapılabilmektedir. Hatta tüm bu ekipmanların günümüz dijitalleşme koşullarına ayak uydurarak çok daha gelişmiş özelliklerle mekanik sistemleri bir sonraki endüstri çağına hazırladığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Danfoss Basınçtan Bağımsız Balans Ve Kontrol Vanası Teknik Katalog
2. http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VBJNF102_Steam_Valves.pdf Erişim: 08.01.2019
3. http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VDHUP602_NovoCon.pdf Erişim: 08.01.2019



ÖZGEÇMİŞ

Erdem Can PAMUKLU

1985 yılı İstanbul doğumludur. 2010 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. Aynı yılda Tanrıöver Mühendislikte proje tasarım mühendisi olarak çalışmıştır. 2013-2016 yılları arasında mekanik tesisat projesi yapan Beta Teknik firmasında proje tasarım mühendisi olarak çalışmıştır. 2016 yılından bu yana Danfoss Otomasyon firmasında İş Geliştirme mühendisi olarak görev yapmaktadır.

Artuğ FENERCİOĞLU

1972 yılı Isparta doğumludur. 1990 Ankara Fen Lisesi ardından İTÜ Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Sistem Dinamiği ve Kontrol Dalından 1994 yılında mezun olmuştur. 1995 yılında Otomatik kontrol sistemleri tasarım, satış ve kurulumu yapan bir firmada çalışmaya başlamıştır. 2006 yılında yine aynı alanda çalışmak üzere kurulan, kurucu ortağı olduğu On Otomasyon Sistemlerinde halen çalışmaktadır. On Otomasyon, 2012 yılında kontrol paneli üretmek üzere üretime başlamıştır. Çalışma alanında edindiği bilgi, birikimi ve tecrübeyi yeni ürünler üretmeye aktararak faaliyetine devam etmektedir.

Büşra YILMAZ

1992 yılı İstanbul doğumludur. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında On Otomasyon Sistemleri'nde çalışmaya başlamıştır. Halen On Otomasyon Sistemlerinde üretim yöneticisi olarak çalışmaktadır.



EGE BÖLGESİNDE ISI POMPALI YERDEN ISITMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Investigation Of Heat Pump Floor Heating System In The Aegean Region

Batuğhan Rüştü Özçelik
Özay Akdemir
Arslan Çağlayan Gürel

ÖZET

Doğal gaz fiyatlarının artmasıyla günümüzde ısı pompaları büyük popülerlik kazanmaktadır. Isı pompaları çevreye zarar vermedikleri, verimli ve çoğu zaman ekonomik oldukları için uygun sistemlerdir. Bu çalışmada, Ege bölgesinde Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde bir villanın ısı pompalı sistem ile ısıtılması incelenerek enerji ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. İncelenen villa TS 825 standardına göre tasarlanmış üç katlı bir villadır. Ege bölgesinde bulunan illerde aynı tip ısı pompalarının ısıtmada kullanımları incelenerek karşılaştırılmaları yapılmıştır. Isı pompası sistemlerinin verimlilik ve maliyet açısından değerlendirmeleri gerçekleştirilerek sonuçlar irdelenmiştir. Villanın yapı bileşen özelliklerinin belirlenmesinde “Ubakus” programı, ısı yüklerinin hesaplanmasında ve simülasyonların gerçekleştirilmesinde Daikin tarafından geliştirilen “Daikin Stand By Me” programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı Pompası, Yerden Isıtma, Enerji Performans Analizi

ABSTRACT

The heat pump is gaining great popularity today because of increasing natural gas prices. Heat pumps are suitable systems because they do not harm the environment, and they are efficient, and often economical. In this study, energy and cost analyses were carried out by examining the heating of a villa with a heat pump system in Bodrum, Manisa, and Uşak provinces in the Aegean region. The examined villa is a three-floor villa designed according to the TS 825 standard. The use of the same type of heat pumps for heating in the provinces in the Aegean region was examined and compared. Heat pump systems were investigated in terms of efficiency and cost, and the results were examined. The “Ubakus” program was used to determine the building component properties of the villa, and the “Daikin Stand By Me” program developed by Daikin was used to calculate the heat loads and to perform the simulations.

Keywords: Heat pumps, Underfloor heating, Energy performance analysis

GİRİŞ

Isı pompaları ekonomikliği, çevre dostu olmaları ve yüksek verimliliklere sahip olmalarından dolayı günümüzde iklimlendirme sistemlerinde önemli bir yere sahip olan sistemlerdir. Günümüzde ısıtma teknolojisindeki gelişmelerle birlikte düşük sıcaklıkta çalışan ısıtma sistemleri giderek önem kazanmaktadır. Estetik ve düşük sıcaklıkta çalışmaları sebebiyle yerden ısıtma sistemleri düşük bakım ve işletme maliyetleri ile tercih edilen sistemler olmaktadır.

Isı pompalarına gün geçtikçe ilgi artarak kullanımları artmaktadır. Bunun sonucunda ısı pompasıyla ilgili yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalar artmaktadır. Esen ve İnallı (2003) yapmış oldukları çalışmada Elazığ iklim koşullarında bir konutun toprak kaynaklı ısı pompasının kullanımını inceleyerek performans analizlerini yaparak sonuçları irdelemişlerdir [1].

Erdoğan vd. (2006) yaptıkları çalışmada ısı pompalı sistemlerin performansını etkileyen faktörleri incelemişler ve ısı pompalı sistemlerin seçiminde dikkate alınacak hususları araştırmışlardır [2].

Kıncay vd. (2008) yaptıkları çalışmada TS 825 standartlarına uygun 350 m²'lik bir villa için ısı kaybı hesaplarını yapmışlar ve ısıtma ile kullanım sıcak suyunun ihtiyacının farklı kaynaklı ısı pompaları ile karşılanması durumunu incelemişlerdir [3].

Çokgez Kuş ve Çomaklı (2015) çalışmalarında farklı kaynaklı ısı pompalarının ekonomik analizlerini gerçekleştirerek birbirleri arasında karşılaştırmalarını yapmışlardır [4].

Uçkan ve Arpacı (2020) Van'da bulunan iki serada güneş destekli su kaynaklı ısı pompası sistemin kullanımını incelemişlerdir. TRNSYS programı kullanılarak modellenmesi gerçekleştirilmiş ve ısı yükleri hesaplanmıştır. Cam sera örtüsü yerine çift katlı polietilen örtü kullanılması durumunda ısıtmada gerçekleşecek enerjisi tasarrufu hesaplanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır [5].

Bu çalışmada, Ege bölgesinde üç farklı ilde tasarlanan villanın aynı tip ısı pompası kullanılarak ısıtma ihtiyacının karşılanması durumu incelenmiştir. Daikin tarafından geliştirilen "Daikin Stand By Me" programı kullanılarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Bodrum, Manisa, Uşak illeri incelenmiştir. İncelenen villa TS 825 "Binalarda ısı yalıtım kurallarının standardı" standardına uygun olarak tasarlanmış ve uygun yalıtım kriterlerine sahip bir yapıdır [6]. Evin toplam taban alanı 362,72 m²'dir. Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin kullanımı incelenerek simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ısıtma ihtiyacının karşılanmasında "Daikin Altherma 3HF" model ısı pompası kullanılmıştır. İller arasındaki iklim koşulların ve rakımın etkisinin sistem verimliliğine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin çalışma sıcaklığı 35°C olarak alınmıştır. Bodrum ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 1'de, Manisa ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 2'de ve Uşak ilinin merkezine ait iklim verileri Tablo 3'de verilmektedir [7].

Tablo 1. Bodrum iline ait yıllık iklim verileri

Bodrum	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1928 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	5,3	6,1	8,5	12,7	17,8	22,8	26,4	26,3	21,9	16,2	10,8	7,0	15,1
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,8	11,0	14,2	18,9	24,3	29,6	33,4	33,6	29,3	23,1	16,7	11,5	21,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1,6	1,9	3,5	7,0	11,4	16,1	19,7	19,6	15,3	10,3	5,9	3,2	9,6
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,5	4,5	5,8	7,3	8,7	10,6	11,4	10,9	9,5	6,8	4,7	3,4	7,3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	15,59	13,71	11,94	9,94	9,53	5,59	2,00	1,94	4,29	8,59	11,0	14,76	108,9
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	244	177	123	64,2	50,3	24,3	11,7	14,7	23,3	73,4	136	266	1209
Ölçüm Periyodu (1930 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20,9	25,5	28,8	31,6	39,4	40,8	42,1	41,2	39,2	36,8	29,0	23,8	42,1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-12,6	-9,9	-8,5	-3,6	1,0	6,7	10,5	9,0	5,6	0,1	-7,0	-9,0	-12,6

Tablo 2. Manisa iline ait yıllık iklim verileri

MANİSA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6,6	7,9	10,5	15,1	20,3	25,2	28,0	27,7	23,3	17,8	12,1	8,1	16,9
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10,8	12,7	16,2	21,4	27,1	32,1	34,9	34,9	30,7	24,4	17,5	12,3	22,9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3,0	3,7	5,3	8,9	13,3	17,5	20,4	20,4	16,2	11,8	7,5	4,5	11,0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,8	3,7	5,1	6,1	8,2	10,2	10,8	10,3	8,6	6,2	3,9	2,3	6,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11,24	11,29	10,47	7,88	7,65	5,18	0,82	1,18	3,0	5,24	8,65	11,12	83,7
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	129,0	107,7	78,4	5,55	39,3	19,9	9,7	9,3	19,6	51,8	88,9	138,2	747,3
Ölçüm Periyodu (1930 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	24,2	26,4	33,5	34,7	40,6	42,4	45,5	44,7	42,4	38,2	29,9	26,4	45,5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17,5	-10,9	-6,7	-2,7	2,0	7,4	10,5	8,5	3,3	-0,9	-7,3	-9,9	-17,5

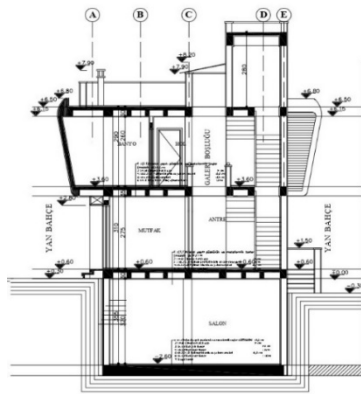
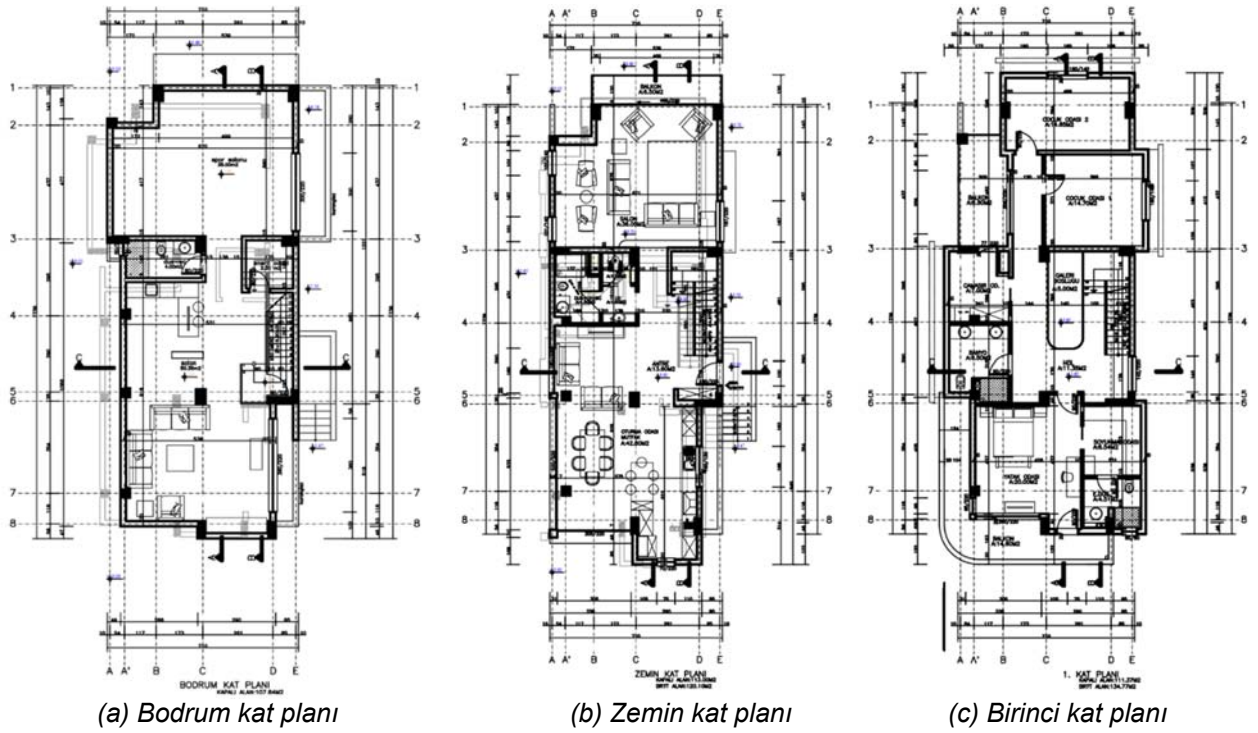
Tablo 3. Uşak iline ait yıllık iklim verileri

UŞAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1939 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,3	3,3	6,2	10,9	15,6	19,9	23,4	23,5	19,1	13,7	8,3	4,2	12,5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	6,8	8,3	11,8	16,8	21,9	26,5	30,3	30,6	26,3	20,3	14,1	8,8	18,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-1,2	-0,6	1,3	5,2	9,2	12,6	15,5	15,6	11,9	7,9	3,8	0,7	6,8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3,9	4,6	5,5	6,8	8,8	10,9	11,8	11,3	9,7	7,3	5,3	3,8	7,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,41	11,35	12,47	10,29	11,65	8,35	2,71	3,06	4,59	7,53	7,18	11,65	103,2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	73,4	66,7	58,0	50,9	48,0	27,2	16,5	12,6	18,6	42,2	58,9	84,6	557,6
Ölçüm Periyodu (1939 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18,3	23,6	27,0	30,0	34,5	36,6	40,2	38,2	38,2	32,6	26,0	21,8	40,2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-19,9	-15,0	-12,5	-6,2	-1,0	2,9	7,4	6,8	2,0	-4,8	-11,8	-18,9	-19,9

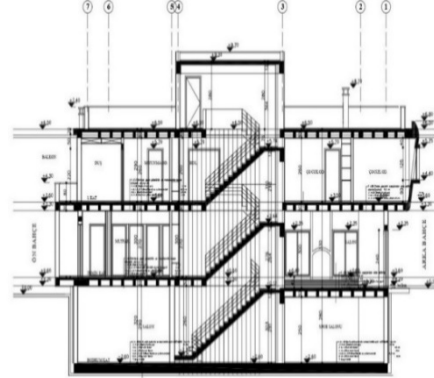
İllerin tümünün Ege bölgesinde bulunmasına rağmen sıcaklık ortalamaları büyük ölçüde farklılık göstermektedir. İller arasında bu kadar farklarının bulunması büyük ölçüde illerin bulunduğu rakıma ve iklim bölgelerine bağlıdır. Bodrum'un rakımı 30 m'dir, Ege ve Akdeniz iklimine sahiptir. Manisa'nın rakımı 71 m'dir ve Akdeniz iklimi ile İç Anadolu karasal iklimine hakimdir. Uşak'ın rakımı 907 m'dir ve İç Anadolu ile Ege bölgeleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir [7].

2. VİLLANIN YAPI BİRLEŞENLERİ

Villa için uygulanacak uygun ısıtma sisteminin belirlenmesinde binanın yıllık enerji kaybı dikkate alınmaktadır. Yıllık enerji kaybının hesaplanması için Şekil 1'de mimari planları verilen villanın yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik (U) değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapı bileşenlerinin U değerlerinin hesaplanmasında "Ubakus" yazılımı kullanılmıştır. Uygulamaya binada kullanılan bütün yapı birleşenleri girilerek U değerleri hesaplanmıştır [8].



(e) Villanın ön kesiti



(f) Villanın sağ yandan kesiti

Şekil 1. Villanın mimari planı

2.1. Toprak Temaslı Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı zemin, yapının bodrum katında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 4'de verilmektedir. Toprak temaslı zeminin U değeri $0,488 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. Toprak temaslı zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
4	Donatılı Betonarme	600 mm	2,5	0,24
5	Donatısız Beton	50 mm	1,65	0,03
6	Polimer Bitümlü Su Yalıtım	3 mm	0,17	0,018
7	Donatısız Beton	100 mm	1,65	0,061
8	Mıcir	50 mm	0,7	0,071
9	Toprak	-	0	0

2.2. Fayans Kaplı Kuru Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı kuru zemin, zemin katında tuvaletler harici alanlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 5'te verilmektedir. Fayans kaplı kuru zeminin U değeri 0,99 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Fayans kaplı kuru tabanın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
5	Kireç Harcı	20 mm	1	0,02

2.3. Fayans Kaplı Islak Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Fayans kaplı ıslak zemin, evin tüm tuvalet ve duş alanlarında kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 6'da verilmektedir. Fayans kaplı ıslak zeminin U değeri 0,972 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6. Fayans kaplı ıslak zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtımı	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

2.4. Birinci Kat Kuru Zemin Yapı Bileşen Özellikleri

Birinci kat kuru zemin, yapının birinci katında duş ve tuvalet alanları dışında kalan alanlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 7'de verilmektedir. Birinci kat kuru zeminin U değeri 0,93 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Birinci kat kuru zeminin yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Ahşap Döşeme	10 mm	0,14	0,071
2	Çimento Harçlı Şap	40 mm	1,4	0,029
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	20 mm	0,035	0,571
4	Donatılı Beton	120 mm	2,5	0,048
5	Kireç Harcı	20 mm	1	0,02

2.5. Dış Hava Temaslı Tavan Yapı Bileşen Özellikleri

Dış hava temaslı tavan, yapının çatı katında tavan olarak kullanılmıştır. U değeri hesaplanırken çatının düz ve açık renkte olduğu dikkate alınmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 8'de verilmektedir. Dış hava temaslı tavanın U değeri 0,166 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Dış hava temaslı tavanın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kristal Yapılı Fayans	7 mm	2,3	0,03
2	Çimento Harçlı Şap	100 mm	1,4	0,071
3	Ekstrüde Polistiren Köpük	200 mm	0,035	5,714
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtımı	3 mm	0,17	0,018
5	Donatılı Betonarme	120 mm	2,5	0,048
6	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020

2.6. Toprak Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Toprak temaslı duvarlar, bodrum katındaki duvarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 9'da verilmektedir. Toprak temaslı duvarın U değeri 0,49 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 9. Toprak temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Duvar Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1	0,020
2	Donatılı Beton	200 mm	2,5	0,080
3	Çimento Harcı	20 mm	1,4	0,014
4	Polimer Bitümlü Su Yalıtımı	3 mm	0,17	0,018
5	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
6	Çimento Harcı	10 mm	1,4	0,007
7	Toprak	-	0	0

2.7. Dış Hava Temaslı Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

Dış hava temaslı duvarlar zemin ve birinci kattaki duvarlarda kullanılmıştır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 10'da verilmektedir. Dış hava temaslı duvarın U değeri 0,270 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Dış hava ile temaslı duvarın yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02
2	Ytong Gaz Beton	200 mm	0,1	2,0
3	Çimento Harcı	20 mm	1,4	0,014
4	Ekstrüde Polistiren Köpük	50 mm	0,035	1,429
5	Anorganik Esaslı Sıva Harçlı	5 mm	0,3	0,017

2.8. İç Ortamlar Arası Duvar Yapı Bileşen Özellikleri

İç ortamlar arası duvarlar yapının odaların ayrılmasında kullanılan duvarlardır. Kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 11'de verilmektedir. İç ortamlar arası duvarın U değeri 1,18 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. İç ortamlar arası duvarların yapı bileşenleri ve özellikleri

No	Yapı Bileşenleri	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02
2	Tuğla	115 mm	0,21	0,548
3	Kireç Harcı	20 mm	1,0	0,02

2.9. Dış Hava Temaslı Kapıların Bileşen Özellikleri

Yapıda kullanılan kapılarda 85 mm kalınlığında poliüretilen yalıtım kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 12’de verilmektedir. Kapıların U değeri 0,381 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12. Dış hava ile temaslı kapıların bileşenleri ve özellikleri

No	Bileşenler	Kalınlık (d)	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
1	Doğal taş	10 mm	0,85	0,012
2	Poliüretilen Yalıtım	85 mm	0,035	2,429
3	Çelik	20 mm	50,0	0,0
4	Doğal taş	10 mm	0,85	0,012

2.10. Yapının Cam Özellikleri

Pencerelerde ısıcam K serisi kullanılmıştır. Isıcamın ikinci yüzeyinde MF ısı ve güneş kontrol kaplaması bulunduran yüksek ışık geçirgenliğine sahip, içten renksiz, dıştan sadece belirli açılarda uçuk mavi parıltıları olan çok amaçlı bir iklim kontrollü yalıtım ünitesi kullanılmıştır. Pencerelerin U değeri 1,3 W/m²K olarak hesaplanmıştır [9].

2.11. Villanın Yıllık Enerji Kaybının Hesabı

Villanın yıllık enerji kaybının hesaplanmasında Daikin firması tarafından geliştirilen “Daikin Stand By Me” programı kullanılmıştır. “Daikin Stand By Me” programına “Ubakus” programından hesaplanan her duvarın U değeri girilerek odaların enerji kaybı hesaplanmıştır. Villa toplam 18 odadan oluşmaktadır. İncelen villanın toplam ısı yükleri Bodrum ili için 9957,49 W, Manisa ili için 11654,17 W ve Uşak ili için 17463,94 W olarak hesaplanmıştır. Tablo 13’de villada bulunan odaların özellikleri ve ısı yükleri verilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere villanın ısı yükü en fazla Uşak ilinde ve en az Bodrum ilinde hesaplanmıştır.

Tablo 13. Villadaki odaların özellikleri ve ısı yükleri

Hacim	Alan (m ²)	Tasarım Sıcaklığı	Hava değişimi	Bodrum'da bulunan villanın ısı yükü (W)	Manisa'da bulunan villanın ısı yükü (W)	Uşak'ta bulunan villanın ısı yükü (W)
Spor salonu	35,0	18,0	1,0	1109,5	1345,75	2154,73
Bodrum katı tuvalet ve duş odası	4,0	22,0	1,5	295,76	325,28	426,34
Bodrum katı mutfak ve oturma odası	50,35	18,0	0,5	1337,16	1631,03	2637,3
Enerji odası	3,2	18,0	0,5	102,54	123,69	196,13
Antre	13,86	21,0	0,5	323,85	364,19	502,31
Zemin katı Oturma odası	36,05	21,0	0,5	1334,69	1525,9	2180,64
Zemin katı mutfak ve oturma	42,8	21,0	0,5	1641,36	1858,92	2603,89
Zemin katı tuvalet ve duş odası	4,5	22,0	1,5	387,98	440,86	621,94
Alaturka tuvalet odası	1,74	18,0	1,5	40,38	59,33	124,23
Üst kat tuvalet ve duş alanı	7,0	22,0	1,5	369,4	414,59	569,32
Üst kat hol	16,35	21,0	0,5	894,49	1028,22	1486,12
Çocuk odası (Büyük)	14,7	21,0	0,5	322,19	373,56	549,44
Çocuk odası (Küçük)	14,65	21,0	0,5	456,96	529,81	779,26
Ebeveyn yatak odası	20,0	18,0	0,5	406,1	508,48	859,05
Ebeveyn soyunma odası	6,54	18,0	0,5	64,86	90,41	177,92
Ebeveyn tuvalet ve duş odası	4,51	22,0	1,5	303,65	339,7	463,16
Çamaşır odası	7,0	18,0	0,5	188,79	239,58	413,51
Çatı katı odası	11,02	18	0,5	377,83	454,87	718,65
Toplam ısı yükü				9957,49	11654,17	17463,94

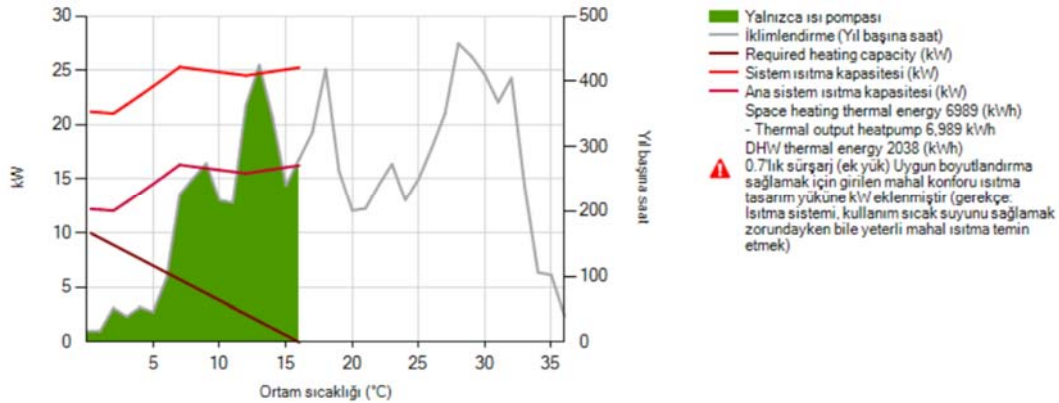
Villanın ısıtılmasında ısı pompalı yerden ısıtma sistemi kullanılmıştır. Villaya uygun ısıtma sisteminin seçiminde sistemin performansı (COP) ve monte edilecek şehirlerin iklim koşullarının uygunluğu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelenen iller için villaya uygulanacak sistem olarak Daikin Altherma 3HF duvar tipi ısı pompası kullanılmıştır. Bu sistem -28°C dış hava sıcaklığına kadar çalışma aralığına sahiptir. Sistemde soğutucu akışkan olarak R32 kullanılmaktadır. R32 soğutucu akışkanı düşük küresel ısınma potansiyeline ve yüksek verim özelliklerine sahip bir akışkan olduğundan dolayı uygulamalarda tercih edilen bir akışkandır. Isı pompasının ısıtma yükünü karşılamaması durumunda yükü karşılamak için ısı pompası sisteminde 6 kW gücünde elektrikli destek ısıtıcısı kullanılmaktadır. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları Tablo 14'te verilmektedir.

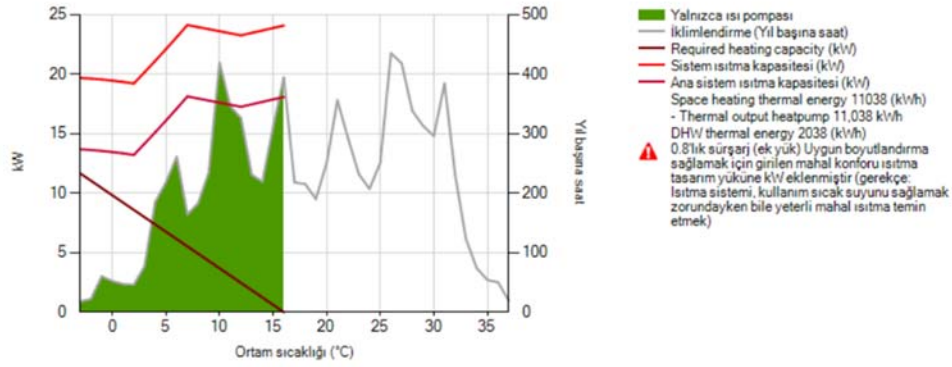
Tablo 14. Isı pompalı yerden ısıtma sisteminin sonuçları

	Bodrum'daki villanın ısı pompası	Manisa'daki villanın ısı pompası	Uşak'taki villanın ısı pompası
Gerekli ısıtma kapasitesi	Min. Ambient (0,3 °C): 9,96 kW (9957 W)	Min. Ambient (-3 °C): 11,65 kW (11654)	Min. Ambient (-8,9 °C): 14,69 kW (13940 W)
Çıkış suyu sıcaklığı ısıtma	25 °C - 35 °C	25 °C - 35 °C	25 °C - 35 °C
Isı pompasıyla kapsanan %	100,0 %	100,00%	99,70%
Yedek ısıtıcı tarafından kapsanan	0%	0%	0,3 % 748 W
Isı pompasının ısıtma kapasitesi	Min. Ambient (0,3 °C): 12,2 kW	Min. Ambient (-3 °C): 13,68 kW (13940 W)	Min. Ambient (-8,9 °C): 13,94 kW (13940 W)
Yardımcı ısıtıcı kapasitesi	6 kW	6 kW	6 kW
Yedek ısıtıcı dahil, ısıtmada yedek kapasite	10,49 kW	7,2 kW	1,36 kW
Enerji tüketimi ısıtma	1337,8 kWh	2283,8 kWh	6483,6 kWh
Yıllık mahal ısıtma termal enerjisi	6989 kWh	11038,5 kWh	25910,4 kWh
Tank boyutu	180 L	180 L	180 L
Enerji tüketimi DHW*	754,8 kWh	754,8 kWh	754,8 kWh
Yıllık kullanım sıcak suyu termal enerjisi	2038 kWh	2038 kWh	2038 kWh
Isı pompasının sezonluk verimi	5,22	4,83	4,00
Yıllık hacim ısıtma enerji maliyeti	5.440,72 ₺ (Elektrik 2,6 ₺/kWh)	7.900,34 ₺ (Elektrik 2,6 ₺/kWh)	18.819,98 ₺ (Elektrik 2,60 ₺/kWh)
Isıtma CO2 emisyonu	524,7 Kg	895,7 Kg	2542,9 Kg

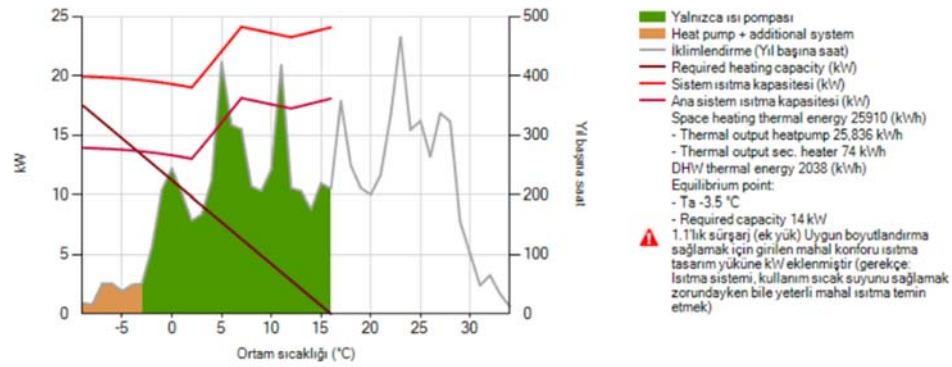
Sistem incelenen şehirlerde 25°C – 35°C sıcaklıklar arasında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Tablodan ısı pompasının gücü Uşak ili iklim koşullarında yetersiz kaldığı ve yedek ısıtıcının kullanımının gerektiği görülmektedir. Uşak ilinde ısı pompasının sezonluk verimi (SCOP) 4 olarak hesaplanmıştır, diğer şehirlerle karşılaştırıldığında daha düşük verime sahip olduğu görülmektedir. Yıllık kullanılan sıcak su ihtiyacı her şehir için aynı seçilmiştir. Sistemlerin enerji etiketi A++, kullanım sıcak suyu B olarak sınıflandırılmaktadır. Yıllık mahal ısıtma için termal enerjiye bakıldığında Bodrum ilinde 6989 kWh iken Uşak ilinde 25910,4 kWh olduğu hesaplanmıştır.

Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin ısıtma kapasitelerinin ortam sıcaklığına göre değişimi ve sistemlerin yıl içinde çalışma miktarları incelenen iller için Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmektedir. Isı pompasının yaklaşık 16°C sıcaklıkta çalışmaya başladığı ve 0°C - 16°C sıcaklıklar arasında çalıştığı görülmektedir. Şekil 4'de gösterilen turuncu alanın bulunduğu bölge yedek ısıtıcının çalıştığı bölgeyi göstermektedir. Yedek ısıtıcı sadece Uşak ilinde sıcaklığın -3°C'nin altına düştüğü koşullarda devreye girdiği görülmektedir.

**Şekil 2.** Bodrum ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

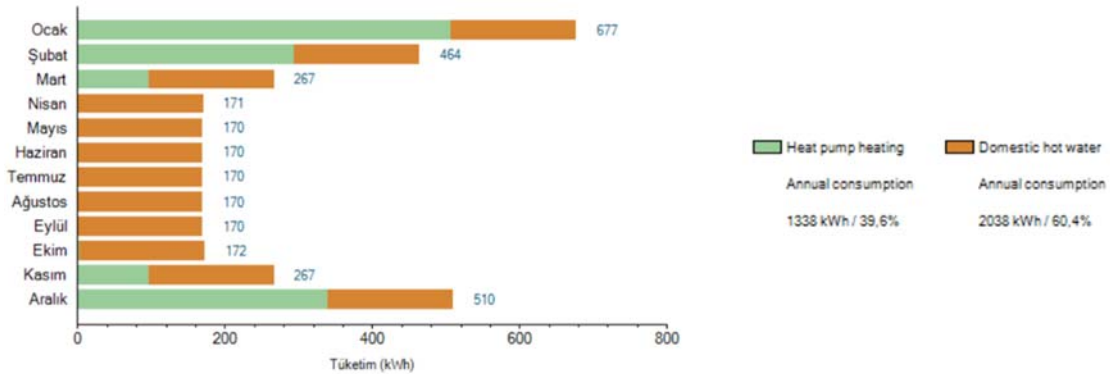


Şekil 3. Manisa ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

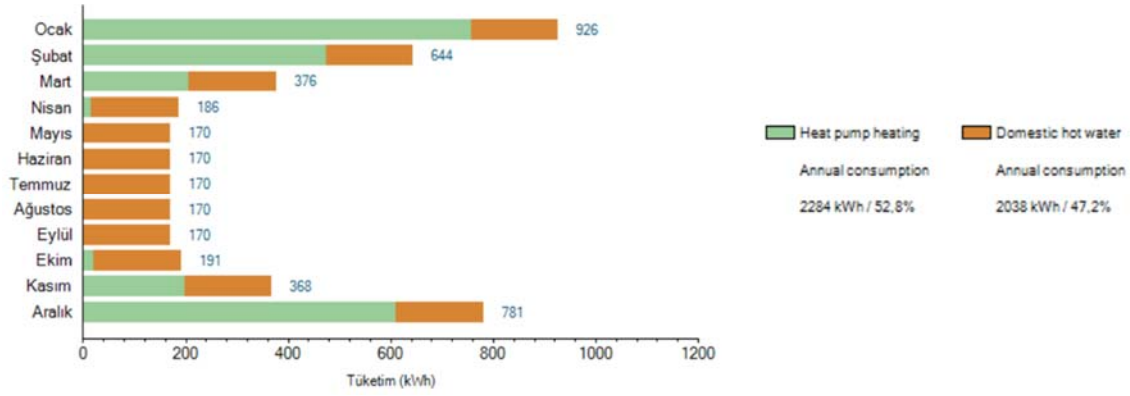


Şekil 4. Uşak ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin ısıtma kapasitesi

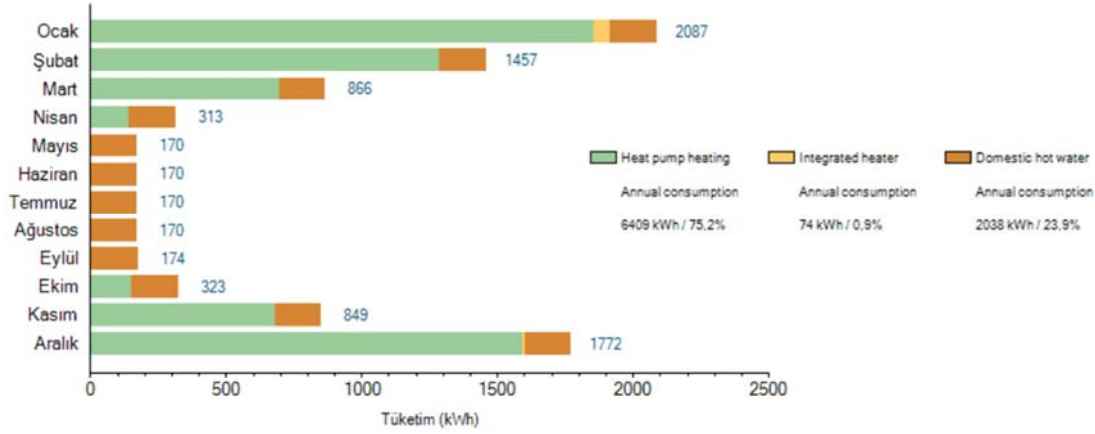
Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin ay bazında enerji tüketim değerleri incelenen villanın Şekil 5'te Bodrum ilinde, Şekil 6'da Manisa ilinde ve Şekil 7'de Uşak ilinde konumlandırılması durumları için verilmektedir. Isı ihtiyacını karşılamak için sadece villanın Uşak ilinde konumlandırılması durumunda ocak ve aralık aylarında ısı pompasına ek olarak yedek ısıtıcı çalıştırıldığı görülmektedir. Yedek ısıtıcısının ocak ayında 70 kWh ve aralık ayında 4 kWh enerji tükettiği belirlenmiştir. İncelenen şehirler için en yüksek enerji tüketiminin ocak ve aralık aylarında gerçekleştiği görülmektedir. Sıcak su için kullanılan enerji miktarının tüm aylarda aynı olduğu ve yazın ısıtma gerçekleştirilmediğinden enerji tüketimi sadece sıcak su sağlanması için kullanıldığı görülmektedir. Sıcak su kullanımının hesabı için 4 kişilik kullanım ve kişi başına 40 L kullanıldığı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Sıcak su depolama sıcaklığı 48°C ve soğuk su sıcaklığı 10°C alınarak yapılan simülasyon çalışmalarısıyla sıcak su ihtiyacı için aylık 170 kWh enerji tüketildiği hesaplanmıştır.



Şekil 5. Bodrum ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi



Şekil 6. Manisa ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi



Şekil 7. Uşak ilindeki villanın ısı pompalı yerden ısıtma sisteminin aylık enerji tüketimi

2.14. Isıtma Sisteminin Maliyet İncelemesi

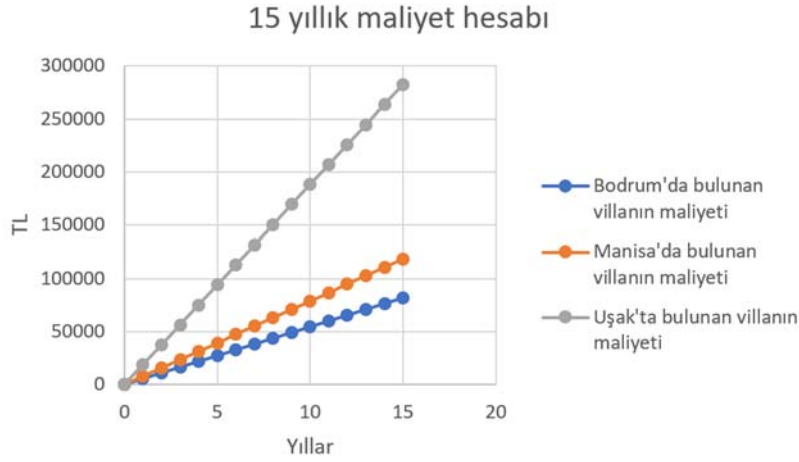
Sistemin maliyet hesaplamalarında 2023 yılının ocak ayının elektrik fiyatları dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Isı pompalı ısıtma sisteminin maliyetleri 15 yıl için incelenmiştir. Çalışma kapsamında elektriğin maliyeti kWh başına 2,6 TL olarak alınmıştır. Isı pompasının ilk yatırım maliyeti 120.000 TL ve kurulum maliyeti 5.000 TL olarak alınmıştır. İncelenen illerde villanın ısıtma ihtiyacının karşılanmasında ısı pompasının kullanılması durumundaki maliyet değerleri Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 15. İncelenen illerde villanın ısıtma ihtiyacının karşılanmasında ısı pompasının kullanılması durumundaki maliyet değerleri

	Bodrum'daki villanın maliyeti	Manisa'daki villanın maliyeti	Uşak'taki villanın maliyeti
Sistem fiyatı	120.000 TL	120.000 TL	120.000 TL
Kurulum Maliyeti	15.000 TL	15.000 TL	15.000 TL
Yıllık işletme maliyeti	5.440,72 TL	7.900,34 TL	18.819,98 TL
15 yıllık işletme maliyeti	81.610,80 TL	118.505,10 TL	282.299,7 TL
Toplam (TL)	216.610,80	253.505,10	417.299,70

Isı pompalı yerden ısıtma sistemlerinin işletme maliyetlerinin villanın Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde konumlandırılması durumları için Şekil 8'de verilmektedir. Kurulacak ısı pompası sistemlerinin aynı bölgede olmalarına rağmen iklim koşullarındaki farklılıklarda dolayı sistem seçimlerinde bu durumların

dikkate alınması gerektiği görülmektedir. İklim koşullarına göre seçimlerin yapılmasıyla performans değerlerinde artışlar sağlanabilmekte ve işletme maliyetleri azaltılabilmektedir.



Şekil 8. Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde incelen villanın işletme maliyetlerinin karşılaştırması

SONUÇ

Bu çalışmada, Ege bölgesini temsil eden Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde tasarlanan villanın aynı tip ısı pompası kullanılarak ısıtma ihtiyacının karşılanması durumu incelenmiştir. Çalışma kapsamında ısıtma ihtiyacını karşılamak için seçilecek ısı pompası tiplerinin çok önem arz ettiği ve iklim koşullarının dikkate alınarak gerçekleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Hava kaynaklı ısı pompasının seçimi esnasında dış ortam şartının ana değişkenlerden bir tanesi olmasına istinaden özellikle bir simülasyon programı kullanılarak, geçmiş dış hava şartlarının ısı pompası seçimine dahil edilmesi önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak; sırası ile kış döneminde dış ortam şartları daha iyi olan Bodrum, Manisa ve Uşak illerinde ısı pompasının SCOP (sezonal COP) değerleri düşmektedir, ancak en düşük olan Uşak ilinde dahi ısı pompasının SCOP değeri 4 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum dikkate alındığında hava kaynaklı ısı pompalarının performanslarının yüksek olduğu fakat dış iklim koşullarından etkilendiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Esen, H., İnallı, M. "Elâzığ İklim Şartlarında Yatay Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Analizi", Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2003.
- [2] Erdoğan, S., Yılmaz M., Şahin B., Özyurt Ö., "Isı Pompası Sistemin Seçilmesi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2006.
- [3] Kıncay, O., Akbulut, U., Ağustos, H., Açıkgöz, Ö., Çetin Ö., "Güneş Enerjisi ve Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Konvansiyonel Sistemlerle Ekonomik Karşılaştırılması", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2008.
- [4] Çokgez Kuş, A., Çomaklı, K., "Farklı Kaynaklı Isı Pompası Sistemlerinin Ekonomik Analizi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2015.
- [5] Uçkan, İ., Arpacı, E., "Van İklim Şartlarında Su Kaynaklı ve Güneş Enerjisi Destekli Bir Isı Pompası İle Sera Isıtma Simülasyonu", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 799 – 807, 2020.
- [6] Atmaca, U., "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2016.
- [7] <https://mgm.gov.tr> (Erişim Tarihi 2022).
- [8] <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/> (Erişim Tarihi 2022)



[9] Isıcam. Isıcam Sistemler K Değerleri. <http://www.seyhancam.com.tr/tr/?i=pages&id=134> (Erişim Tarihi 2022).

ÖZGEÇMİŞ

Batuğhan Rüştü ÖZÇELİK

2000 yılı Almanya/Worms doğumludur. 2022 yılında Ege Üniversitesinde Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2023 yılında Kaynak Mühendisliği'ni bitirmiştir.

Arslan Çağlayan GÜREL

1983 yılı İzmir doğumludur. 2006 yılı Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimi, 2015 yılında İzmir Yaşar Üniversitesi İşletme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2007 – 2014 yılları arasında Baymak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de sırasıyla; Servis Mühendisi, Ege Bölge Müdürü, Batı Anadolu Satış Müdürü ve Türkiye Projeler Satış Müdürü olarak görev aldı, 2014 yılı itibarıyla de Daikin Isıtma ve Soğutma Sistemleri Sanayi Ticaret A.Ş.'de Ege ve Akdeniz Bölge Müdürü olarak görevini sürdürmektedir. Makine Mühendisleri Odası Şubesi 31. Dönem Yönetim Kurulu üyesi yanı sıra, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD), İklimlendirme Klima İmalatçıları Derneği (İSKİD) ve Mimarlar Odası İzmir Şubesi bünyelerindeki komisyonlarda özellikle ısı pompası ürünleri hakkında çalışmalarını devam ettirmektedir.

Özay AKDEMİR

1975 yılı Ankara doğumlu, evli ve iki çocuk babasıdır. 1997 yılında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Yüksek Lisans eğitimini 2001 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde ve doktora eğitimini 2007 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde tamamlamıştır. 1998-2007 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2007 yılından beri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır.

BİR YAPININ DOĞALGAZLI KOMBİ İLE YERDEN ISITILMASI UYGULAMASINDA ISITMA PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Experimental Investigation of the Thermal Performance of a Natural Gas Fired Combi Boiler with Radiant Floor Heating Application in a Building

Bilsay Pastakkaya

ÖZET

Fosil enerji kaynaklarının verimli ve tasarruflu bir bakış açısıyla tüketilmesi, fosil yakıtların ekonomik, ekolojik ve sosyolojik açıdan yarattığı olumsuzlukların iyileştirilmesi noktasında, sürdürülebilir bir gelecek için kritik öneme sahiptir. Doğal gazlı ısıtıcı cihazların ısıtma performansı, sadece cihazın teknik üstünlüklerine değil, aynı zamanda ısı dağıtım sisteminin türüne, çalışma özelliklerine ve verimliliğine de yüksek oranda bağlıdır. Bu çalışmada, yerden ısıtma sistemi ile ısı dağıtım yapan bir doğal gazlı kombinin, bir binanın ısı ihtiyacını karşılama sürecinde, çalışma özellikleri ve ısıtma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Buna göre, 109 m² taban alanına sahip bir konutun, anma ısı gücü 25 kW olan ve doğalgaz ile çalışan yoğuşmalı kombi cihazı ile ısıtılmasında, ısıtma periyodu boyunca yapının, ısıtıcı cihazın ve ısı dağıtım sisteminin ısıtma performansı, doğal gaz kaynaklı ısıtma enerjisi ve elektrik enerjisi tüketim değerleri belirlenmiştir. Buna göre, çalışma verimi yüksek ısıtıcı cihaz ile doğru tasarlanmış ve uygulanmış yerden ısıtılmalı ısı dağıtım sisteminden oluşan ısıtma sisteminin, düşük çalışma sıcaklıklarında bile, ısı konfor şartlarından ödün vermeden binanın ısıtma ihtiyaçlarını karşıladığı, doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketiminde de önemli ekonomik tasarruflar sağladığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek verimliliğe sahip bileşenlerle doğru şekilde tasarlanmış ısıtma sistemlerinin, teknik, ekonomik ve çevresel açıdan avantajlar sağlanmasını olanaklı kıldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal gaz, Yerden Isıtma, Isıl Performans, Enerji Verimliliği

ABSTRACT

Consuming fossil energy sources in an efficient and thrifty perspective has a critical significance for a sustainable future in sorting out the economic, ecologic and social issues related to fossil fuels. The heating performance of the natural gas fired heaters not only depend on their technical superiorities but also the features of the heat distribution system, working principles and efficiencies. In this study, a natural gas fired combi boiler with radiant floor heating system's operational features and thermal performance for covering a sample building's are experimentally investigated. The thermal performance of the building, the heating device and the heat distribution system is determined and the natural gas sourced thermal energy and electrical energy consumption value are calculated for the heating application of a residence with 109 m² floor area with the natural gas fired condensing combi boiler with the nominal heating capacity of 25 kW. Accordingly, it is deduced that a heating system consists of high efficient heating device with the properly designed and installed radiant floor heat distribution system covers the building's heating demand without sacrificing the thermal comfort conditions and provides remarkable economic savings even in low operational temperatures. It is also concluded that the sensibly designed heating systems composed of high efficient components enable to provide technical, economic and environmental advantages.

Key Words: Natural Gas, Radiant Floor Heating, Thermal Performance, Energy Efficiency

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir yaşam felsefesinin içselleştirilmesi adına ulusal ve küresel ölçekli yapılan toplumsal faaliyetlerin ana gündeminde, enerjinin verimli kullanımı ve yenilenebilir kaynaklardan eldesi konusu yer almaktadır. Fosil yakıtların doğası gereği bir gün tükeneyeceği gerçeği ve yaşamın her alanında kullanımına bağlı oluşan ekonomik, ekolojik ve sosyolojik problemler, fosil yakıt kullanımı için alternatif arayışlarını ve fosil yakıt kaynaklı uygulamalarda enerjinin verimli kullanımının önemini her geçen gün bir kat daha arttırmaktadır [1]. Avrupa ülkelerinde, birincil enerji tüketiminin %40'lık oranla binaların enerji ihtiyacını karşılamakta kullanıldığı gerçeği düşünüldüğünde [2], hem fosil yakıt kullanımı ile ilintili problemlerin asgariye indirilmesi hem de yaşamsal faaliyetlerin, ısı konfor şartlarından ödün verilmeksizin sürdürülebilmesi adına, konutlarda doğal gaz kullanımının verimli ve sürdürülebilir bir şekilde sağlanması konusu, ülkemizin ve birçok ülkenin gündeminde ilk sıralarda yer almaktadır [3-5]. Ayrıca enerji arzında, küresel ölçekte yaşanan siyasi ve politik gelişmelere bağlı yaşanan sorunlar, doğal gazın daha verimli kullanımı ile ilgili teknik ve ekonomik çalışmalara hız kazandırmaktadır [6].

Ülkemizde doğalgaz tüketiminin en büyük paydasını, %32'lik oran ile konutsal kullanım oluşturmakta, ancak kullanılan doğalgazın çok önemli bir kısmı ithal edilmektedir; örneğin 2019 verilerine göre yaklaşık 45,21 milyar m³ doğal gaz ithalatı yapılmış, aynı yıl doğalgaz üretimi sadece 483 milyon m³ seviyesinde gerçekleşmiştir [7]. Arslan ve Solak'ın bildirdiğine göre ülkemizin enerji ihtiyacının önemli bir kısmının ithalat yoluyla karşılanmakta, petrol ve doğal gaz ağırlıkta olmak üzere büyük miktarlarda fosil yakıtlar ithal edilmesi nedeni ile enerji talebinin karşılanmasında ithalat oranı yüksek düzeyde seyretmekte, dışa bağımlılık artmakta ve bu durum ise cari dengenin bozulmasında en önemli etken konumuna gelmektedir [8]. Bu nedenle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde endüstriyel üretimin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynaklarında dışa bağımlı olunması cari açığın artmasına neden olmaktadır [9]. Ülkemizde, konutların ısı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılan fosil yakıt kaynaklı ve yüksek oranda dışa bağımlı olan doğal gazın, teknolojik açıdan verimli bir şekilde tüketilmesi, doğal gaz kullanımına bağlı birçok sorunun asgariye indirilmesi adına büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla konu ile ilgili yayınlanan rehber kaynaklar [10 – 14] ve yapılan bilimsel çalışmalar [15 – 18]; hem satış, montaj ve bakım/onarım konusunda faaliyet gösteren uygulamacılar, hem de konu ile ilgili deneysel ve sayısal ölçekli bilimsel araştırma çalışmaları yürüten araştırmacılar için yol gösterici olmaktadır.

Doğal gazın evsel kullanımında, yapı sakinlerinin ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla kullanılan ısı sistemleri, bireysel ısıtma, merkezi ısıtma ve bölgesel ısıtma olarak üç başlıkta incelenmektedir [14]. Küçükçalı'ya göre; bireysel ısıtma kategorisinin, kat ve villa ısıtması boyutunda doğalgaz rakipsizdir; duvar tipi kombi cihazı ve döşeme tipi ısıtma cihazları (kazan+boyler+otomatik kontrol sistemi) olarak iki farklı çözüm mevcuttur ve kazan konulması için ayrı yer bulunmayan, 80-100 m² kullanım alanı olan tek dairelerde duvar tipi kombi cihazlarının kullanımı daha uygundur [19]. Bireysel ısıtma sistemlerinde, yüksek verimli yoğunmalı kombi sistemleri ile hem daha verimli hem de daha tasarruflu ısıtma uygulamalarını hayata geçirmek mümkündür. T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından bildirildiğine göre [20], Enerji Verimliliği kapsamında ve Türkiye'nin Avrupa Birliği uyum yasaları çerçevesinde, Avrupa birliği ülkelerinde çevrenin daha fazla korunması ve emisyon değerlerinin azaltılması amacıyla uygulamaya alınan ERP (Energy Related Products – Enerji İlişkili Ürünler) Yönetmeliği 28 Mart 2018 tarih ve 30374 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış, yönetmeliğe göre 21 Nisan 2018 tarihinden itibaren klasik (konvansiyonel) kombilerin ülkemizde üretimi ve ithalatı kaldırılmıştır. Ayrıca çalışmada, yoğunmalı kombilerin düşük emisyon değerleri ile çevreci ve doğa dostu olduğu, yoğunmalı kombilerde tesisat suyu sıcaklığı 50 °C'yi geçmeyecek şekilde kullanılırsa maksimum verim sağlanacağı belirtilmiştir. [20] Şahin, duvar tipi yoğunmalı bir kazan ile klasik kombinin sistem sıcaklıklarına göre karşılaştırılması amaçlı ve yatırım farkını geri ödeme sürelerini karşılaştırdığı çalışmada, elde ettiği sonuçlara göre 50-30 °C çalışan doğal gazlı ısıtma sisteminin, radyatörlü ısı dağıtım sistemi ile kullanımının uygun olmadığı, bu sistem için ideal çözümün yerden ısıtma sistemi olduğu sonucuna varmıştır [21].

Bu çalışmada, yerden ısıtma sistemi ile ısı dağıtımını yapan, doğalgazlı yoğunmalı kombi cihazı ile 109 m² taban alanına sahip üç kişilik bir ailenin yaşadığı tek katlı bir yapının ısıtılması uygulamasında, farklı ısıtma periyotları boyunca; yapının, ısıtıcı cihazın ve ısı dağıtım sisteminin ısı performansı, doğal

gazdan elde edilen ısı enerji ve elektrik enerjisi tüketim değerleri belirlenerek, ısıtma sisteminin çalışma performansı incelenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Örnek Yapı ve Özellikleri

Çalışma incelenen örnek yapı, üç kişilik bir aile tarafından kullanılan, 109 m² taban alanına sahip, prefabrik karkaslı özelliğinde tek katlı müstakil bir konuttur (Şekil 1.). Yapı, Yalova Merkez Güney Köyü Doğandere mevkiinde bulunmaktadır. Yalova ili, TS 825 Binalarda Isı yalıtım Kurallarına göre 2. Derece gün bölgesi içerisinde yer alsa da [22] 309 m rakımlı bir orman köyü olan Güneyköy'ün, coğrafi konumuna bağlı iklimsel özellikleri nedeni ile 3. Derece gün bölgesinde değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşımdır. Yapı sırasıyla 17, 15 ve 12 m² taban alanına sahip üç adet oda, 4 m² alanlı iki adet banyo, 17 m² alanlı hol ve 40 m² ortak kullanım alanlı salon ve mutfaktan oluşmaktadır (Şekil 2.). Bina bünyesinde yer alan tüm yapı bileşenleri, TS 825 Binalarda Isı yalıtım Kurallarına uygun şekilde üretilmiş ve monte edilmiştir [23].



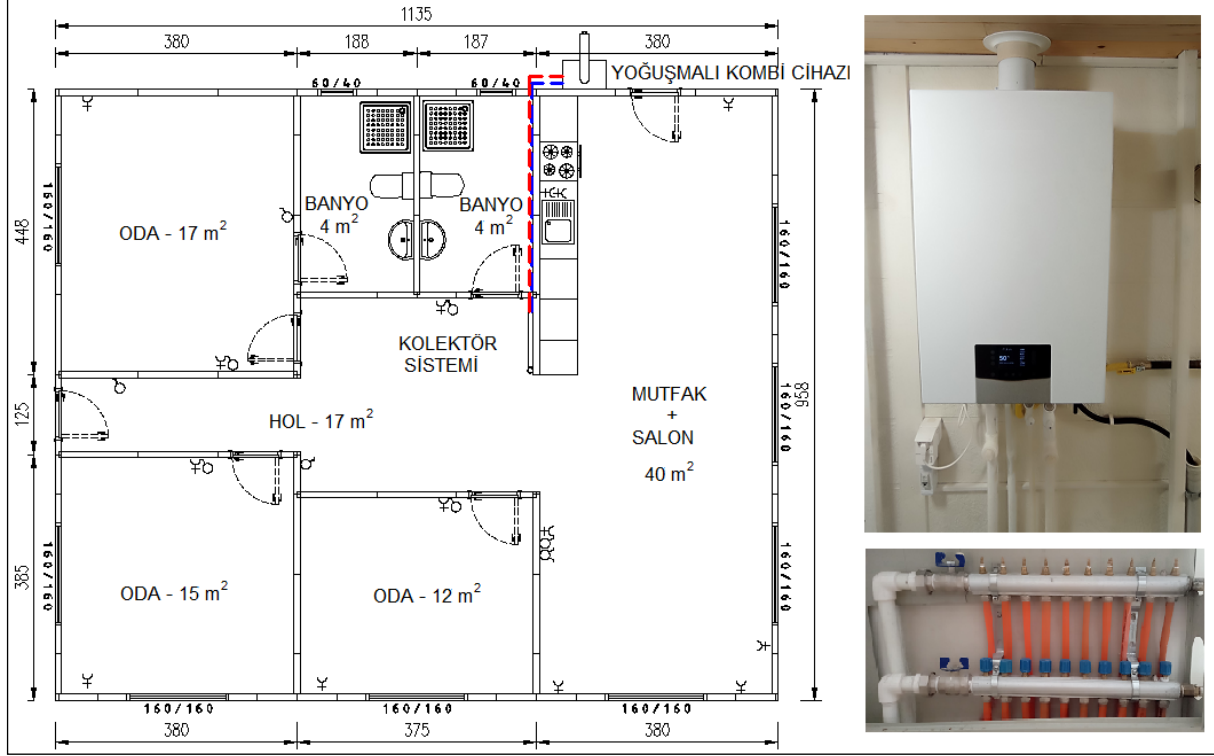
Şekil 1. Örnek yapının dış görünüşü.

2.2. Isıtma Sistemi

Örnek yapının ısıtılması amacı ile kullanılan ısıtma sistemi, ısıtıcı cihaz olarak bir adet duvar tipi doğalgazlı yoğuşmalı kombi cihazı ve ısı dağıtım sistemi olarak yerden ısıtma sisteminden oluşmaktadır. Yapının ısıtma ve sıcak kullanım suyu ihtiyacını sağlayan doğalgazlı kombi cihazı, anma ısı gücü 25 kW değerinde hermetik bacalı ve yoğuşmalı özelliktedir. Cihazın, yanma için gereken doğalgaz-hava karışımının özelliklerini çalışma koşullarına göre takip edip otomatik olarak ayarlayan akıllı yanma teknolojisi ve sekiz kademeli sirkülasyon pompası sayesinde, yüksek ısı verimliliğiyle çalışması sağlanmaktadır. Isıtma mevsimsel verimlilik değeri %94 olan cihazın 50-30°C çalışma sıcaklığında maksimum ısıtma gücü 27 kW, 80-60°C çalışma sıcaklığında maksimum ısıtma gücü 25 kW değerindedir [24]. Bu çalışmada cihazın ısıtma sıcaklık değeri, dış ortam sıcaklığı ve ısı konfor ihtiyaçları gözetilerek 35 ilâ 50 °C aralığında belirlenmiştir. Sıcak kullanım suyu hazırlanması için cihazın maksimum ısıtma gücü 31,8 kW, sıcak kullanım suyu mevsimsel verimliliği %85 değerindedir. Sıcak kullanım suyu hazırlama sıcaklık aralığı 35-65°C değerinde olup, yapılan çalışma boyunca bu değer 42°C olarak belirlenmiştir. Cihazın dâhili ölçüm sistemi sayesinde, ısıtma ve sıcak su kullanımına bağlı ısı enerji ve elektrik enerjisi sarfiyatı, saatlik, günlük, aylık ve yıllık periyotlarla görüntülenebilmekte ve kaydedilebilmektedir.

Doğalgazlı kombi cihazında üretilen ısı enerji, taşıyıcı akışkan olarak sıcak su kullanılarak DN25 çapındaki polietilen borular vasıtasıyla on ağızlı sıcak su kolektör sistemine iletilmekte, kolektör sisteminden binaya dağıtım, DN15 çapında çapraz bağlamalı polietilen (VPE) borular [19] vasıtasıyla sağlanmaktadır. Binada ısı dağıtım sisteminin ısı performansını iyileştirmek amacı ile borular bina tabanına ekspande polistren yalıtım malzemesi üzerinde çimentolu şap ile kaplanarak monte edilmiş,

binanın tüm taban alanı ısı iletim özelliği yüksek seramik malzeme ile kaplanmıştır. Yerden ısıtma sisteminde kullanılan çapraz bağlamalı polietilen boruların bağlantı tasarımı, montaj ve metraj özellikleri, uygulama yapılan mahalin ısı ihtiyaçları ve kullanım özellikleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Şekil 2. de, örnek yapının ısıtma sisteminde yer alan doğalgazlı kombi cihazının görünüm, cihaz ve ısı dağıtım kolektörünün bina içerisindeki konum ve bağlantı özellikleri ile yapıda yer alan oda ve kullanım alanlarının yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2. Isıtma sistemi ve yapı içerisindeki yerleşimi

2.3. Veri Ölçüm Sistemi

Çalışmada, ısıtma sistemini oluşturan bileşenlerin, yapının iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları ve enerji tüketim değerlerinin belirlenmesi amacı ile ısıtıcı cihaz içerisinde yer alan dâhili ve veri kayıt cihazına bağlı harici ölçüm sistemleri kullanılmıştır. Dâhili ölçüm sistemi, doğalgazlı kombi cihazı içerisine [24] entegre edilmiş yapıda olup, cihazın ısıtma ve sıcak suyu temininde, doğal gazın yanması sonucu elde edilen ısı enerji miktarını ve bu ısı ihtiyaçların karşılanması için harcanan toplam elektrik enerjisi miktarını, çalışma sıcaklıkları ve sistemin basınç değerini anlık olarak gösterebilmekte, enerji kullanım miktarlarını ise günlük, aylık, yıllık ve toplam kullanımı süresi olarak kaydedebilmektedir. Cihazın veri ölçüm hassasiyeti $\pm 0,001$ kWh olarak belirlenmiştir. Çalışmada, Kasım, Aralık ve Ocak ayları boyunca, kombi cihazının çalışması sonucunda ısıtma ve sıcak kullanım suyu temini için harcanan enerji miktarları, cihazın dâhili ölçüm sisteminden elde edilmiştir. Aylık periyotların analizi için dış sıcaklık verileri, Yalova - Güneyköy için belirlenen meteorolojik ölçüm verilerinden faydalanılarak [25], incelenen her ay için günlük dış ortam sıcaklık değerleri, günlük en yüksek ortalama ve en düşük ortalama sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Çalışmada ısıtma sisteminin günlük periyotta; çalışma performansı, yapının ısı özellikleri, iç ve dış ortam sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla harici ölçüm sistemi kullanılmıştır. Kombi cihazının ısı dağıtım sistemine gidiş/dönüş sıcaklık değerleri, kolektör ana giriş/çıkış ağızlarına yerleştirilen ve ölçüm hassasiyeti $\pm 0,1$ °C olan PT 100 termodirenç sıcaklık sensörleri ile ölçülmüştür. İç ortam, dış ortam, döşeme sıcaklığı değerlerinin ölçümünde ise, ölçüm hassasiyeti $\pm 0,1$ °C olan K tipi termokupl sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Yapı içerisine yerleştirilen K tipi termokupllar, yapının köşegenlerinin kesiştiği merkez noktasında, iç sıcaklık ölçümü için döşemeden 1,8 m yükseklikte; döşeme sıcaklığı

ölçümü ise aynı kesişim noktasında döşeme yüzeyi üzerine yerleştirilerek sağlanmıştır. Dış sıcaklık ölçümü yine K tipi termokupl kullanılarak, binanın kuzey cephesinden 0,1 m uzaklıkta ve zeminde 2 m yükseklikte, güneşlenme kazançlarından etkilenmeyecek şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.) Harici ölçüm sisteminde ölçülen sıcaklık verileri, çok kanallı bir veri kayıt cihazı [26] kullanılarak kaydedilmiştir. Harici ölçüm sistemi ile yapılan tüm sıcaklık ölçümlerinde, veri eldesinin daha hassas bir şekilde sağlanabilmesi için, veri kayıt sıklığı 10 saniyede bir veri alınacak şekilde belirlenmiştir.

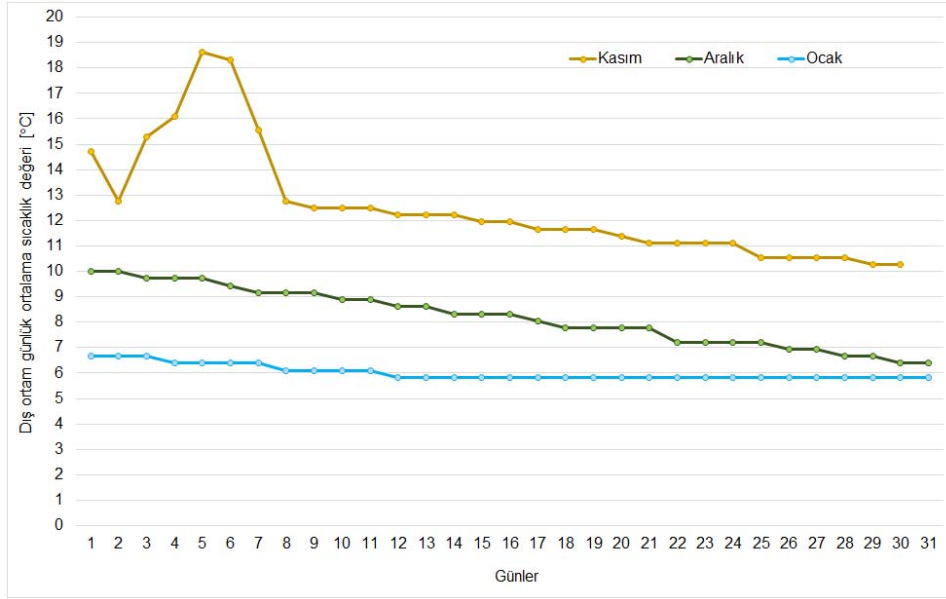
Yapılan deneysel çalışmada ölçüm işlemleri için hata analizi yapılarak [27], ölçüm işlemlerindeki toplam hata değeri hesaplanmıştır. Buna göre deneysel ölçümlere bağlı hesaplamalarda maksimum hata oranı $\pm\%0,2$ olarak hesaplanmış, elde edilen hata oranının kabul edilebilir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 3. Harici veri ölçüm sistemi

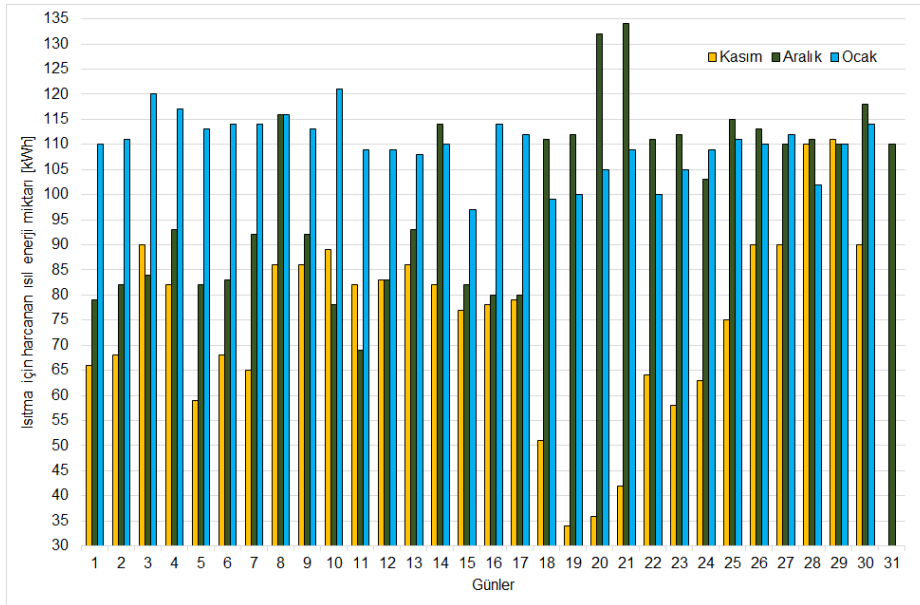
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada, doğal gazlı yoğuşmalı kombi cihazının ısıl performansını incelemek amacı ile dâhili ölçüm sistemi kullanılarak üç aylık ısıtma periyodu boyunca Kasım, Aralık ve Ocak ayları için elde edilen verilerle; kombi cihazı ile yapının ısıtılması ve yapı sakinlerinin sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması için doğal gazın kullanılması ile elde edilen ısıl enerji miktarları ve bu işlemler için harcanan elektrik enerjisi miktarları belirlenmiştir. Çalışmaya konu olan aylar boyunca, günlük ortalama dış ortam sıcaklığının grafiksel gösterimi Şekil 4.'te yer almaktadır.



Şekil 4. Isıtma periyodu boyunca dış ortam ortalama sıcaklığının günlük değişimi [25]

Dış ortam sıcaklığının günlük değişimi grafiği incelendiğinde, Kasım ayı boyunca sıcaklık dalgalanmalarının, özellikle ayın ilk haftasında yoğun olduğu, kış aylarında ise bu değişim miktarının ve ortalama sıcaklık değerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca meteorolojik veriler incelendiğinde [25], Ocak ayı için gece ve gündüz sıcaklıklarının maksimum değerleri arasında önemli bir fark olduğu, ancak günlük ortalama sıcaklık değerinin, ayın ortasından itibaren 5,8°C seviyesinde kaldığı görülmektedir. Şekil 5.'te, ısıtma periyodu boyunca, doğal gazlı kombi cihazı tarafından sağlanan günlük toplam ısı enerjisi miktarının değişimi görülmektedir.

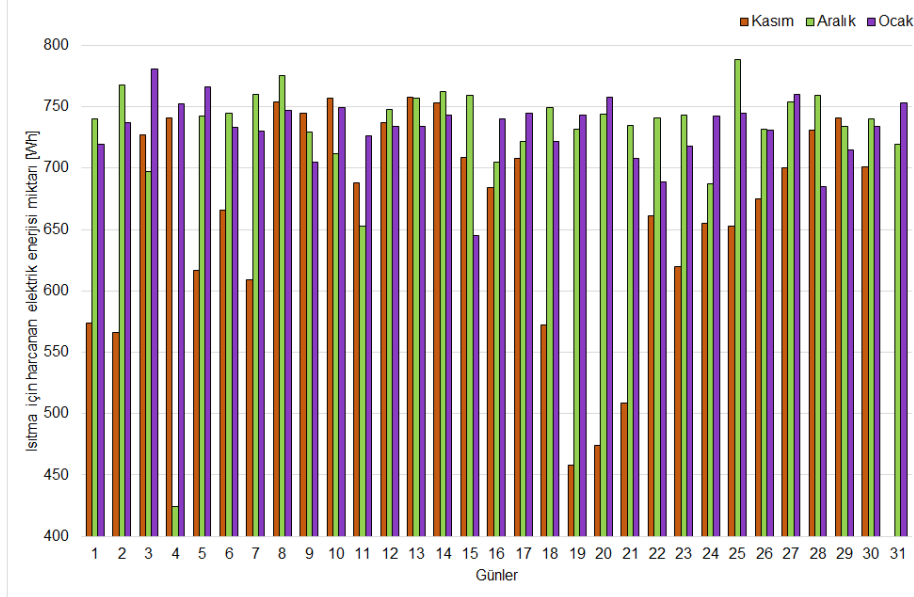


Şekil 5. Isıtma için harcanan ısı enerjisi miktarının günlük değişimi

Isıtma için harcanan ısı enerjisi miktarının, aylık periyotta dış ortam sıcaklığının azalması ve yapının ısıtma ihtiyacının artmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Dış ortam ortalama sıcaklığının 12,5 °C olduğu Kasım ayında, ısıtma için harcanan toplam ısı enerjisi miktarı 2240 kWh, günlük ortalama değerinin ise 75 kWh olduğu tespit edilmiştir. Ancak, günlük atmosferik koşulların değişimi nedeni ile

kombi çalışma sıcaklık değerinin 35 ilâ 50 °C arasında değişmesine bağlı olarak, günlük toplam değer Kasım ayının 19. Gününde 34 kWh'e kadar düştüğü, 29. Gününde 3 kattan fazla bir artışla 111 kWh'e kadar yükseldiği görülmektedir. Aralık ve Ocak aylarında ise, dış ortam sıcaklığının daha kararlı bir değişim göstermesi ile ısıtma için harcanan ısıl enerji miktarının günlük değişimindeki dalgalanmanın azaldığı sonucuna varılmıştır. Aralık ayında harcanan toplam ve günlük ortalama ısıl enerji değerleri sırasıyla 3084 kWh ve 100 kWh olarak hesaplanmış, Aralık ayının 20 ve 21. gününde, sırasıyla 132 ve 134 kWh'lik sarfiyat ile ısıtma periyodunun en yüksek değerlerine ulaşılmıştır.

Isıtma periyodu boyunca ısıtma için harcanan aylık toplam ısıl enerji miktarının en yüksek değeri 3413 kWh ile Ocak ayında görülmüştür ve Ocak ayı için günlük harcanan ortalama ısıl enerji değeri 110 kWh olarak hesaplanmıştır. Ocak ayında en düşük dış sıcaklık değerleri ve dolayısıyla en yüksek ısıtma ihtiyacı görülmüş olsa da, dış sıcaklık değerlerinin oldukça kararlı seyretmesi, kombi çalışma sıcaklık değerinin tüm ay boyunca sabit 50 °C sıcaklığında belirlenmesini sağlamıştır. Bu durum, ısıtma sisteminin daha kararlı ve daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Ocak ayında, ısıtma için ısıl enerji sarfiyatında Ocak ayının günleri arasındaki ısıl enerji sarfiyatı farkı 1 ilâ 17 kWh değerleri arasında değişmiş, değişim miktarı ortalamasının 5 kWh değerinde kaldığı görülmüştür. Kasım ve Aralık aylarında ise değişim miktarı ortalamasının sırasıyla 9 kWh ve 10 kWh değerini aldığı ve Aralık ayı ortalamasının Ocak ayı ortalamasının yaklaşık iki katı değerinde seyrettiği tespit edilmiştir. Buna göre, binanın ısıtılmasında ısıl ihtiyacın daha kararlı şekilde seyretmesinin, ısıtma sisteminin çalışma performansını önemli ölçüde artırdığı, ayrıca yerden ısıtma sisteminde, bina içerisindeki ısı dağılımının daha homojen olması nedeniyle [19], binanın ısı dağıtım sisteminin, ısıtma ihtiyacının karşılanmasında elde edilen faydaya katkı sağladığı sonucuna varılmıştır. Isıtma-soğutma uygulamalarında, ısıl yüklerin değişkenliği, ısıtıcı-soğutma cihazlarının sık bir şekilde devreye girip çıkmasına neden olmakta ve bu durum ısıtma-soğutma verimlerini olumsuz olarak etkilemektedir [28]. Bu nedenle, ısıtıcı cihazın ve ısı dağıtım sisteminin daha kararlı bir şekilde çalışması, ısıtma sisteminin toplam ısıtma performansını önemli ölçüde arttırmaktadır. Isıtma uygulamasında, sistem verimliliğinin değerlendirilmesinde diğer önemli bir parametre, ısıtıcı cihazın elektrik enerjisi sarfiyatıdır. Şekil 6.'da üç aylık ısıtma periyodu boyunca, ısıtma için harcanan elektrik enerjisi miktarının günlük değişimi grafiksel olarak sunulmuştur.



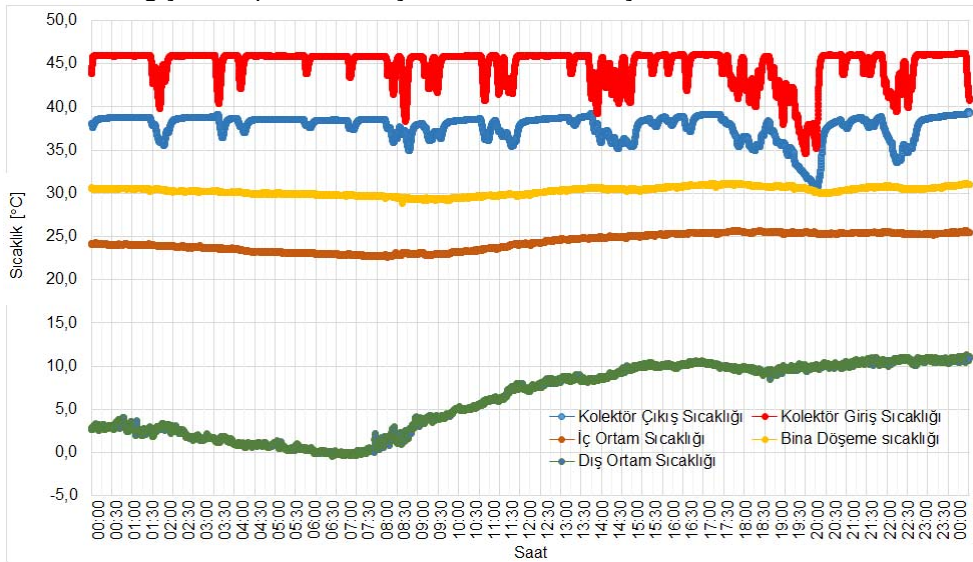
Şekil 6. Isıtma için harcanan elektrik enerjisi miktarının günlük değişimi

Isıtma periyodu boyunca, ısıtma uygulaması için Kasım, Aralık ve Ocak aylarında kombi cihazı tarafından harcanan aylık toplam elektrik enerjisi değerleri sırasıyla 19,9 kWh, 22,6 kWh ve 22,7 kWh olarak tespit edilmiştir. Aynı periyotlarda harcanan elektrik enerjisinin günlük ortalama değeri ise, sırasıyla 0,65 kWh, 0,73 kWh ve 0,73 kWh olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda, binanın ısıtılması için harcanan toplam ısıl enerji miktarı ile bu enerjinin kullanımı için harcanan toplam elektrik enerjisi değeri oranlandığında, 1 kWh ısıtma enerjisi temini için harcanan elektrik enerjisi ortalama değeri

Kasım ayında yaklaşık 0,0089 kWh (8,9 Wh), Aralık ayında 0,0073 kWh (7,3 Wh), Ocak ayında ise 0,0065 kWh (6,5 Wh) olarak hesaplanmıştır. Buna göre, ısıtma sisteminin daha dengeli ve daha kararlı çalıştığı Ocak ayında, birim ısı enerji temini için harcanan elektrik enerjisi günlük ortalamasının en düşük değeri aldığı tespit edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, kombi cihazının ve ısı dağıtım sisteminin daha kararlı ve dengeli çalışmasının, sadece sistemin ısı performansı açısından değil, aynı zamanda elektrik enerjisi kullanımı açısından da önemli tasarruflar sağladığı görülmüştür. Ayrıca ısıtıcı cihazın sahip olduğu akıllı yanma teknolojisi ve ısı dağıtım sistemini besleyen dâhili sirkülasyon sisteminde yer alan sekiz kademeli pompası sayesinde de enerji verimliliğinde artış sağlandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, farklı çalışma şartlarında dahi olsa, elektrik enerjisi tüketiminin oldukça düşük seviyelerde olduğu, daha kararlı ve dengeli çalışma koşullarında ise sağlanan tasarrufun dikkate değer oranda arttığı görülmüştür.

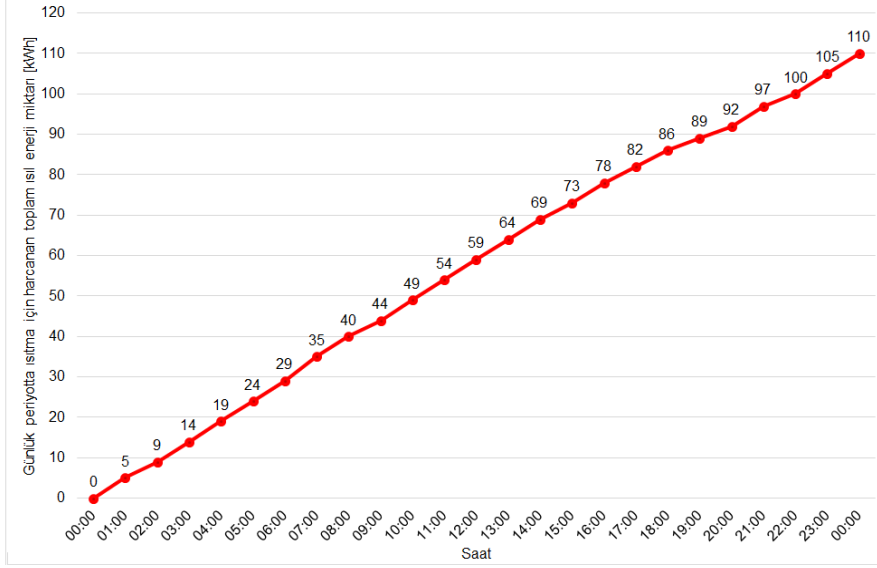
Sistemin ısıtma performansı daha hassas bir şekilde incelemek amacı ile çalışma kapsamında bir günlük çalışma periyodu boyunca ölçümler yapılarak, elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Bu amaçla 26 Ocak günü için 24 saatlik çalışma süresince, harici ölçüm sistemi kullanılarak, dış ortam, iç ortam, ısı dağıtım sistemi giriş-çıkış sıcaklıkları ile yapının döşeme sıcaklıkları ölçülmüş ve ölçülen değerlerin değişimi grafiksel olarak Şekil 7.'de sunulmuştur. Ayrıca, günlük çalışma periyodu boyunca kombi cihazının ısıtma uygulaması için ısı dağıtım sistemine aktardığı toplam ısı enerji miktarının saatlik değişimi dâhili ölçüm sistemi tarafından belirlenerek, elde edilen veriler Şekil 8.'de, aynı ölçüm periyodunda ısıtma uygulaması için kombi cihazı tarafından harcanan toplam elektrik enerjisi sarfiyatının saatlik değişimi tespit edilerek Şekil 9.'da sunulmuştur.



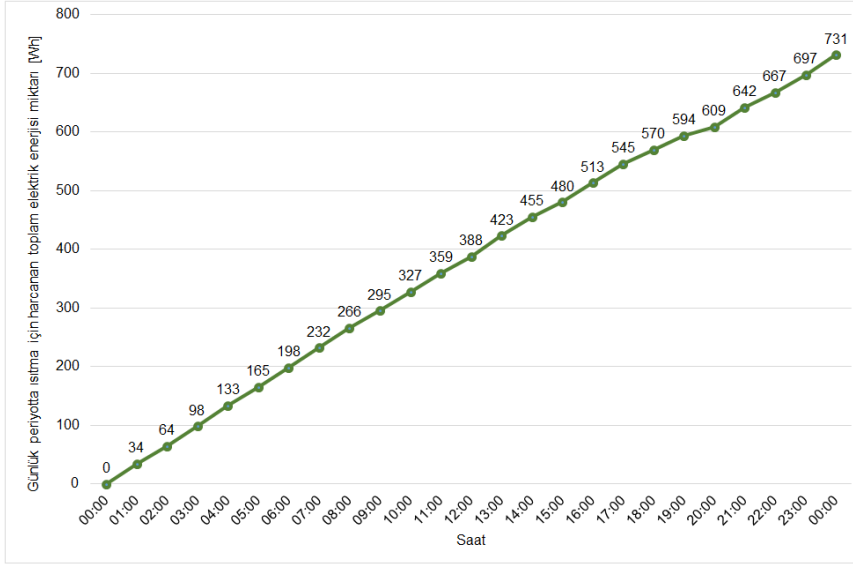
Şekil 7. Günlük ısıtma periyodu için sıcaklık ölçüm değerlerinin değişimi

Günlük ısıtma periyodu için elde edilen veriler incelendiğinde, dış ortam sıcaklığının -0,2 °C ila 11,4°C aralığında değiştiği görülmektedir. Gün boyunca sıcaklık, gün doğumuna yakın saatlerde 0 °C'nin altına düşse de akşam saatlerinde çıkan lodos nedeni ile gün batımı sonrasında düşmek yerine sabit kalma ya da artış eğilimi göstermiştir. Dış ortam sıcaklığının artışı yapının ısıtma ihtiyacının azalması anlamına gelmektedir ancak gün içerisindeki sıcaklık dalgalanması, ısıtma sisteminin ısı performansı için olumsuz bir etmendir. Kombi cihazının ısı dağıtım sistemine gönderdiği enerjinin sıcaklık değerini ifade eden kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları değerinin, dış ortam sıcaklığı düşük de olsa kararlı seyrettiği saatlerde, 45°C – 40°C'lik aralıkta daha kararlı şekilde seyrettiği, lodos nedeni ile sıcaklığın yükselmeye devam ettiği akşam saatlerinde keskin bir düşüş göstererek 35°C – 30°C aralığında gerilediği görülmektedir. Bu değişime rağmen, binanın döşeme sıcaklığının tüm gün boyunca yaklaşık 30°C'lik değerinde kararlı bir şekilde seyrettiği, bununla birlikte bina içerisindeki sıcaklığın 24°C – 25°C aralığında kalarak, bina sakinlerinin ihtiyaç duyduğu ısı konfor şartlarını sorunsuzca karşıladığı görülmektedir. Yerden ısıtma sistemi sayesinde, ısı dağıtım sisteminin büyük bir ısı kütle oluşturması

nedeni ile; gerek dış ortam, gerekse ısı dağıtım sistemi sıcaklığında yaşanan dalgalanmalar üstün bir şekilde tolere edilmekte ve bu durum ısıtma sisteminin ısı performansını olumlu olarak etkilemektedir.

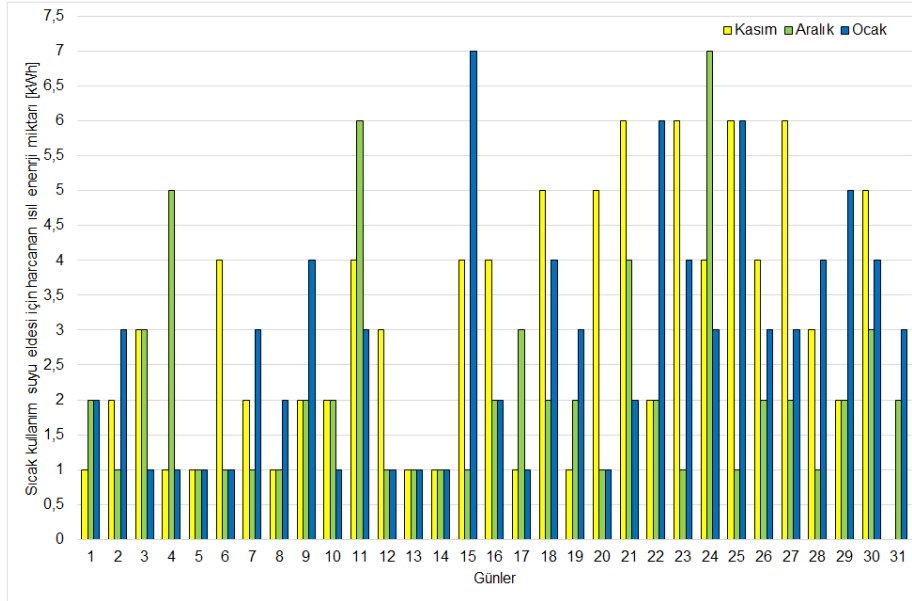


Şekil 8. Günlük ısıtma periyodunda ısıtma için harcanan toplam ısı enerjisi miktarının değişimi



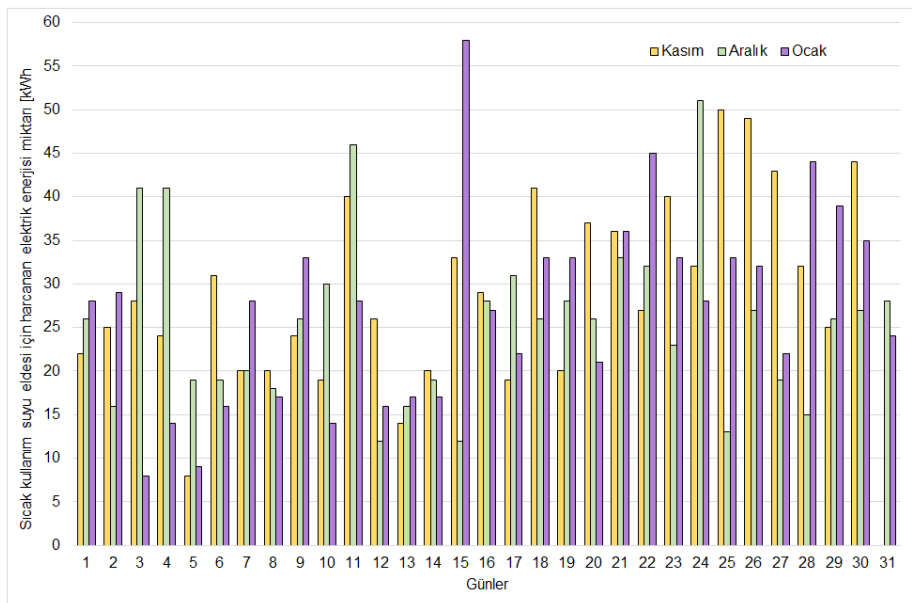
Şekil 9. Günlük ısıtma periyodunda ısıtma için harcanan toplam elektrik enerjisi miktarının değişimi

Günlük ısıtma periyodunda, kombi cihazı tarafından ısıtma uygulaması için harcanan toplam ısı enerjisi miktarı (Şekil 8.) ve bu işlem için harcanan toplam elektrik enerjisi miktarının (Şekil 9.) değişim grafikleri incelendiğinde, sistemin kararlı ve dengeli çalışmasına bağlı olarak, yakıt sarfiyatı ve elektrik enerjisi tüketiminin de benzer şekilde kararlı ve dengeli olduğu görülmektedir. Toplam ısıtma enerjisinin saatlik artış miktarı 3 ilâ 6 kWh değerleri arasında değişmekte, bu değişimin ortalama değeri ise 4,5 kWh olmaktadır. Toplam elektrik enerjisi sarfiyatının saatlik artışı ise 15 ilâ 35 Wh değerleri arasında değişmekte, bu değişimin ortalama değeri ise 30,5 Wh (0,0305 kWh) olmaktadır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, kombi cihazının ve ısı dağıtım sisteminin teknik üstünlükleri ve uyumlu çalışmasının yanı sıra, daha dengeli ve kararlı çalışma şartlarında daha yüksek bir ısı performans sağladıkları ve bu durumun, yakıt ve elektrik sarfiyatı konusunda sağlanan tasarrufu dikkate değer bir şekilde arttırdığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 10. Sıcak kullanım suyu ildesi için harcanan ısı enerjisi miktarının günlük değışimi

Kombi cihazının ısı performansına etki eden diğeri bir parametre de, sıcak kullanım suyu ildesi esnasında sistemin çalışma özellikleridir. Buna göre üç aylık ısıtma periyodu boyunca, kombi cihazı ile sıcak kullanım suyu ildesi için harcanan ısı enerjisi ve elektrik enerjisi tüketim miktarlarının günlük değışimi sırasıyla Şekil 10. ve Şekil 11.'de gösterilmiştir. Buna göre ısıtma periyodu boyunca, sıcak kullanım suyu ildesi için Kasım, Aralık ve Ocak aylarında harcanan toplam ısı enerjisi miktarı sırasıyla 92 kWh, 66 kWh ve 86 kWh, aylık ortalama değeri ise 3,1 kWh, 2,1 kWh ve 2,8 kWh olarak hesaplanmıştır. Sıcak kullanım suyu ildesi için kombi cihazı tarafından harcanan aylık toplam elektrik enerjisi değeri ise Kasım, Aralık ve Ocak ayları için sırasıyla 0,88 kWh, 0,79 kWh ve 0,84 kWh olarak tespit edilmiştir. Aynı periyotlarda harcanan elektrik enerjisinin günlük ortalama değeri ise, tüm aylar için 0,03 kWh (30 Wh) olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda, sıcak kullanım suyu ildesi için kullanılan toplam ısı enerjisi miktarı ile, bu ihtiyacı karşılanmasında 1 kWh ısıtma enerjisi kullanımı için harcanan toplam elektrik enerjisi sarfiyatı değeri oranlandırıldığında, sıcak kullanım suyu hazırlanmasında 1 kWh ısıtma enerjisi kullanımı için harcanan elektrik enerjisi ortalama değeri Kasım ayında yaklaşık 0,0095 kWh (9,5 Wh), Aralık ayında 0,012 kWh (12 Wh), Ocak ayında ise 0,0098 kWh (9,8 Wh) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Sıcak kullanım suyu eldesi için harcanan elektrik enerjisi miktarının günlük değişimi

Kombi cihazının, ısıtma periyodu boyunca binanın ısıtma ihtiyacını karşılarken aynı zamanda sıcak kullanım suyu ihtiyacını da karşılamak durumunda olması, sistemin ısıtma performansı üzerinde etkili olmaktadır. Sıcak kullanım suyu ihtiyacının miktarı ve ihtiyaç sıklığı, atmosferik koşullardan çok konut sakinlerinin yaşamsal faaliyetlerinden etkilenmektedir. Mevsimsel ya da atmosferik koşullar ise şebeke suyu sıcaklığı ve az da olsa, konut sakinlerinin kişisel tercihlerine göre sıcak kullanım suyu miktarı ve sıcaklığını etkileyebilmektedir. Bu noktada, kombi cihazının doğal gazı ve elektrik enerjisini verimli bir şekilde kullanabilmesi adına gelişmiş yanma ve kontrol teknolojilerine sahip olmasının, sıcak kullanım suyu temininde ısıtma sisteminin toplam ısıtma performansını etkileyen en önemli parametre olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ

Çalışmada, örnek bir yapının ısıtılması ve sakinleri için sıcak kullanım suyu ihtiyacının karşılanması için doğal gazlı bir kombi cihazı ile yerden ısıtma sisteminden oluşan bina ısıtma sisteminin ısıtma performansı incelenerek, hem kombi cihazının teknik üstünlüklerinin, hem de yerden ısıtma sisteminin sağladığı avantajların, sistemin toplam ısıtma performansına ve enerji tasarrufuna önemli katkılar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Kombi cihazının akıllı yanma teknolojisi ve daha hassas ve daha verimli sirkülasyon-basınçlandırma sistemi sayesinde, hem yapının ısıtma ihtiyacının karşılanmasında hem de yapı sakinlerinin ihtiyaç duyduğu sıcak kullanım suyunun temininde, dikkate değer oranda ısıtma enerjisi ve elektrik enerjisi tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir. Isı dağıtım sistemi olarak, yerden ısıtma sisteminin kullanımının; yapı sakinleri için ısıtma şartlarının temin edilmesi; mevsimsel ve atmosferik koşullara bağlı dış ortam sıcaklığı değişimlerinde, sıcaklık dalgalanmalarına bağlı oluşan değişken çalışma koşullarını tolere ederek, tüm sistemin ısıtma performansının iyileştirmesi noktasında önemli faydalar sağladığı görülmüştür.

Ülkemizde ekonomik, sosyal ve çevresel alanda yaşanan olumsuzluklarda, dışa bağımlı fosil yakıt kullanımının önemli etkisi olduğu düşünüldüğünde, büyük ölçüde dışa bağımlı, CO₂ salınımına bağlı küresel ısınma olayında olumsuz etkileri olan doğal gazın verimli ve doğru sistem bileşenleri ile kullanımının, sadece ulusal ölçekte değil, aynı zamanda küresel ölçekte de önemli avantajlar ve kazanımlar sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesindeki değerli katkılarından ötürü Yalova - Güneyköyü Muhtarlığı'na teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- [1] McDONNELL C., REMPEL A., JOYEETA G. J., "Climate action or distraction? Exploring investor initiatives and implications for unextractable fossil fuels", Energy Research & Social Science, Volume 92, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102769>
- [2] HENNING H.M. "Solar-assisted air-conditioning in buildings – A handbook for planners", Springer Wien New York, 136 pp., 2007.

- [3] SEN D., GÜNAY M.E., TUNÇ K.M, "Forecasting annual natural gas consumption using socio-economic indicators for making future policies" Energy, Volume 173, Pages 1106-1118. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.130>.
- [4] MALZİ M.J., SOHAG K., VASBİEVA D.G., ETTAHİR A., "Environmental policy effectiveness on residential natural gas use in OECD countries", Resources Policy, Volume 66, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101651>.
- [5] DESVALLÉES L, "Low-carbon retrofits in social housing: Energy efficiency, multidimensional energy poverty, and domestic comfort strategies in southern Europe", Energy Research & Social Science, Volume 85, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102413>.
- [6] PERDANA S., VIELLE M., SCHENCKERY M., "European Economic impacts of cutting energy imports from Russia: A computable general equilibrium analysis", Energy Strategy Reviews, Volume 44, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101006>.
- [7] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi, Doğalgaz verileri, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz>, Erişim Tarihi: 25.01.2023
- [8] ARSLAN E., SOLAK A., "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İthalat Üzerindeki Etkisi" Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, Yıl 9, Cilt:10, Sayı:17, 2019. <https://doi.org/10.26466/opus.521269>.
- [9] SARITAŞ H., GENÇ A., AVCI T., "Türkiye'de Enerji İthalatı, Cari Açık Ve Büyüme İlişkisi: Var Ve Granger Nedensellik Analizi", Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt 14, Yıl 14, Sayı 2, 2018.
- [10] ANONİM 2019 a., "Doğal Gaz İç Tesisat Uygulama Esasları", TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:MMO 575, ss 264, İstanbul, 2019.
- [11] ANONİM 2001., "Binalarda Isı Yalıtım Proje Hazırlama Esasları", TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:MMO 247, ss 60, Ankara, 2001
- [12] ÖNDER D., "Sanayide Ve Konutlarda Doğalgaz Seminer Kitabı", VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Kapsamında TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:MMO 438, İzmir, 2007.
- [13] ANONİM 1995, "Konut Tesisatı İşletmecileri İçin Doğal Gaz El Kitabı", TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:MMO 174, Ankara, 1995
- [14] GENCELİ O.F., PARMAKSIZOĞLU C., "Kalorifer Tesisatı", TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No:MMO 352/4, ss 410, 2007.
- [15] YÜKSEK İ., MIHLAYANLAR E., TIKANSAK T. E., "Konut Kullanıcılarının İç Ortam Konfor Koşullarından Memnuniyetlerinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma", 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 8-11 Nisan 2015, İzmir.
- [16] ÖZ M.E.U., "Konutlarda Enerji Kullanım Eğilimleri ve Tüketimin Çevre Faktörleri ile İlişkisi, Bursa Örneği ", X. ULUSAL TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ KONGRESİ – 13/16 NİSAN 2011, İzmir.
- [17] GÜĞÜL G.N., KÖKSAL M.A., "Müstakil bir konutun enerji tüketiminin azaltılmasında kullanılan yöntemlerinin ekonomik değerlendirmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Yıl 2019, Cilt 34, Sayı 1, 215 - 234, <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416483>.
- [18] ERTÜR U.F., "Yoğuşmalı Kombi Teknolojisinin Çevresel Ve Ekonomik Kazanımları ve Yeni Hedefler", Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, ss. 188, Edirne, 2010.
- [19] KÜÇÜKÇALI N., "Isıtma Tesisatı", Isısan Çalışmaları, No: 265, ss. 568, 2000.
- [20] T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yalova İl Müdürlüğü Haber Potalı, <https://yalova.csb.gov.tr/yogusmali-olmayan-kombilere-dikkat-haber-232630>, Erişim Tarihi: 25.01.2023
- [21] ŞAHİN K., "Duvar Tipi Yoğuşmalı Isıtıcı Cihazların Verimleri, Ekonomikliği ve Tesisat Uygulamaları" TMMOB Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 1. Doğalgaz Günleri, 2002. Bildiriler Kitabı, Sayfa: 61-77, MMO Yayın No: MMO E/2002/312-1
- [22] ANONİM 2008. Türk Standartları Enstitüsü TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları, 2008.
- [23] ANONİM 2023a., Prefabrik Karkaslı Yapı Teknik Özellikleri, <https://www.karmod.com/prefabrik-ev-teknik-ozellikler/>, Erişim Tarihi: 25.01.2023.
- [24] ANONİM 2023b., Doğalgazlı Yoğuşmalı Kombi Cihazı Teknik Özellikleri, <https://www.vaillant.com.tr/pdf/ecotec-plus-brosur-2157884.pdf>, Erişim Tarihi: 25.01.2023.
- [25] ANONİM 2023c., The Weather Channel Meteorolojik Veri Arşivi – Güneyköy, Yalova, Türkiye, <https://weather.com/weather/monthly//6ca8c85d57f67e10248d8dbf9b60f2ef06496875054c77ad984de5d51810dff9>, Erişim Tarihi:01.02.2023
- [26] ANONİM 2023d., Çok Kanallı Veri Ölçüm Cihazı, https://www.hioki.com/global/products/multichannel-data-loggers/multichannel/id_5846. Erişim Tarihi: 25.01.2023.



- [27] MOFFAT, R.J., “Describing the uncertainties in experimental results”. Experimental Thermal and Fluid Science, 1: 3–17. 1988.
- [28] PASTAKKAYA B., “Bir Konutun Isıtılması ve Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorbsiyonlu Sistemlerin Kullanımı”, U.Ü. Fen Bil. En. Doktora Tezi, 198 s., 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Bilsay PASTAKKAYA

1982 yılında Bursa’da dünyaya geldi. Uludağ Üniversitesi Müh.Mim.Fak. Makine Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda 2005 yılında Yüksek Lisans, 2012 yılında Doktora eğitimini tamamladı. 2010 yılında Güney Florida Üniversitesi, 2015 yılında Nottingham Üniversitesinde, misafir araştırmacı olarak görev aldı. 2005 yılından beri Bursa Uludağ Üniversitesi Orhangazi YAÇ MYO Makine Programında, Dr. Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta, Enerji ve Ekoloji alanında ulusal ve küresel ölçekli çalışmalarını sürdürmektedir.

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISITMA SİSTEMLERİN F- GRAFİK YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Analysis of Solar Energy Assisted Heating Systems by f-chart method

Hourieh Bayramian
Hüseyin Günerhan
Deniz Yıldırım Yalçınkaya

ÖZET

Güneş enerjisi destekli ısıtma sistemlerinin uygun tasarımı ve boyutlandırılması, özellikle büyük sistemlerde kullanıcıya maksimum fayda sağlamak için önemlidir. Güneş enerjili sistemlerinin tasarımı tahmin edilemez hava durumu şartlarından dolayı karmaşık bir problem haline gelmektedir. Bu doğrultuda, istenilen güneş enerjili ısıtma sisteminin performansını modellemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi f-grafik yöntemidir. Bu çalışmada güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan toplam ısıtma yükü oranının, hesaplama kolaylığı ve basitliği nedeniyle sıvılı güneş enerjisi ısıtma sistemlerinin tasarımında, f-grafik yönteminin kullanımı analiz edilmiştir. Bu yöntem hem aktif hem de pasif güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, özellikle sıcak su ve ısıtma yüklerini sağlayan güneş kolektörlerinin boyutlarının ve tipinin seçiminde kullanılmaktadır. Çalışmada Muğla ilinde bir binanın sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi uygulamasıyla karşılanması incelenmiştir. Enerji analizi ve güneşten faydalanma oranı teorik olarak gerçekleştirilmiştir ve kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi ısıtma sistemi, F-Grafik yöntemi, Güneşten faydalanma oranı, Enerji.

ABSTRACT

Proper design and select size of solar assisted heating systems is important to provide maximum benefit to the user, especially in large systems. The design of solar systems is a complex problem due to inestimable weather data components. Several design methods are available for the performance of the desired solar heating system. The most important of these methods is the f-chart method. This work analyzes the use of the f-chart method in designing liquid solar heating systems due to its simplicity and ability to estimate the fraction of total heating load supplied by solar heating system. This method can be used in the design of both active and passive solar energy systems, especially for the select size and type of solar collectors that provide hot water and heating loads. For this purpose, in this study, it was examined to meet the hot water need of a building in Mugla province with the application of solar energy supported heating system. The energy analysis and the rate of utilization of the sun were theoretically carried out and the change in the annual utilization rate according to the collector area was given.

Keywords: Solar-assisted heating system, The f-chart method, Solar contribution rate, Energy.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, ısı sistemlerinde, konut ısıtılmasında, endüstriyel prosedürlerde, kullanım sıcak su ve buhar temini gibi çeşitli ısıtma işlemlerinde yüksek bir payı vardır. Güneş enerjisi sistemleri güneş enerjisini faydalı enerjiye (ısı veya elektrik enerjisine) dönüştürür ve bu sistemler pasif veya aktif sistemler olabilir. Aktif sistemlerde pompa, fan veya otomatik sistemler gibi ek mekanizmalara ihtiyaç gerekirken, pasif sistemlerde güneş ışınları dışında herhangi bir enerjiye gerek yoktur [1]. Güneş enerjili ısıtma sistemleri yüksek verimlilikleri ve işletme giderleri açısından ekonomik olmaları, küresel ısınma açısından ekolojik sisteme zarar vermeyen çevre dostu olmaları ve ozon tabakasına zarar vermeyen sistemler olarak alternatif sistemlere göre daha avantajlıdır. Güneş enerjisi destekli su ısıtma sistemlerinin uygun tasarımı ve boyutlandırılması, özellikle büyük sistemlerde kullanıcıya maksimum fayda sağlamak için önemlidir. Bu sistemlerde kullanılacak optimum kolektör alanının belirlenebilmesi için oldukça zaman alıcı işlemler gerekmektedir. Bu amaç için, istenilen güneş enerjili ısıtma sistemini modellemek için ayrıntılı bilgisayar simülasyonlar geliştirilmiştir ve sistem üzerinde uzun süreli deneyler yapılmış ve çeşitli formüller türetilmiştir. Bu simülasyonlar sistemin değişik iklim şartlarındaki (güneş ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı, vb.) performansını ve sistemin istenilen amaç için düzgün olarak tasarlanmasını (kolektör ve diğer elemanların performans özellikleri) dikkate almaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. En doğru sonuç veren ve karmaşık simülasyon yazılımı TRNSYS'dir [2-3-4]. TRNSYS yazılımı çok iyi bir analiz programı olmasına rağmen üç nedenden dolayı tasarım amacıyla çok kullanışlı değildir. İlk olarak, yazılımı simüle edilmiş yerde kullanmak için meteorolojik değerlere ve deneyime ihtiyaç duymasındır. İkinci neden, tüm tasarımcıların bilgisayarları ve yazılımlarının olmaması, üçüncü neden ise iterasyon gerektiren optimizasyon problemlerinin çözümü gibi çalışmaların yüksek maliyetleridir. Simülasyonlar standart dışı ve büyük sistemler için kullanışlı bir tasarım aracı olabilir, ancak detaylı simülasyon maliyetleri oldukça yüksektir [5]. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin geniş bir alanda yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile, güneş enerjisini etkili kullanan ve ekonomik olarak optimum sonuçları veren bir sadeleştirilmiş tasarım prosedürüne ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en önemlisi f-grafik yöntemidir. F-grafik yöntemi TRNSYS yazılımını kullanarak çok sayıda detaylı simülasyonlardan oluşturulmuştur. TRNSYS simülasyonu ve f-grafik sonuçları arasındaki standart hata yaklaşık 0,025 değerindedir ve f-grafik değerleri deney sonuçlarından 0,01 ile 0,05 arasında daha düşük bulunmuştur [6]. F-grafik yöntemi, özellikle sıvı veya hava akışkanlı konut ısıtma ve sıcak su temin eden sistemler için, yapının toplam ısı ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması oranının belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem BECKMAN ve diğerleri [7,8] tarafından tarif edilmiş ve KLEIN, BECKMAN [2] tarafından geliştirilmiştir. Çalışmalarda, sistemin aylık performansını iki boyutsuz değişkene (X ve Y) bağlı olarak grafikler halinde elde edilmiştir. Yöntemde hesaplama kolaylığı sağlamak ve grafiğe bağımlılıktan kurtarmak için X ve Y arasında bir bağıntı oluşturulmuştur ve belirli bir aralıkta f değeri tanımlanmıştır. Güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin ısı performansını, meteorolojik değerlerini ve konut maliyeti kullanarak kolayca belirlenebilir ve böylece güneş enerjili konut ısıtma sistemlerinin tasarımı maliyet açısından optimize edilir. F-grafik yöntemi kullanılırken bazı kabuller ve uyulması gereken sınırlar olmalıdır:

1. Günler güneş öğlesine göre simetrik kabul edilir.
2. Sıvılı sistemlerde ısı depo ve ön ısıtma tanklarının içindeki sıvı çok iyi karışmış olmalı ve tanklarda herhangi bir tabakalaşma olmadığı kabul edilir.
3. Su ısıtma sistemlerinde ayar sıcaklığının altındaki değerlerde, suyun enerjisinin kullanılabilir olmadığı kabul edilmiştir.
4. Su ısıtma sistemlerinde günlük sıcak su ihtiyacının dağılımının sabit olduğu kabul edilir.
5. Ön ısıtma tankının iyi şekilde yalıtılmış olduğu kabul edilir.
6. Sistemde kullanım süresince kötüleşme ve kaçak olmadığı kabul edilmiştir.
7. Sistemin düzgün olarak monte edildiği ve akış dağılımının düzgün olduğu varsayılmaktadır [8].

Literatüre bakıldığında, Öztürk ve Kılıç [9], aylık ortalama meteorolojik verilere bağlı olarak kolektör alanı ve ısı yük oranı ile güneş enerjisinden faydalanma oranı arasında bir bağlantı kurarak optimum kolektör alanını hesaplamışlardır. Klein, Beckman ve Duffie [10], evler için ortam ısıtma ve sıcak su sistemlerinin tasarımı ve bu sistemlerin uzun süreli ısı performansını ifade eden bir simülasyon modelini açıklamışlardır. Simülasyon model ile uzun süreli performans elde etmek için gerekli meteorolojik veriler araştırılarak birçok simülasyonda elde edilen bilgiler güneş ısıtma sistemleri için genel tasarım işlemi geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ünsal [11], f-grafik yöntemindeki hesap işlemlerinin

kısaltması açısından dört tip güneş kolektörü için yutma geçirme sayısının aylık ortalama değerlerini veren tablolar hazırlamıştır. Bu çalışmada Muğla ilinde bir binanın sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi uygulamasıyla karşılanması incelenmiştir. Öncelikle Muğla ili için meteorolojik veriler ile güneş ışınımı ve binanın sıcak su ısı yük değerleri hesaplanmıştır. Su dolaşımını bir aktif güneş enerjili ısıtma sistemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında f-grafik yöntemini kullanarak, aylık güneşten faydalanma oranlarının değişimi ve toplam kolektör alanına göre faydalanma oranının değişiminin grafikleri verilmiştir.

2. F-GRAFİK YÖNTEMİ

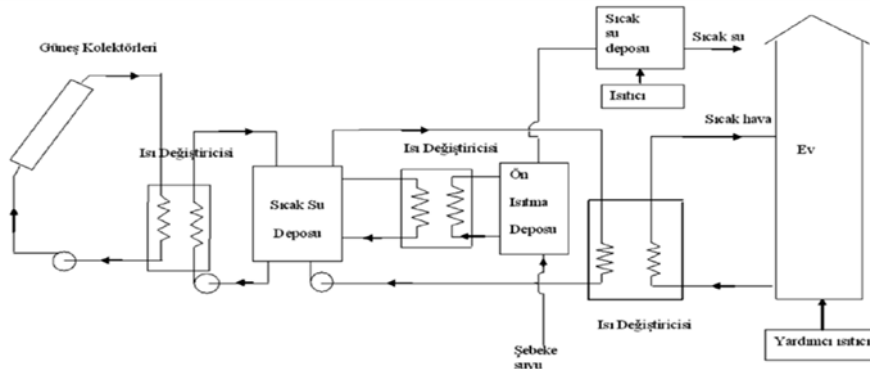
Güneş enerjisi destekli aktif sıcak su ve ısıtma sistemlerinin projelendirmesinde farklı yöntemler izlenebilir. Planlamada dikkat etmemiz gerekenlerden, enerji ihtiyacının güneşten karşılanma oranı 1,00 olmayacağı gibi bu oran 0,1 değerinin altında da olmamasıdır. F-grafik yöntemi aktif ısıtma sistemlerinde aktarılan enerjinin minimum sıcaklığı 20 °C ye yakın olduğu yerlerde, güneş enerjisi ile sağlanacak olan toplam ısıtma yükünün belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir (çalışma akışkanı sıvı veya hava kullanılabilir). F-grafik yönteminde, aylık ısı ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma oranı, iki boyutsuz değişkenle, X, Y (sırasıyla, ay boyunca referans güneş kolektörden enerji kaybının aylık toplam ısıtma yüküne oranı, ay boyunca güneş kolektöründe yutulan enerjinin aylık toplam ısıtma yüküne oranı) tanımlanmaktadır [12]. Bu yöntemde, kolektör alanı, depolama kapasitesi, kolektör tipi, ısı yükü ve kolektör ısı değiştirici boyutu önemli tasarım parametrelerdir. Sıvılı sistemlerde genellikle su kullanılır, çünkü su hem ucuz ve toksit içermeyen hem de ağırlık ve hacminden dolayı yüksek depolama kapasitesine sahiptir [3]. F-grafik yöntemi ile, uygulanabileceği standart bir konut ısıtma su akışkanlı sisteminin tasarımı şekil 1' de görülmektedir [2]. Soğuk iklimlerde kullanılan güneş enerjili sistemler için, ikincil sıvı olarak antifriz çözücüsü kullanmak gerekmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, güneş enerjisi, ısı değiştirici aracılığıyla taze suyu ısıtır. Dolaşan taze su, ikinci ısı değiştiricisinde evsel kullanım için gerekli birincil suyu ısıtır. İkinci ısı değiştiricisi-kolektör döngüsü, antifriz çözeltisi ile başlangıç suyundaki kirliliği en aza indirmektedir. Ön ısıtılmalı depo, mevcut enerjisini depolar veya güneş ile ısıtılan suyun daha sonra kullanılmasını sağlamak amacıyla kazana gönderir (Kazan, sıvı yakıtlı bir ısıtıcıya sahiptir).

Güneş enerjili destekli konut ısıtma sistemlerinin enerji dengesi (1) denklemi ile belirlenebilir;

$$\Delta U = Q_T - L + E \quad (1)$$

ΔU ısı depodaki suyun iç enerjisindeki değişimi, Q_T ay boyunca güneşten elde edilen kullanılabilir enerji, L ısıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü ve E ay boyunca gerekli ek enerji ihtiyacıdır. Kullanılan ısı depolarını dikkate alındığında ΔU değerinin büyüklüğü Q_T , L ve E 'nin büyüklükleri yanında ihmal edilebilir miktardır. (1) eşitliğinde $\Delta U \approx 0$ yazılırsa;

$$Q_T = L - E \quad (2)$$



Şekil 1. Güneş enerjili su akışkanlı konut ısıtma sistemi [2].

f değeri aylık toplam ısı ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanan oranıdır [13];

$$f = \frac{Q_T}{L} = \frac{L-E}{L} \quad (3)$$

Burada Q_T değeri çevre sıcaklığı, kolektöre gelen güneş ışınımı şiddeti ve ısı yüklerinin karmaşık bir fonksiyonudur. Bu yüzden f değeri denklem (3) ile doğrudan hesaplanamaz. f değerinin bulunması için 2 adet ampirik boyutsuz sayı kullanılır.

$$X = \frac{AU_L F'_R (T_{Ref} - \bar{T}_a) \Delta t}{L} \quad (4)$$

$$Y = \frac{AF'_R (\bar{\tau}\alpha) \bar{H}_T N}{L} \quad (5)$$

X boyutsuz sayısının fiziksel anlamı ay boyunca referans güneş kolektörden enerji kaybının aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. Y boyutsuz sayısı ise ay boyunca güneş kolektöründe yutulan enerjinin aylık toplam ısıtma yüküne oranıdır. Hesaplama kolaylığı sağlamak için, denklem (4) ve (5) deki X ve Y boyutsuz parametreleri sırasıyla denklem (6) ve (7) şeklinde yazılabilir.

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{Ref} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A}{L} \quad (6)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F'_R (\bar{\tau}\alpha)}{F_R (\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A}{L} \quad (7)$$

$F_R U_L$ ve $F_R (\tau\alpha)_n$ değerleri kolektörün test sonuçlarından elde edilen değerlerden bulunur. F'_R/F_R düzeltme faktörü, kolektör ve depo arasındaki sıcaklık düşüşlerinden kaynaklanır. Hesaplama yöntemi kaynak [13] ve [14] de mevcuttur.

$\bar{\tau}\alpha / (\tau\alpha)_n$ oranı kaynak [14] deki yöntemle hesaplanmıştır.

A = Güneş kolektörünün toplam alanı (m^2)

F'_R = kolektör- ısı değiştiricisi verim faktörü (%)

F_R = kolektör ısı kazanç faktörü (%)

U_L = kolektörün toplam ısı kayıp katsayısı ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Kolektörün üst, taban ve yanlardan olan ısı kayıplarının toplamıdır.

Δt = Bir aydaki toplam zaman

L = Isıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü (GJ)

N = Bir aydaki gün sayısı (adet)

$(\tau\alpha)_n$ = Güneş ışınlarının yutma ve geçirme katsayısı çarpımı (%)

Kolektör cam örtüsünün yutma ve geçirme katsayısının birleşik etkisini gösterir. Bu çarpım kolektör yönüne, malzemeye ve $\tau\alpha$ değerine bağlıdır.

T_{ref} = Deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklığı ($100 \text{ }^\circ C$)

$\bar{\tau}\alpha$ = Aylık ortalama yutma ve geçirme katsayılarının çarpımı (%)

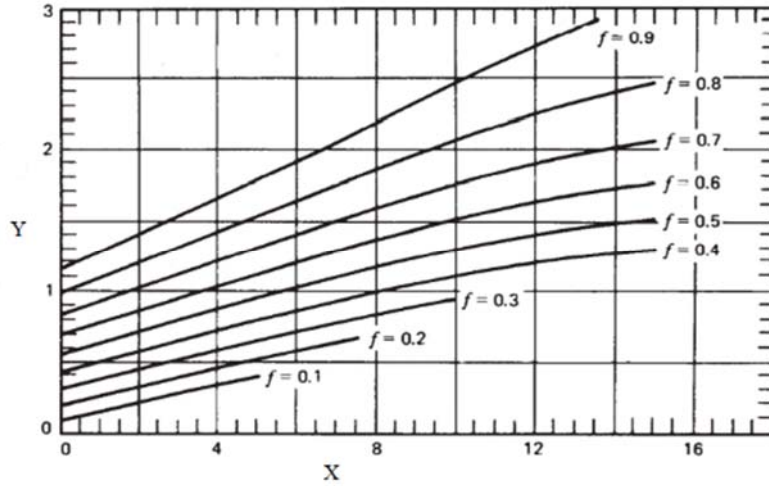
\bar{T}_a = Aylık ortalama çevre sıcaklığı ($^\circ C$)

\bar{H}_T = kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı miktarı (MJ/m^2) [15].

X ve Y boyutsuz sayılarının denklemleri farklı konumlarda, yapılan kapsamlı sistem tasarımlarına dayanan yüzlerce detaylı bilgisayar simülasyonundan elde edilmiştir. Şekil 2'de sıvı akışkanlı sistemin aylık ısıtma yüküne güneş enerjisinin katkısı f 'nin X ve Y değişkenlerine bağlı grafiği görülmektedir. Grafikte X ve Y 'nin kesiştiği nokta f değerini göstermektedir. Örnek olarak X = 8 ve Y = 1 için şekil üzerinde kesişim noktası f = 0,41 bulunur. f değeri denklem (8) ile hesaplanabilir [8].

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (8)$$

$$0 < X < 18 \text{ ve } 0 < Y < 3$$



Şekil 2. Sıvı akışkanlı sistem için f-grafik eğrileri [13].

2.1. Derece- Gün Yöntemi

Denklem (8) in doğası gereği, şekil 2'deki eğrilerle gösterilen aralıkların dışında kullanılmamalıdır. Eğer bir nokta bu aralığın dışında kalırsa, tatmin edici bir sonuç için ekstrapolasyon grafik kullanılabilir [14]. Kolaylık sağlamak için, sistemin aylık ortalama ısıtma yükünün hesaplamasında Derece-gün yöntemi kullanılır. Belirli bir süre boyunca enerji ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan en basit yöntem Derece-gün yöntemidir. Bu yöntemi sürekli rejimde yöntemdir ve hesaplamalar bilgisayar kullanmadan kolaylıkla elle yapılabilir (denklem 9). Burada bir adet meteorolojik değer gereklidir, bu nedenle derece gün yöntemi tek ölçülü (Single Measure) yöntem olarak da adlandırılabilir [8].

$$L_s = (UA)_h \cdot DD \quad (9)$$

Burada L_s gerekli ısıtma yükü ve $(UA)_h$ yapının toplam özgül ısı kayıp katsayısıdır.

2.2. Sıcak Su İhtiyacının Belirlenmesi

Binaların sıcak su ihtiyacını belirlemek konutta yaşayanların yaşam tarzına bağlıdır. Aylık sıcak su için gerekli ısıtma yükü denklem (10) den hesaplanabilir [13].

$$L_w = N \cdot n \cdot V \cdot 100 \cdot (T_w - T_m) \cdot \rho \cdot C_p \quad (10)$$

Burada 100 sabiti kişi başı günlük ortalama sıcak su ihtiyacını göstermektedir ve konutta yaşayanların isteğine göre değiştirilebilir. T_w sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklık ise Beckman ve diğerleri [13] tarafından 60 °C olarak önerilmektedir, bu sıcaklık kaza durumunda insan sağlığını ciddi şekilde etkileyeceği için ve sıcak suyun iletimi sırasındaki ısı kayıplarını düşürmek için 40-50 °C aralığında daha uygun olacaktır. T_m soğuk su sıcaklığı ise hesap yapılan aydaki ortalama şebeke suyu sıcaklığı alınabilir [8].

N: Hesap yapılan ayın gün sayısı (gün)

n: Konuttaki yaşayan kişi sayısı

T_w : Sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklığı (°C)

V: Hesap yapılan dönemde kullanılan sıcak su miktarı (m³)

T_m : Şebeke suyu sıcaklığının aylık ortalaması (°C)

ρ : Yoğunluk (kg/m³)

C_p : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

Aylık sıcak su ve hacim ısıtması için gerekli ısıtma yükü (L), gerekli ısıtma yükü (L_s) ve gerekli sıcak su yükünün (L_w) toplamıdır [13]:

$$L = L_s + L_w \quad (11)$$

2.3. Eğik Kolektör Yüzeyine Gelen Aylık Ortalama Güneş Işınımının Belirlenmesi

İhtiyaç olan ısı miktarı belirlendikten sonra güneş ışınım değerleri dikkate alınarak uygun kolektör yüzey alanı belirlenir. Bu amaç için, kolektör yüzeyine gelen aylık ortalama güneş ışınımının belirlenmesi gerekmektedir [16].

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta)} \quad (12)$$

\bar{R}_b : Aylık ortalama direkt ışınım eğim faktörü,

\bar{K}_T : Aylık ortalama saydamlık indeksi,

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad (13)$$

$\omega_s \leq 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,391 - 3,560\bar{K}_T + 4,189\bar{K}_T^2 - 2,137\bar{K}_T^3 \quad (14)$$

$\omega_s > 81,4^\circ$ ve $0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8$ için,

$$\frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} = 1,311 - 3,022\bar{K}_T + 3,427\bar{K}_T^2 - 1,821\bar{K}_T^3 \quad (15)$$

\bar{R} : Aylık ortalama toplam ışınım eğim faktörü aşağıdaki denklem ile hesaplanır;

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_t}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}}\right) \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + \rho_G \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (16)$$

ρ_G : Yeryüzü aklık derecesi [0,2]

\bar{H}_t : Kolektör birim yüzeyine gelen aylık ortalama ışınım,

$$\bar{H}_t = \bar{R} \times \bar{H} \quad (17)$$

F-grafik yönteminde, sistem performansı f değeri, güneş enerjisinden aylık faydalanma oranı ile değerlendirilir. Hesaplamalar her ay için tekrarlanır. Güneş enerjisinden yıllık faydalanma oranı F, aylık faydalanma oranı f_i ile aylık gerekli ısı yükün L_i çarpımının ve yıllık ısı yükü L' nin oranıdır (denklem 18).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} f_i L_i}{\sum_{i=1}^{12} L_i} \quad (18)$$

f değerinin fiziksel anlamı, güneş enerjisinin aylık ısıtma yükü katkılarının toplamının yıllık toplam enerji yüküne oranıdır. Ancak bu eşitliğin doğru sonuç verebilmesi için kullanılan verilerle ilgili bazı sınırlamalara uymak gerekmektedir. Bu sınırlamalar tablo 1' de belirtilmektedir.

Boysuz gruplar F_{RUL} ve $F_R(\tau\alpha)_n$ kolektör deneyleri sonucunda çizilen verim eğrisinden bulunur. F_{RUL} , tek ve çift cam örtü için sırasıyla $4,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ ve $2,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$ değerinde alınabilir. $F_R(\tau\alpha)_n$ 0,70 alınabilir. F_R/F oranı, kolektör ve depo arasındaki sıcaklık düşüşleri için düzeltme faktörüdür. Bu değer ısı değiştirici verimi göz önüne alınarak hesaplanabilir. Bu oran iyi tasarlanmış bir sistem için yaklaşık olarak 0,95 değerinde alınabilir ve $\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ tek cam örtülü güneş kolektörlerinde tüm aylar için 0,95 olarak alınabilir [17,6].

Tablo1. Güneş enerjisinin aylık ısıtma yükü katkısında kullanılan verilerle ilgili bazı sınırlamalar [10].

Parametre	Aralık
$(\tau\alpha)_h$	0,6-0,9
$F'_R A$	5-120 m ²
U_L	2,1-8,3 W/m ² °C
β (kolektör eğimi)	30-90°
$(UA)_h$	83-667 W/°C

2.4. F-Grafik Yöntemin Düzeltme Katsayıları

F-grafik yöntemi geliştirilirken kolektör birim alanından geçen akışkan debisi, kolektör birim alanı başına ısı depo kapasitesi ve terminal ısı değiştiricinin terminal yüke bağlı büyüklüğü parametreleri üç önemli tasarım özelliklerindedir. Bu parametreler sabit tutularak çalışmalar yapılmaktadır. Sistemin uzun vadeli performansında bu tasarım parametrelerinin değişimini dikkate alınmak ve gerektiğinde düzeltmeler yapılmak önemli hale gelmektedir [13].

Kolektörün sıvı akışkan debisinin optimum değeri sonsuz büyük değerdedir. Buna karşın sistem performansı ile kolektörün akışkan debisi arasındaki ilişki asimptotiktir. Dolayısıyla, akışkanın ısı depo kapasitesinin kolektör birim alanı başına 50 W/k değerinin üzerine çıktığında ve antifrizli sıvı akışkan için yaklaşık 0,015 litre/s.m² değerine karşılık geldiğinde, F_R değerindeki küçük bir artış akışkana geçen debiyi az miktarda arttıracaktır. Akışkan debisinin düşük değerlerinde F_R (ya da F'_R) değerindeki düşüş akışkana geçen enerjideki azalmayla belirlenmektedir. F-grafik yönteminde yapılan korelasyonlar birim kolektör alanı başına gelen akışkan debisi 0,015 litre/s antifrizli su akışkanı kullanılarak elde edilmiştir. Debinin değişimi F_R değerini değiştirmekte ve bu da X ve Y ' nin değişimine neden olmaktadır. Kolektörün sıvı akışkan debisindeki değişiklik genellikle sistem performansı üzerinde küçük bir etkisi olduğu için akışkanlı sistemler için f-grafik yönteminde verilen bağlantılar tüm akışkan debileri için kullanılabilir (hava akışkanlı sistemlerde düzeltme faktörü olarak hava debisi kullanılmaktadır) [13,8].

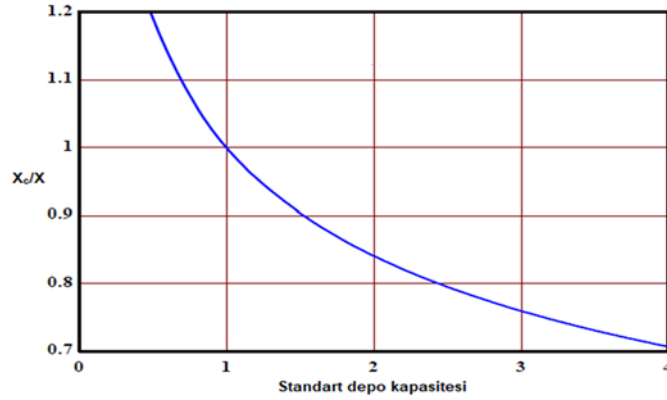
2.4.2. Isıl Depo Kapasitesi

Isıl depo kapasitesinin uzun sürede sistem performansı üzerindeki etkisini belirlemek için çok sayıda bilgisayar simülasyonu yapılmıştır. Yıllık sistem performansı birim kolektör alanı başına depo kapasitesinin 50 litre üzerindeki değerleri için ufak bir değişim göstermektedir. Dolayısıyla, ısı depo maliyet açısından kolektör birim alanı başına 50-100 litre aralığında seçilmesinde en iyi sonuç görülmüştür. F-grafik yönteminde kolektörün, bir metre kare kolektör alanı başına 0,075 m³ (75 L) su depolama sığasına sahip olduğu kabul edilmiştir. Depolama sığası 3,75 L/m² ile 300 L/m² arasında değişirken, gerçek (kullanılan) depo sığası/standart depo sığası oranı 0,5 değerinden büyük ve 4,0 değerinden küçükse, depo düzeltme faktörü X_c/X , aşağıdaki denklem den hesaplanır. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X boyutsuz sayısının eski değerinin düzeltme faktörü ile çarpılmasıyla bulunur (şekil 3) [13,8].

M kolektör alanı başına ısı depo kapasitesi alınırsa;

$$\text{Isıl depo kapasitesi düzeltme faktörü} = \frac{X_c}{X} = \left(\frac{M}{75}\right)^{-0,25} \quad (19)$$

$$\text{Ve} \quad 0,5 \leq \frac{M}{75} \leq 4,0$$



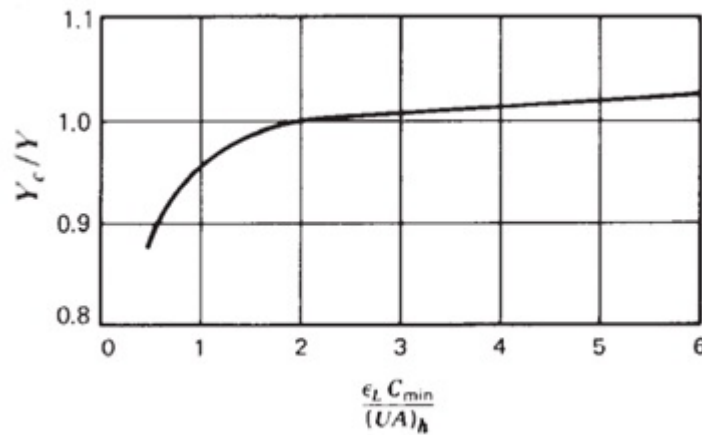
Şekil 3. Isıl depo kapasitesi düzeltme faktörü. Standart depo kapasitesi 75 litre/m² [14,5].

2.4.3. Terminal Isı Değiştirici Boyutu

Güneş enerjili ısıtma sistemlerinin performansını etkileyen önemli parametrelerden biri terminal ısı değiştirici boyutudur. Eğer ısı değiştiricinin boyutları küçük seçilirse aynı miktarda ısıyı sağlamak için ısı depo sıcaklığı yüksek olmalıdır ve bunun sonucu olarak kolektöre giren akışkanın sıcaklığı artacak ve kolektör verimini düşürecektir. Belirli bir bina için gereken ısı değiştiricisinin boyutunun ölçüsü, boyutsuz bir parametre ile $\frac{\epsilon_L C_{min}}{(UA)_h}$ belirlenecektir. Burada ϵ_L ısı değiştiricisi etkinlik katsayısı ve C_{min} en küçük ısı kapasite debisi (genellikle havanın değeri alınır) ve $(UA)_h$ toplam enerji kayıp katsayısıdır. Isıl açıdan bu değer optimum değeri büyük bir değerdedir. Ama sistemin performansı bu değer ile asimptotik olarak ilişkisi vardır. Isı değiştiricisi seçiminde maliyet faktörleri hesaba katıldığında en ekonomik boyutsuz sayısının değeri 1-3 arasındadır. F-grafik yöntemi kullanırken bu boyutsuz sayı 2 olarak göz önüne alınmaktadır. Bu boyutsuz sayının diğer değerlerinde sistemin performansını hesaplamak için Y boyutsuz sayısını denklem (20) de görüldüğü gibi, ısı değiştiricisi düzeltme faktörü ile düzeltebiliriz (şekil 4) [13,8].

$$\text{Terminal ısı değiştiricisi düzeltme faktörü} = \frac{Y_c}{Y} = 0,39 + 0,65e^{\frac{-0,139(UA)_h}{\epsilon_L C_{min}}} \quad (20)$$

Ve $0,5 \leq \frac{\epsilon_L C_{min}}{(UA)_h} \leq 50$



Şekil 4. Terminal ısı değiştiricisi düzeltme faktörü [14].

Su ısıtma sistemleri için başka bir düzeltme, şebeke su sıcaklığı T_m (°C) ve kabul edilebilir en az sıcak su sıcaklığı T_w (°C) değerinden kaynaklanır. Bu iki sıcaklık, sistemin çalışma sıcaklığının düzeyini ve kolektör enerji kayıplarını da belirlemektedir. Boyutsuz sayı olan X, kolektör enerji kayıpları dikkate

alınarak düzenlenmiş ve düzeltme faktörü denklem (21) ile verilmiştir. X boyutsuz sayısının yeni değeri, X₂ boyutsuz sayısı olacaktır [14].

$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{11,6+1,18T_w+3,86T_m-2,32\bar{T}_a}{(100-\bar{T}_a)} \quad (21)$$

3. Kolektör Yüzey Alanının Belirlenmesi Yöntemi

Kolektör yüzeyinin belirlenmesinde önemli faktörler, günlük istenilen sıcak su miktarı, sistemden faydalanma süresi (ay), giriş su sıcaklığı (şebeke suyu sıcaklığı) ve kullanım suyun sıcaklığıdır. Her ay için eğik yüzeye (kolektör yüzeyine) gelen toplam güneş ışınımı miktarının en düşük olanı seçilir [12,18]. Sıcak su enerji ihtiyacı belirlendikten sonra, kolektör yüzeyi bulunur. Sıcak su enerji ihtiyacı denklem (22) den hesaplanır.

$$Q_s = mC\Delta T \quad (22)$$

Q_s: Sıcak su enerji ihtiyacı (kcal/gün)

m: Isıtılacak su miktarı (litre/gün)

Isıtılacak su miktarı, konutlarda 45 – 50°C aralığında sıcaklığı ve kişi başı ortalama 50 litre/gün alınabilir (TS 3817, 1994) [19]. Endüstriyel tesisler için yapılan işleme göre değişmektedir.

C: Suyun özgül ısı (kcal / kg °C)

ΔT: Kullanım suyun sıcaklığı ile sisteme giriş su sıcaklığı arasındaki fark (°C).

Kolektör yüzeyi F_k aşağıdaki denklemden (23) hesaplanabilir;

$$F_k = \frac{Q_s}{TRA \times \eta} \quad (23)$$

TRA: Kolektör alan başına gelen aylık ortalama güneş enerjisi (kcal/m² gün)

η: Kolektör verimi, ortalama %55-65 arasında alınabilir [12].

4. Güneş Enerjili Konut Isıtma Sisteminin Ekonomik Analizi

Ekonomik açıdan güneş enerjili sistemlerin tasarımında, en önemli parametrelerden biri, ilk yatırım maliyetinin kaç yılda geri ödenmesidir. Sistemin ilk yatırım maliyetini sistemin kullanım süresi boyunca kullanılan yakıttan elde edilen tasarrufu ile karşılayarak, yapılan ilk yatırımın karşılanması belirlenmektedir. İlk olarak sistemin geri ödeme süresi belirlenir (denklem 24), sonra sistemin kullanım süresi boyunca güneş enerjisi ile yakıttan tasarruf miktarı hesaplanarak ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırılır [20].

$$N_p = \frac{\ln\left(\frac{C_s I_f}{F_y Q C_{F1}} + 1\right)}{\ln(1+I_f)} \quad (24)$$

Ve sistemin ilk yatırım maliyeti denklem (25) den bulunur:

$$C_s = C_A A + C_E \quad (25)$$

N_p: Geri ödeme süresi (yıl)

C_s: Güneş enerjili sistemin ilk yatırım maliyeti

F_y: Güneşten yıllık faydalanma oranı

Q: Yıllık ısı kaybı miktarı

C_{F1}: Yakıt fiyatı

I_r: Enflasyon oranı

C_A : Alan başına maliyet
 A : Kolektör alanı (m^2)
 C_E : Alana bağımlı olmayan maliyet

Güneşten faydalanma oranını kullanarak, kullanım süresi boyunca elde edilen parasal kazanç $N_s(1+\dot{I}_r)$ değerindedir. Böylece, bu değeri yakıttan her yıl elde edilen parasal tasarrufu ile çarparak, kullanım süresi boyunca güneş enerjisinden tasarruf edilen miktar C_{s1} denklem (26) den bulunur [21].

$$C_{s1} = F_y Q C_{F1} N_s (1 + \dot{I}_r) \quad (26)$$

Burada, N_s sistemin kullanım ömrüdür.

5. Yöntem

Enerji gereksiniminin belirlenmesi: İç tasarım şartları kış için $20^\circ C$, alınmıştır ve Muğla ili için, dış tasarım şartları kış için $5^\circ C$ olarak göz önüne alınmıştır. Aylık sıcak su ısı yükleri, $Q_{yi} = m_{ss} C_{p, su} (T_{çıkış} - T_{giriş}) n_i$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Burada Q_{yi} aylık sıcak su ısı yükü, m_{ss} günlük sıcak su ihtiyacı miktarı, $C_{p, su}$ suyun özgül ısısı ($4.179 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$), $T_{çıkış}$ kullanım suyu sıcaklığı ($60^\circ C$ olarak alınmıştır) ve $T_{giriş}$ aylık ortalama günlük şebeke suyu sıcaklığıdır. Binada, yetişkinler için kişi başına sıcak su tüketimi 50 L/gün ($0,05 \text{ m}^3/\text{gün}$) olarak alınabilir. Kullanım suyunun sıcaklığı, kullanım noktalarında $60^\circ C$ alınmıştır.

Muğla ili için eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımı hesabı: Muğla ili için şebeke suyu sıcaklığı T_s , çevre sıcaklığı $T_{çev}$ ve güneye dönük 30° eğik düzleme gelen günlük toplam güneş ışınımı değerleri H_t Tablo 2' de verilmiştir. Bir Matlab programı oluşturularak güneye dönük 30° eğik düzleme gelen aylık toplam güneş ışınımı değerleri ise, n_i göz önüne alınan aydaki gün sayısı olmak üzere ($H_t \cdot n_i$) şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Muğla için sıcaklıklar ve güneye dönük 30° eğik düzleme gelen toplam güneş ışınımı değerleri [16-22].

Aylar	Gün sayısı n_i	T_s	$T_{çev}$	H_t MJ/m ² .gün	$H_t \cdot n_i$ MJ/m ² .gün
Ocak	31	9.6	5.4	9.6	297.6
Şubat	28	8.5	6.1	12.23	342.4
Mart	31	9.6	8.2	15.1	468.1
Nisan	30	12.3	12.6	18.4	552
Mayıs	31	15.8	17.5	20.6	683.6
Haziran	30	20.4	22.6	21.0	630
Temmuz	31	23.8	26.0	22.9	709.9
Ağustos	31	25.5	25.9	23.1	716.1
Eylül	30	24.4	21.5	20.9	627
Ekim	31	20.5	15.8	16.7	517.7
Kasım	30	16.4	10.9	11.4	342
Aralık	31	12.2	7.3	9.09	281.8

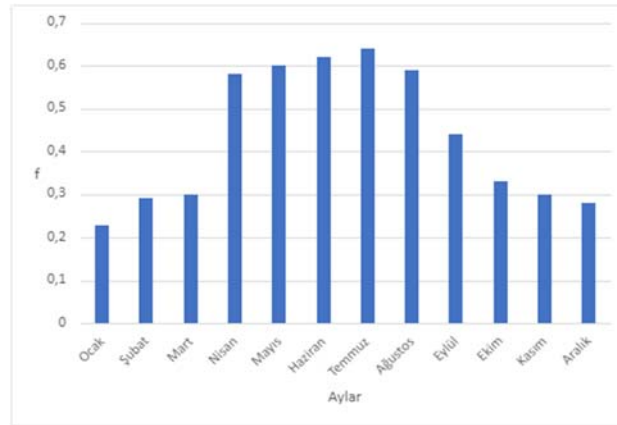
Güneş kolektörünün anlık termal verimliliği, toplanan kullanılabilir enerjinin $Q_{gün}$ kolektör brüt alanı A tarafından yakalanan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanabilir ve $\eta_{kol} = \frac{Q_{gün}}{H_t \cdot A}$ denklemi kullanarak, ASHRAE standardı ve Türk standardına göre test edilen güneş kolektörünün ısı verimi $\eta_k = a - b \left(\frac{T_{kol} - T_{çevre}}{H_t} \right) = 0.634 - 3.636 \left(\frac{T_{kol} - T_{çevre}}{H_t} \right)$ bağıntısından hesaplanmıştır [23].

$T_{kol} = \frac{T_{şebeke} + 2T_{ist}}{3}$ aralık ayı için $T_{çevre} = 7.3^\circ C$, $T_{şebeke} = 12.2^\circ C$, $T_{ist} = 60^\circ C$ ve $\overline{H_t} = 105.21 \text{ w/m}^2$ alınırsa; $\eta_k = 0.63$ elde edilir. Eğer f değerini 0.40 alırsak, gerekli kolektör alanı 27 m^2 ve gerekli kolektör adedi 14 adet bulunur. Bir Matlab programı oluşturularak f -grafik yöntemi ile hesaplanan aylık faydalanma

oranları f_i , Tablo 3 ve Şekil 5 'te verilmiştir. Gördüğümüz gibi yaz aylarında faydalanma oranı daha yüksektir ve temmuz ayı için en yüksek değer elde edilmiştir.

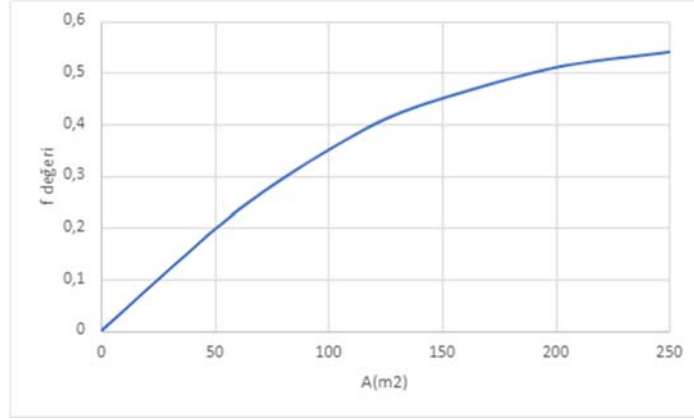
Tablo 3. Muğla ilinde ısıtma sisteminin aylık performansı.

Ay	L (MJ/ay)	X	Y	f	fL
Ocak	5.265	1.19	0.21	0.23	1248
Şubat	4.879	1.31	0.29	0.29	1256
Mart	4.450	1.39	0.53	0.30	1562
Nisan	4.143	2.11	0.91	0.58	2577
Mayıs	4.046	2.93	1.28	0.60	3196
Haziran	3.069	0.71	0.42	0.62	2516
Temmuz	2.961	0.63	0.27	0.67	2274
Ağustos	2.613	0.58	0.35	0.59	2128
Eylül	3.690	1.09	0.52	0.48	1748
Ekim	4.247	4.72	1.53	0.33	1944
Kasım	4.530	2.06	0.58	0.30	1261
Aralık	5.115 49.01	1.43	0.26	0.28	1340 2305



Şekil 5. 60°C çıkış sıcaklığında tüm aylara göre f değerinin değişimi.

Yıllık faydalanma oranı, $f = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i}$ bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır. Yıllık faydalanma oranı $f=0.40$ için, kolektör alanı $A_c=115 \text{ m}^2$ olarak bulunmuştur. Benzer hesaplamalar farklı yıllık faydalanma oranları için yapılmış ve sırasıyla 0,1, 0,2, 0,4, 0,5, 0,6 yıllık faydalanma oranları için toplayıcı alanları 27 m^2 , 50 m^2 , 121 m^2 , 182 m^2 ve 286 m^2 olarak bulunmuştur. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 6. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi.

SONUÇ

Bu çalışmada, güneş enerjili destekli ısıtma sistemlerinde f-grafik yöntemini basitliği ve toplam ısıtma yükünün güneşten faydalanma oranını hesaplama kolaylığı nedeniyle analiz edilmiştir. F-grafik yönteminin büyük avantajı bu yöntemi kullanan sistemlerin daha az hesaplama çabasıyla kolay tasarımının sağlanmasıdır. Bu çalışmada, Muğla ilinde evsel bir sıvı akışkanlı sıcak su sistemin aylık ısıtma yüküne güneş enerjisinin katkısı f değerinin teorik analizi gerçekleştirilmiştir. Kolektör alanına göre yıllık faydalanma oranının değişimi şekil 6' ile verilmiştir. Görüldüğü gibi, kolektör alanının artması güneşten faydalanma oranını arttırmakta ve buna bağlı olarak da yardımcı ısı kaynağına olan ihtiyacı azaltmaktadır. Güneşten aylık faydalanma oranı yaz aylarında kış aylarına göre daha yüksektir. Isıtma yükü ocak ayında maksimum ve temmuz ayında en minimum değerdedir ki bunun ısıtma yükü talebi ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Düzeltilme faktörü depo kapasitesi ve terminal ısı değiştiricisi boyutu faktörü göz önüne alındığında, güneşten faydalanma oranının aralık ve ocak aylarında minimum 0,23 değeri ve temmuz ayında maksimum 0,67 değerine ulaşana kadar arttığı görülmektedir. Ocak, şubat, mart, kasım ve aralık aylarında (kış ayları) depolama kapasitesinin etkisi diğer yaz aylara göre göz ardı edilebilir miktardadır. Kuşkusuz sistemin bütün ihtiyacını güneşten sağlamak imkânsızdır. Güneşten yararlanma oranları 0,50 ve üzeri olan sistemler verimli sistem olarak kabul edilebilir. F-grafik yönteminden elde edilen performans tahminlerinin, birçok sistemin deneysel performansı ile iyi bir uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak konut ısıtmasında güneş enerjisi destekli sistemlerin kullanılması, ülke ekonomisini iyileştirme ve daha temiz bir dünyada yaşamının mümkün olabilmesi için yaygınlaştırılmalıdır.

SEMBOLLER

- A: Toplam kolektör alanı (m²)
- C_p: Özgül ısı [kJ/(kg°C)]
- C: Suyun özgül ısısı (kcal/kg°C)
- C_A: Alan başına maliyet
- C_{F1}: Yakıt fiyatı
- C_E: Alana bağımlı olmayan maliyet
- C_{min}: Minimum ısıtma kapasite debisi (W/°C)
- C_s: Güneş enerjili sistemin ilk yatırım maliyeti
- C_{s1}: Kullanım süresi boyunca güneş enerjisinden tasarruf edilen miktar

- DD: Taban sıcaklığı ve zaman dilimindeki derece gün sayısı (°C. Gün)
E: Ay boyunca gerekli ek enerji ihtiyacı (J)
f: Güneş enerjili ısıtma sistemi tarafından sağlanan aylık ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı
F: Yıllık ısınma yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı
F_y: Güneşten yıllık faydalanma oranı
F_k: Kolektör yüzeyi
F_R: Kolektör ısı kazanç faktörü
F_R: Kolektör-ısı değiştiricisi verim faktörü
 \overline{H}_T : Kolektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışınımı (J/m²)
İ_f: Enflasyon oranı
L: Isıtma ve sıcak su için gerekli aylık ısıtma yükü
L_w: Gerekli sıcak su yükünün
L_s: Gerekli ısıtma yükü
M: Toplayıcı birim alanı başına depo kapasitesi (litre/m²)
m: Isıtılacak su miktarı (litre/gün)
N: Bir aydaki gün sayısı (adet)
n: Konutta yaşayan kişi sayısı
N_s: Sistemin kullanım ömrü
N_p: Geri ödeme süresi (yıl)
Q: Yıllık ısı kaybı miktarı
Q_s: Sıcak su enerji ihtiyacı (kcal/gün)
Q_T: Ay boyunca güneşten elde edilen kullanılabilir enerji (J)
TRA: Kolektör alan başına gelen aylık ortalama güneş enerjisi (kcal/m² gün)
 \overline{T}_a : Aylık ortalama çevre sıcaklığı (°C)
T_m: Yıllık ortalama şebeke suyu sıcaklığı (°C)
T_{ref}: Deneyler sonucu elde edilmiş referans sıcaklık (°C)
T_w: Depolanan sıcak su sıcaklığı (sıcak su için kabul edilebilir en düşük sıcaklığı) (°C)
(UA)_h: Yapının toplam özgül ısı kayıp katsayısıdır.
U_L: Kolektör toplam ısı kayıp katsayısı [W/(m²°C)]
V: Hesap yapılan dönemde kullanılan sıcak su miktarı (m³)
X: Kolektörün ısı kaybının binanın toplam ısı kaybına oranı
Y: Eğimli yüzey tarafından emilen güneş enerjisinin binanın toplam ısı kaybına oranı
Δt: Aydaki toplam saniye sayısı (s)
ΔT: Kullanım suyun sıcaklığı ile sisteme giriş su sıcaklığı arasındaki fark (°C)
ΔU: Isıl depodaki suyun iç enerjisindeki değişim
α: Yutma katsayısı
β: Kolektör eğimi
η: Kolektör verimi
ρ: Yoğunluk (kg/m³)
T: Geçirme katsayısı
ε_L: Isı değiştiricisi etkinlik katsayısı
(τα)_n = Güneş ışınlarının yutma ve geçirme katsayısı çarpımı (%)
 $\overline{\tau\alpha}$ = Aylık ortalama yutma ve geçirme katsayılarının çarpımı (%)

KAYNAKLAR

- [1] Deepika, D., Ahmed Ali Baig, M., Raji Reddy, A., Maneaih, D., Utilization of f-Chart Method for Designing Solar Thermal Heating System, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X PP 23-28, 2016.
- [2] Klein, S.A., Beckman, W.A., A General Design Method for Closed- Loop Solar Energy Systems, Solar Energy, 22, 269-282, 1979.
- [3] Rosli, M.A.M., Zaki, D.S.M., Abdul Rahman, F., Sepeai, S., Abdul Hamid, N., Nawam, M.Z., F-Chart Method for Design Domestic Hot Water Heating System in Ayer Keroh Melaka, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 56, Issue 1, 59-67, 2019.

- [4] Klein, S.A., TRNSYS-A Transient Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, Rep. 38, 29-37, 1973.
- [5] Kerme, E.D., Kaneesamkandi, Z., Performance Analysis and Design of Liquid Based Solar Heating System, Journal of Thermal Engineering, Vol. 1, Special Issue 1, pp. 182-191, 2015.
- [6] Okafor, I.F., Akubue, G., F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems, International Journal of Scientific & Engineering Research 3, no. 9, 2012.
- [7] Close, D.J., A Design Approach for Solar Processes, Solar Energy, 11 (2), 112-122, 1967.
- [8] Sandal, B., Güneş Enerjili Konut Isıtma Sistemlerinin F-Grafik Yöntem ile Optimum Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [9] Öztürk, A., Kılıç, A., Bina Isıtmasında Toplayıcıların Yaklaşık Boyutlandırılması, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 3, No.2, 49-53, 1980.
- [10] Klein, S.A., Beckman, W.A., Duffie, J.A., Solar Heating Design by the f-Chart Method, Research Supported by NSF, ERDA, and University of Wisconsin, New York, Wiley Interscience, 214p, 1977.
- [11] Ünsal, M., Güneş Enerjisi Takviyeli Isıtma Sistemleri İçin Aylık Ortalama Geçiş-Yutma sayısı, Isı Bilimleri ve Tekniği Dergisi, 4, 1, 35-44, 1981.
- [12] Şahin, H., Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2006.
- [13] Beckman, W.A., Klein, S.A., Duffie, J.A., A Design Procedure for Solar Heating Systems, Solar Energy, 18, 113-127, 1976.
- [14] Kahraman, G., Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtmasının Matematiksel Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ, 2005.
- [15] Günerhan, H., Bir Öğrenci Yurdu Binası İçin Güneş Enerjili ve Sıvı Yakıtlı Sıcak Su Sistem Tasarımı, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir, p. 561- 574, 2005.
- [16] Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 4th edition, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken New Jersey, 2013.
- [17] Kent, E.F., Kaptan, İ. N., İzmir İlindeki Elli Yataklı Bir Otel İçin Güneş Enerjisi Destekli Isıtma ve Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Teorik İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, p.163-170, İzmir, Mayıs 2009.
- [18] Uyarel, A.Y., Öz, E., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 239s, 1987.
- [19] TSE 3817, Güneş enerjisi su ısıtıcıları için genel kurallar. ICS code: 27.160, 1994.
- [20] Kent, E.F., Kaptan, İ.N., Kayseri İlindeki Elli Yataklı Bir Otel Binası İçin Güneş Enerjisi Destekli Sıcak ve Su Isıtma Uygulaması, Tesisat Mühendisliği, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mart/Nisan 2010, P. 20-27, 2010.
- [21] Klein, S.A., Beckman, W.A., Duffie, J.A., TRNSYS-A Transient Simulation Program, ASHRAE Trans. 82, Part 1, 1976.
- [22] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "1928-2021 yılları arası Muğla ilindeki en yüksek sıcaklık değerleri", <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=MUGLA>.
- [23] ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment (SI), 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı'nda yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalı'nda öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından



itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim Dalı'nda profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Hourieh BAYRAMIAN

Eğitim hayatına İran'da başlamış ve 2003 yılında Tebriz Üniversitesinden Malzeme Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek lisansını Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı'nda Atatürk Üniversitesinde 2018 yılında tamamlamıştır. Aynı yıl, Ege Üniversitesinde Makine Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda doktora başlamıştır ve şu anda doktora eğitimini sürdürmektedir. Isı transferi, nano akışkanlar, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjili sistemleri üzerinde çalışmaktadır.

Deniz YILDIRIM YALÇINKAYA

1987 yılı İzmir doğumludur. 2008 yılında Celal Bayar Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Yüksek Lisans çalışmasını ise Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2011 yılında tamamlamıştır ve CT ENERJİ LTD.' de Endüstriyel Tesisat Mühendisi olarak 5 yıl çalışmasının ardından 2019 yılında Ege Üniversitesinde Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başlamış olup halen devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş enerjisi, jeotermal enerji), enerji ve ekserji analizi konularında çalışmaktadır.

KAMU BİNALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ KAMU BİNALARININ ENERJİ ETKİN DÖNÜŞÜMÜ

Energy Efficiency Of Public Buildings Energy Efficient Renovation Of Public Buildings

Esra Turan Tombak

ÖZET

Türkiye’de TUIK 2021 yılı verilerine göre 11.598.000 bina bulunmaktadır. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğüne mevcut kamu binası stokunun envanterinin çıkarılmasına yönelik yürütülen Kamu Yapıları Envanter Sistemi çalışmalarına göre Türkiye’de 400.000’den fazla kamu binası bulunmaktadır [1].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2015 yılında yürüttüğü kamu kesimine ait binalarda Enerji Verimliliği Etüdü Yapılması ve Enerji Kimlik Belgesi düzenlenmesi işi kapsamında 166 adet kamu binasında yapılan detaylı etüt çalışmaları sonucu elektrik tüketiminde %13, yakıt tüketiminde ise %35,5 olmak üzere toplam %27,3 oranında enerji tasarruf potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Söz konusu tasarruf potansiyelinin elde edilebilmesi için yapılacak yatırımların geri ödeme süresi ise 3,32 yıl olarak hesaplanmıştır [2]. Bu çalışmadan yola çıkılarak kamu binalarında enerji verimliliği yatırımlarının yapılacak enerji tasarrufları ile geri ödemesinin yapılacağı düşünülmüş, Dünya Bankası finansmanlı Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi’nin çalışmalarına 2019 yılında başlanılmıştır.

Bu çalışmada, Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi kapsamında uygulanabilirliği, işletim kolaylığı, geri dönüş süreleri dikkate alınarak belirlenen enerji verimli önlemleri ile kamu binalarının enerji etkin olarak dönüştürülmesinde izlenen yöntem, uygulama sonrası ölçüm ve doğrulama çalışmaları ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Yaklaşık sıfır enerjili binalar, enerji performansı, yenilenebilir enerji, maliyet etkinlik.

ABSTRACT

According to TUIK 2021 data, there are 11,598,000 buildings in Turkey. There are more than 400,000 public buildings in Turkey based on the Public Buildings Inventory System studies carried out by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Construction Affairs, to take inventory of the existing public building stock,

As a result of detailed surveys carried out in 166 public buildings within the scope of Energy Efficiency Studies and Energy Identity Certificate issuance in public sector buildings carried out by the Ministry of Energy and Natural Resources in 2015, it has been determined that there is 13% in electricity consumption and 35.5% in fuel consumption, a total of 27.3 %, energy saving potential. The payback period of the investments to be made in order to achieve the savings potential is calculated as 3.32 years. Based on this study, it was thought that the energy efficiency investments in public buildings would be repaid with the energy savings to be made, and the studies of the World Bank-financed Energy Efficiency in Public Buildings Project started in 2019.

In this study, the energy efficiency measures determined by considering the applicability, ease of operation, and pay back periods within the scope of the Energy Efficiency in Public Buildings Project

and the method followed in the energy efficient conversion of public buildings, post-implementation measurement and verification studies are presented.

Key Words: Energy Efficiency, Nearly Zero Energy Buildings, Energy Performance, Renewable Energy, Cost Optimality.

1.GİRİŞ

Enerji verimliliği, Türkiye'nin ekonomik büyümesini sürdürmesi ve aynı zamanda iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik konusundaki taahhütlerini yerine getirebilmesi için kritik öneme sahiptir. Ülkemizde binalar nihai enerji tüketiminde en ön sırada gelmekte ve enerji tüketimlerinin azaltılması anlamında en yüksek tasarruf potansiyelini taşımaktadır.

Diğer yandan, Türkiye'nin;

- Enerji Verimliliği Strateji Belgesi [3]
- Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı [4]
- Türkiye İklim Değişikliği Strateji Belgesi[5]
- Yeşil Mutabakat Eylem Planı[6]

ve taraf olduğu;

- Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları [7]
- Paris İklim Anlaşması [8]

gibi ulusal ve uluslararası belgelerdeki vizyon, stratejik amaç ve hedeflere öngörülen sürelerde ulaşabilmesi için kamu binalarında enerji verimliliği alanındaki eylemlerin hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Bu doğrultuda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı desteği ile 200 milyon dolar Dünya Bankası finansmanlı kamu binalarında enerji kullanımını azaltmayı ve ulusal bir programı desteklemek için uygun sürdürülebilir finansman ve kurumsal mekanizmalar geliştirmek ve ölçeklendirmek için bir geçiş planı geliştirmeyi amaçlayan "**Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi**" hayata geçirilmiştir.

16 Mart 2020'de efektif olan projede okul, hastane, idari binalar, adliyeler ve üniversite kampüslerini içeren 500 - 700 kamu binasında enerji etütleri yapılarak elde edilecek tasarruf seviyeleri tespit edilmektedir. Veriler yatırım maliyetleri ile birlikte raporlanıp uygun bulunan kamu binalarında minimum %20 enerji verimliliği ve enerji tüketimlerinde azalma gerçekleştirilmesi için uygulamalar hayata geçirilmektedir.

Projede enerji verimliliği önlemleri tüm bina ve binada kullanılan mekanik ve elektrik sistemlerini kapsayacak şekilde bütüncül olarak ele alınmaktadır. Bina kabuğu iyileştirmelerinde dış cephe ve çatı yalıtımları ile pencere ve kapı değişimleri yapılmakta, ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri gözden geçirilerek yenilenmekte veya iyileştirilmekte, aydınlatma elemanları enerji verimliliği yönünden iyileştirilmekte, LED dönüşümü yapılmakta, güneş enerji santralleri (GES) gerek bina çatılarında gerekse uygun açık otopark alanlarında kurularak elektrik üretimi, güneş enerjili su ısıtması ve ısı pompası uygulamaları yapılmaktadır.

Tablo 1 Enerji Verimliliği Önlemleri Listesi

Bina Kabuğunda yapılacak iyileştirmeler	Isıtma ve soğutma sistemleri, sıcak su sistemleri	Aydınlatma	Güç sistemleri ve enerji kullanan sistemler	Yenilenebilir Enerji Sistemleri
<ul style="list-style-type: none">Duvar, çatı ve zemin yalıtımlarıPencere ve kapı değişimleriPencere optimizasyonu: doğal gün ışığından daha çok yararlanılması	<ul style="list-style-type: none">Kazan iyileştirme /yenilemesiYakıt değişimi (katı yakıt – doğalgaz)Kontrol sistemleriTesisat boruları ve ekipmanlarının yalıtımıChiller/AC replacementIsı pompalarıKo-jenerasyon/tri - jenerasyonBina otomasyonuIsı geri kazanım sistemleri	<ul style="list-style-type: none">Elektronik balastlarHareket duyarlı sensörlerKompakt floresan lambalarYüksek basınçlı sodyum buharı (sokak aydınlatması/çevre aydınlatması)LED lamba değişimi	<ul style="list-style-type: none">PompalarFanlar	<ul style="list-style-type: none">Güneş enerjisi ile sıcak su elde edilmesiÇatı tipi PV uygulamalarıJeotermal ısı pompaları

Proje sonucunda kamu binalarında yapılacak enerji verimliliği uygulamaları sonucunda kamu binalarında; yıllık enerji tasarrufunun 315 Gigawatt-saat (GWh), binalarının kullanım ömrü boyunca hedeflenen enerji ve yakıt tasarrufunun 22.680 milyon Mega Joule (MJ), binaların kullanım ömrü boyunca enerji tasarrufları neticesinde ise hedeflenen emisyon azalımının 4,5 milyon ton/yıl CO2 olabileceği ön görülüyor.

2. PROJE BİLEŞENLERİ

Proje, merkezi hükümet binalarında enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımları ile proje yönetimi teknik yardım ve uygulama desteği (Kurumsal Kapasite Oluşturma) olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Bileşen 1 altında kamu binalarının enerji verimliliği yatırımları yanı sıra Enerji Performans Sözleşmeleri ile Enerji Verimliliği Yatırımı Yapılması ve Pilot yaklaşık sıfır enerjili binaları (nZEB) uygulamaları yer almaktadır.

Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Yatırımları için proje kapsamında oluşturulan yatırım odaklı enerji etüt rapor şablonu [9] kullanılarak seçilen binalarda enerji etüt çalışmaları yürütülmektedir. Enerji verimliliği önlemleri belirlenirken elde edilecek tasarrufun yanı sıra yatırımın geri dönüş süresinde hesaplanmakta, minimum %20 tasarruf 12 yıl geri dönüş süresini sağlayan önlemler uygulanmaktadır. Yenilikçi önlemler ile %30'dan fazla tasarruf sağlandığı durumlarda 20 yıla kadar geri dönüş süresi kabul edilmektedir.

Bileşen 2 altında ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına Proje Yönetimi Teknik yardım ve uygulama desteği (Kurumsal Kapasite Oluşturma) sağlanmaktadır.

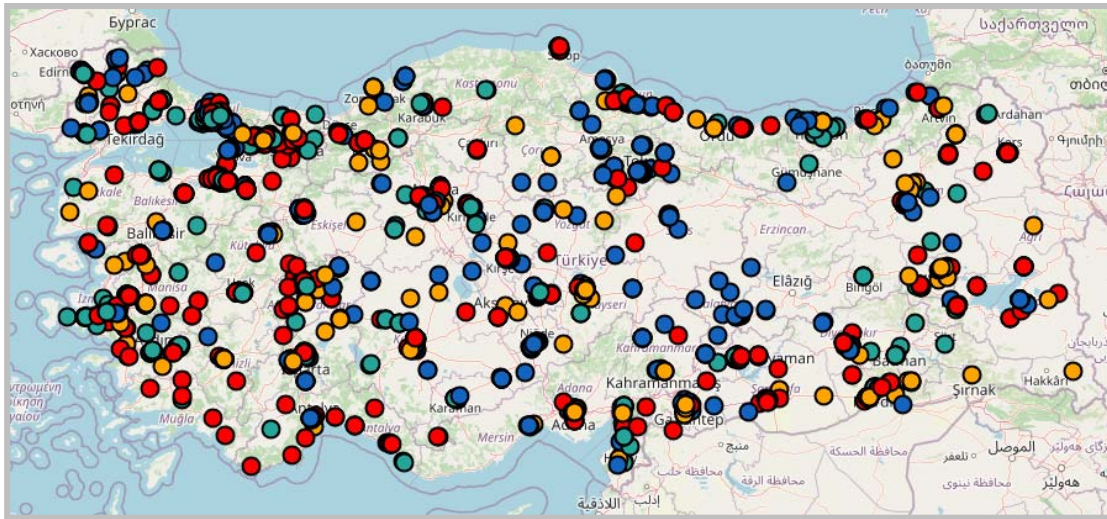
Tablo 2 Proje Bileşenleri

Bileşen 1: Merkezi hükümet binalarında enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yatırımları	Bileşen 2: Proje Yönetimi Teknik yardım ve uygulama desteği (Kurumsal Kapasite Oluşturma)
<p>1a) Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Yatırımları Minimum %20 tasarruf 12 yıl geri dönüş süresi Minimum %30 tasarruf 20 yıl geri dönüş süresi</p> <p>1b) Enerji Performans Sözleşmeleri İle Enerji Verimliliği Yatırımı Yapılması (ESCO uygulaması)</p> <p>1c) Pilot yaklaşık sıfır enerjili binaları (nZEB)</p>	<ul style="list-style-type: none">• ÇŞİDB ve ETKB'nin kurumsal kapasitesinin geliştirilmesi,• Teknik destek sağlanması,• Eğitimler, projenin yaygınlaştırılması faaliyetleri

3. PROJE SÜREÇLERİ

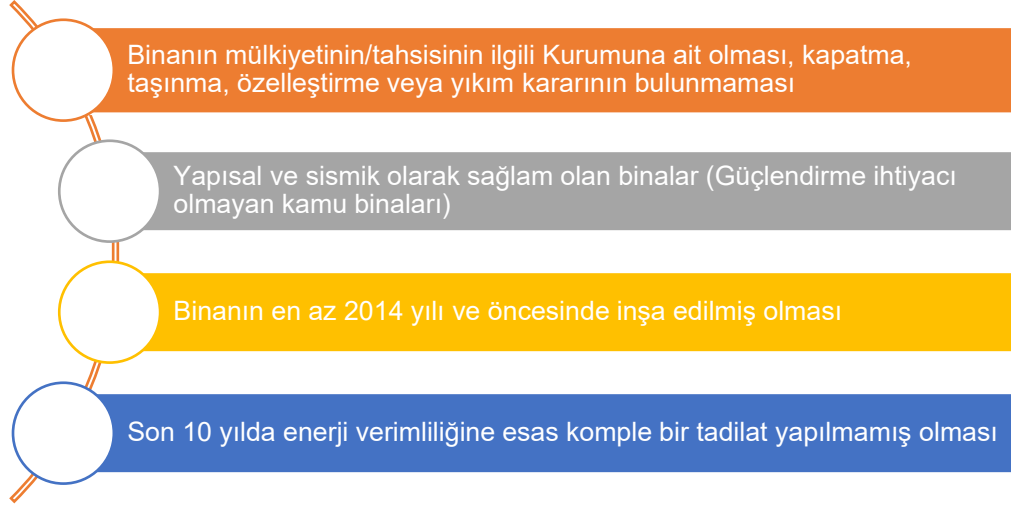
3.1. Alt Projelerin Seçimi

Proje dahilinde kamu kurumlarının bina bilgilerinin toplandığı KABEV veri tabanı oluşturulmuştur. Şubat 2023 tarihi itibarı ile kamu kurumlarımız tarafından toplam 30.234.601,43 m²'lik 2513 adet binanın girişi veri tabanına yapılmıştır.

**Şekil 1** KABEV Veri tabanı harita [10]

Bina stoğu içerisinde alt projelerde yer alacak binalar 2 aşamalı bir değerlendirme sonrasında belirlenmektedir. Öncelikle binaların aşağıda belirtilen proje uygunluk kriterlerine uyması gereklidir:

- Binanın mülkiyetinin/tahsisinin ilgili Kurumuna ait olması, kapatma, taşınma, özelleştirme veya yıkım kararının bulunmaması,
- Yapısal ve sismik olarak sağlam olan binalar (Güçlendirme ihtiyacı olmayan kamu binaları),
- Binanın en az 2014 yılı ve öncesinde inşa edilmiş olması,
- Son 10 yılda enerji verimliliğine esas komple bir tadilat yapılmamış olması.



Şekil 2 KABEV Uygunluk Kriterleri

İkinci aşamada ise amaç enerji verimliliği potansiyeli en yüksek olan binayı belirlemektir. Burada binanın tipolojisine, fonksiyonuna, binanın büyüklüğüne, kullanım periyoduna, spesifik enerji tüketimine, iklim bölgesine, cephe tipine ve yenilenebilir enerji imkanına bakılmaktadır.

3.2. Proje Uygulama Süreçleri:

KABEV veri tabanı içinden Türkiye'nin farklı bölgelerinden binalar seçilmiş, enerji etütleri, teknik uygulama çizimleri, inşaat ihale evraklarının hazırlanması için danışmanlık ihaleleri için gruplandırılmıştır. Projede 80 kuruma ait toplam 565 binanın danışmanlık ihalesine çıkılmış, 12 adet danışmanlık sözleşmesi imzalanmıştır.

Enerji etütleri ve teknik uygulama çizimleri tamamlanan binaların ise uygulamaya geçmek üzere inşaat ihaleleri yapılmaktadır. Kamu binalarında enerji verimliliğinin sağlanarak enerji maliyetinde düşüş ve tasarrufun kanıtlanmasının yanı sıra ulusal düzeyde sosyal ve ekonomik fayda sağlanması, kamu binalarının öncü olarak enerji verimliliği konusunda farkındalığın artırılması da beklenmektedir.

Projede belirlenen birinci paket binalar Ankara, Karabük, Bursa ve İstanbul bulunan okul, bakanlık, üniversite kampüsü ve hastane binalarını kapsamaktadır. Enerji verimliliği dönüşümün başlatıldığı toplam inşaat alanı 490.857,00 m² olan 36 kamu binasında uygulamalar tamamlanmıştır. Birinci Paket binalarda 1 senelik ölçüm ve doğrulama tamamlanma aşamasındadır. Bu binalarımızda genel olarak ortalama yüzde 46,6 enerji tasarrufu sağlandı. Yenilenebilir enerji üretimin ön planda tutulduğu kamu binalarında, enerji tasarrufunun yanı sıra binaların çatılarına ve açık otoparklarına kurulan güneş enerjisi santralleriyle 3050 kilovat elektrik üretimi başladı. Bununla birlikte 15.750 ton CO₂ azaltım hedefine ulaşılabacaktır. 20 yıl sonunda ise 314.100,7 CO₂ azaltımı beklenmektedir. Enerji Kimlik Belgesi (EKB) raporlamalarında enerji verimliliği yenilemeleri yapılan binaların EKB değerlerinin D sınıfından B sınıfına çıktığı belirlenmiştir.

Tablo 3 1. Paket Bina Özet Veri Tablosu**1. PAKET TAMAMLANAN PROJELER İÇİN ÖZET TABLO**

Proje No	Danışmanlık Sözleşmesi	Bina/Kampüs Adı	Bina Tipi	İl	Bağlı Bulunduğu Kurum	Proje Alanı (m ²)	Enerji Verimliliği Tasarrufu (%)	Toplam Yıllık CO ₂ Tasarrufu (Ton/Yıl)	Proje Ömrü Toplam CO ₂ Tasarrufu (Ton/20 Yıl)
1	DESSUP 01	Orta Köy 80.Yıl Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Lise	ANKARA	Milli Eğitim Bakanlığı	15.104,00	72,52%	72,7	1.454,6
2	DESSUP 01	Gıda Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı - Ana Hizmet Binası	İdari Hizmet Binası	ANKARA	Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı	49.166,00	31,97%	850,3	17.005,1
3	DESSUP 01	Karabük Üniversitesi	Üniversite	KARABÜK	Yüksek Öğretim Kurulu	61.814,00	33,00%	1.781,1	35.621,3
4	DESSUP 02	Bursa Anadolu Kız Lisesi	Lise	BURSA	Milli Eğitim Bakanlığı	10.285,00	80,04%	348,3	6.966,1
5	DESSUP 02	Bursa Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Hastane	BURSA	Sağlık Bakanlığı	117.680,00	24,63%	3.282,1	65.641,7
6	DESSUP 03	Bağcılar Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Hastane	İSTANBUL	Sağlık Bakanlığı	61.864,00	22,35%	2.060,9	41.217,7
7	DESSUP 03	Marmara Üniversitesi Pendik Eğitim Araştırma Hastanesi	Hastane	İSTANBUL	Sağlık Bakanlığı	143.928,00	29,09%	3.896,8	77.935,2
8	DESSUP 03	Başakşehir Devlet Hastanesi	Hastane	İSTANBUL	Sağlık Bakanlığı	16.410,00	47,82%	983,1	19.661,4
9	DESSUP 03	Dr. Necmi Ayanoğlu Silivri Devlet Hastanesi	Hastane	İSTANBUL	Sağlık Bakanlığı	21.470,00	36,36%	673,2	13.463,6
10	DESSUP 03	Esenyurt Devlet Hastanesi	Hastane	İSTANBUL	Sağlık Bakanlığı	15.060,00	59,20%	1.756,7	35.134,1
TOPLAM 1. PAKET SONUÇLARI							46,6%	15.705,0	314.100,7

Not-1: Proje ömrü olarak 20 yıl baz alınmıştır.

Not-2: Toplam yıllık CO₂ tasarruf oranı şu şekilde hesaplanmıştır:

Etüt raporunda ve/veya enerji ölçüm sonrası izlenen elektrik ve yakıt tasarruf oranları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu emisyon faktörleri ile dönüşüm sağlanarak toplam yıllık CO₂ tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Bahsi geçen hesaplama için referans alınan değerleri içeren «TÜRKİYE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE ELEKTRİK TÜKETİM NOKTASI EMİSYON FAKTÖRLERİ BİLGİ FORMU» 09.08.2021 tarihli duyuru gözetilerek yapılmıştır.

Elektrik Emisyon Faktörü

Faktör Türü	Yılı	Değeri (tCO ₂ /MWh)
Türkiye Geneli Elektrik Üretimi Emisyon Faktörleri	2020	0,437

Fosil Yakıtlar Dönüşüm Faktörleri

Faktör Türü	Yılı	Yakıt Türü	Değeri (tCO ₂ /MWh)
Elektrik Santralleri için Yakıtlara Göre Elektrik Üretim Emisyon Faktörleri	2020	Linyit	1,274
		Taş Kömürü	1,095
		Asfaltit	1,171
		Rhali Kömür	0,868
		Doğalgaz	0,371
		Fuel Oil	0,543
		Motorin	0,644

Tablo 4 1. Paket Bina Enerji Kimlik Belgesi (EKB) bilgileri

Proje Adı	Proje Alanı(m ²)	Enerji Performans Sınıfı (EPC – EKB) Renovasyon Öncesi	Enerji Performans Sınıfı (EPC – EKB) Renovasyon Sonrası*
Bağcılar Eğitim ve Araştırma Hastanesi	61.864	D (103)	B (68)
Başakşehir Devlet Hastanesi	16.410	D (105)	B (68)
Esenyurt Eğitim ve Araştırma Hastanesi	15.060	C (90)	B (64)
Silivri Devlet Hastanesi	21.470	C (96)	B (72)
Marmara Üniversitesi Pendik Eğitim Araştırma Hastanesi	143.928	C (87)	B (58)

İkinci pakette, Kocaeli, Sakarya, Zonguldak, Karabük, İzmir, Bursa, Antalya, Karaman, Denizli illerinde yer alan üniversite kampüsü, hastane, hükümet konağı ve adliye binalarının toplam inşaat alanı 837.334,48 m²'dir. İnşaat imalatlarının tamamlanmasının ardından yılda toplam %40,2 enerji tasarrufu beklenmektedir. Bununla birlikte 36.463,7 ton CO₂ azaltım hedefine ulaşılabacaktır. 20 yıl sonunda ise 729.254,3 ton CO₂ azaltımı beklenmektedir.

Üçüncü pakette, Rize, Trabzon, Giresun, Samsun, Mersin, Osmaniye, Adana illerinde yer alan projelerimizin toplam inşaat alanı 627.085,02 m²'dir. İnşaat imalatlarının tamamlanmasının ardından yılda toplam %53,7 enerji tasarrufu beklenmektedir. Bununla birlikte 26.371,2 ton CO₂ azaltım hedefine ulaşılabacaktır. 20 yıl sonunda ise 527.424,0 ton CO₂ azaltımı beklenmektedir.

Üç paketin toplamına baktığımız zaman yıllık toplam enerji verimliliği tasarrufu %41,7 olması beklenmektedir. Bununla birlikte yılda 78.538,9 ton CO₂ azaltım hedefine ulaşılabacaktır. 20 yılın sonunda ise bu rakamın 1.570.779 ton CO₂ mertebesinde olması beklenmektedir.



Karabük Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek Okulu yenileme öncesi ve sonrası binanın durumu
Yenileme sonrası %30 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Ankara Ortaköy 80. Yıl Meslek ve Teknik Lisesi yenileme öncesi ve sonrası binanın durumu
Yenileme sonrası %80 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Şekil 3 Karabük Üniversitesi ve Ankara Ortaköy 80.Yıl Mesleki Teknik Anadolu Lisesi Enerji Verimliliği Uygulamaları öncesi ve sonrası



Şekil 4 Tarım ve Orman Bakanlığı Açık Otopark 400 KW Güneş Enerjisi Santrali Uygulaması

T.C. TARIM ORMAN BAKANLIĞI DOĞALGAZ TASARRUFU				
2022	EVO Öncesi Beklenen Enerji Tüketim (kWh)	EVO Sonrası Gerçekleşen Enerji Tüketim (kWh)	Fark (kWh)	Toplam Kazanç (kWh)
Ocak				
Şubat	1.386.427,62	749.161,21	637.266,41	637.266,41
Mart	1.705.784,46	870.589,79	835.194,67	1.472.461,08
Nisan	452.655,99	399.845,46	52.810,53	1.525.271,61
Mayıs	230.494,71	213.003,49	17.491,22	1.542.762,83
Haziran	22.218,51	47.086,90	-24.868,39	1.517.894,44
Temmuz	22.218,51	28.942,62	-6.724,11	1.511.170,33
Ağustos	22.218,51	61.893,86	-39.675,35	1.471.494,98
Eylül	63.873,75	63.533,75	340,00	1.471.834,98
Ekim	463.069,80	351.559,81	111.509,99	1.583.344,97
TOPLAM	4.368.961,86	2.785.616,89		1.583.344,97

T.C. TARIM ORMAN BAKANLIĞI ELEKTRİK TASARRUFU				
2022	EVO Öncesi Beklenen Enerji Tüketim (kWh)	EVO Sonrası Gerçekleşen Enerji Tüketim (kWh)	Fark (kWh)	Toplam Kazanç (kWh)
Ocak				
Şubat	328.683,00	289.277,90	39.405,10	39.405,10
Mart	328.683,00	341.552,30	-12.869,30	26.535,80
Nisan	328.683,00	251.469,35	77.213,65	103.749,45
Mayıs	345.495,00	223.724,45	121.770,55	225.520,00
Haziran	362.307,00	231.293,75	131.013,25	356.533,25
Temmuz	410.875,00	173.523,50	237.351,50	593.884,75
Ağustos	571.523,00	249.889,25	321.633,75	915.518,50
Eylül	379.119,00	330.270,80	48.848,20	964.366,70
Ekim	328.683,00	206.012,15	122.670,85	1.087.037,55
TOPLAM	3.384.051,00	2.297.013,45		1.087.037,55

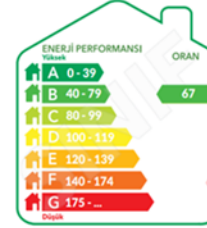
EPC - Before Renovation



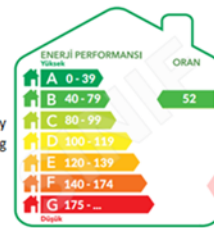
EPC - After Renovation



Ministry Building



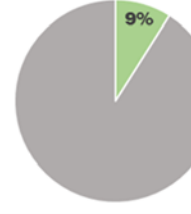
Forestry Building



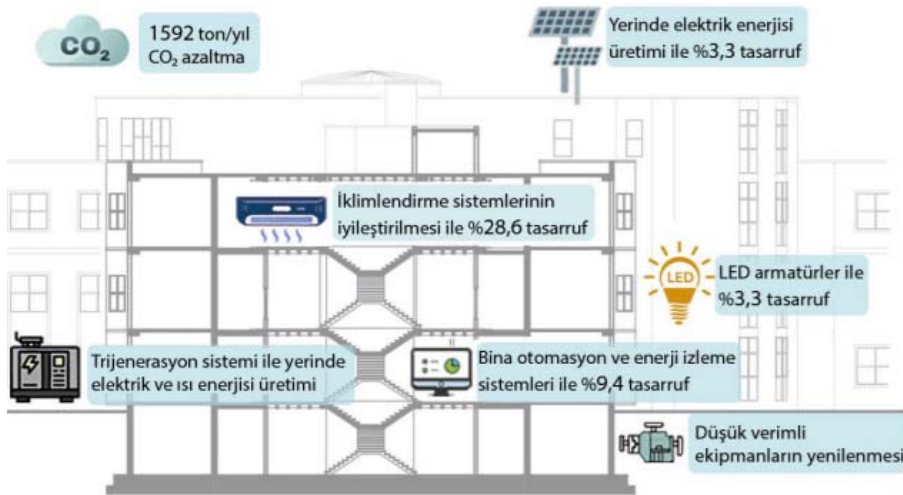
nps

ndling Units

Renewable Energy Ratio (%)



Şekil 5 Tarım ve Orman Bakanlığı Ölçüm ve Doğrulama Sonuçları



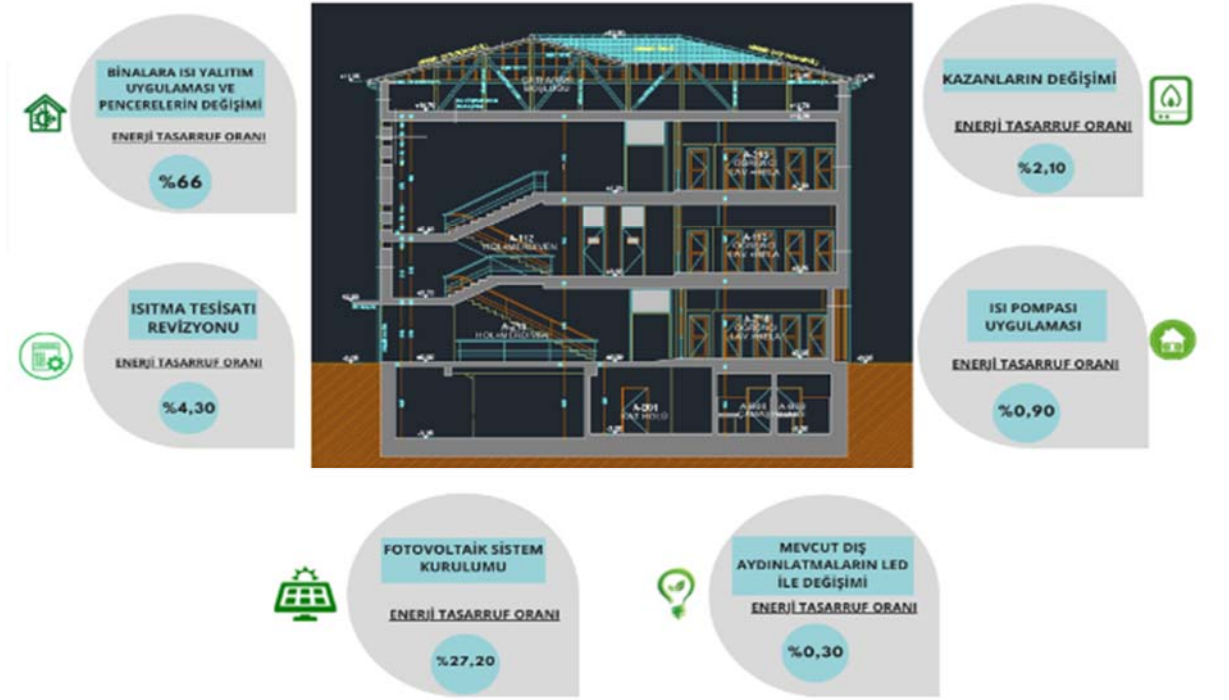


Şekil 6 İstanbul Esenyurt Necmi Kadioğlu Devlet Hastanesi Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Uygulaması

3.3. Kamuda ilk Enerji Performans Sözleşmesi

Kamuda ilk enerji performans sözleşmesi yapılarak yenilenen Bursa Kız Anadolu Lisesinde uygulanan enerji verimliliği önlemleri sonucu %70 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Enerji verimliliği önlemleri aşağıda verilmiştir:

- Bina kabuğu iyileştirmesi: **Doğalgaz tüketimlerinde azaltım: ~ 760.000 kWh/yıl**
 - Bina Dış Cephesinde Yalıtım Yapılması: 10 cm Taşyünü
 - Pencere Değişimi: tekli camın 3'lü argon gazlı Low-e kaplamalı cam
- Isıtma Sistemi iyileştirmesi:
 - Kazan değişimi:
 - Isıtma Sisteminde Mekanik Tesisatların İzolasyonu
 - Termostatik Vana Uygulaması
- Çatıda 270 kW'lık Güneş Enerjisi Santrali Kurulumu
- Fotovoltaik destekli Isı pompası Sistemi kurulması
- Mevcut Dış Aydınlatma Armatürlerinin LED Armatürler ile Değişimi
- Bina Enerji İzleme ve Bina Isıtma Otomasyon Sisteminin Geliştirilmesi



Renovasyon öncesi



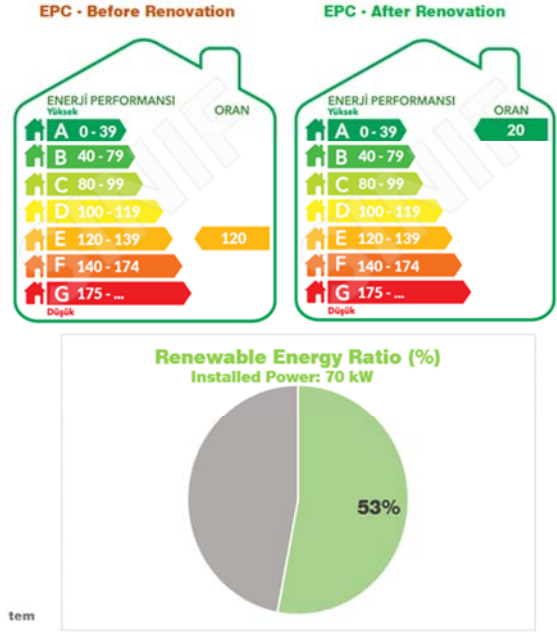
Renovasyon sonrası



Şekil 7 Bursa Kız Anadolu Lisesi Enerji Verimliliği Uygulamaları ve Çatı Üstü Güneş Enerjisi Santrali Uygulaması

BURSA ANADOLU KIZ LİSESİ DOĞALGAZ TASARRUFU				
2022	EVO Öncesi Beklenen Enerji Tüketim (kWh)	EVO Sonrası Gerçekleşen Enerji Tüketim (kWh)	Fark (kWh)	Toplam Kazanç (kWh)
Mart	267.914,38	95.464,57	172.449,81	172.449,81
Nisan	78.635,98	53.663,56	24.972,42	197.422,23
Mayıs	30.305,98	18.161,29	12.144,69	209.566,92
Haziran	12.990,00	5.540,44	7.449,56	217.016,48
Temmuz	12.990,00	686,40	12.303,60	229.320,08
Ağustos	12.990,00	686,40	12.303,60	241.623,68
Eylül	17.458,64	14.608,17	2.850,47	244.474,15
Ekim	42.795,02	26.113,53	16.681,49	261.155,64
TOPLAM	476.080,00	214.924,36		261.155,64

BURSA ANADOLU KIZ LİSESİ ELEKTRİK TASARRUFU				
2022	EVO Öncesi Beklenen Enerji Tüketim (kWh)	EVO Sonrası Gerçekleşen Enerji Tüketim (kWh)	Fark (kWh)	Toplam Kazanç (kWh)
Mart	14.225,05	12.265,00	1.960,05	1.960,05
Nisan	12.562,46	11.785,00	777,46	2.737,51
Mayıs	11.813,20	10.750,00	1.063,20	3.800,71
Haziran	7.131,31	6.850,00	281,31	4.082,02
Temmuz	4.489,58	-49.519,43	54.009,01	58.091,03
Ağustos	3.912,50	-26.672,22	30.584,72	88.675,75
Eylül	5.503,21	-31.019,00	36.522,21	125.197,95
Ekim	10.780,60	-13.618,80	24.399,40	149.597,35
TOPLAM	70.417,90	-79.179,45		149.597,35



Şekil 8 Bursa Kız Anadolu Lisesi Ölçüm ve Doğrulama Sonuçları

4. KABEV PROJESİ ÇEVRESEL VE SOSYAL ETKİLERİ

Enerji verimliliğinin yanı sıra KABEV projemizin çevresel ve sosyal açıdan da toplumda farkındalık sağlaması için de çalışmalarımızı yürütüyoruz. Enerji verimli dönüşümü yapılan her bir binamızda;

- Paydaş Katılım Toplantıları
- Sosyal Anketler
- İzleme Toplantıları ve Eğitimler

Gerçekleştirilmektedir. Tadilat öncesinde yapılan anketler bina kullanıcılarının ısınma ve aydınlatmaya ilişkin konforlarına ilişkin rahatsızlıkları ile yapılacak tadilat çalışmalarının örtüştüğünü göstermektedir. Tadilat sonrası Anket çalışmaları bize;

- İç mekan ısınma konforuna ilişkin memnuniyet %41'ten %73'e çıktığı,
- İlave ısıtıcı kullanma durumu %45'ten %14'e düştüğü,
- Aydınlatmaya ilişkin memnuniyet ise %60'tan %70'e çıktığı,
- Enerji verimliliğine ilişkin farkındalık ise %90 seviyesine ulaştığını

göstermektedir.

KABEV Projesi kapsamında binalarda bina kullanıcıları da yapılan çalışmalara dahil edilmektedir. Bunlara örnek olarak enerji verimliliği renovasyon süreci tamamlanan Bursa Anadolu Kız Lisesidir. Öğrenciler kendi okulları için dış cephe boya renklerini belirlemek üzere '**Kendi Okulunun Rengini Kendin Beğen**' tasarım yarışmasını düzenlemiş ve birinci seçilen tasarıma göre okulun boya rengi belirlenmiştir.



Şekil 6 Bursa Kız Anadolu Lisesi Öğrencileri **Kendi Okulunun Rengini Kendin Beğen'** tasarım yarışması

SONUÇ

Kamu Binalarında Enerji Verimliliği Projesi sonucunda kamu binalarında yapılacak enerji verimliliği uygulamaları sonucunda kamu binalarında;

- Yıllık enerji tasarrufu 315 Gigawatt-saat (GWh)
- Binalarının kullanım ömrü boyunca hedeflenen enerji ve yakıt tasarrufu 22,680 milyon Mega Joule (MJ)
- Binaların Kullanım ömrü boyunca enerji tasarrufları neticesinde hedeflenen emisyon azaltımı 4,5 milyon Ton/yıl CO₂

olarak hesaplanmıştır.

Bu proje ile Türkiye'de ilk defa; Enerji Performans Sözleşmesi ile kamu binalarının enerji verimliliği uygulamaları yapılmakta, pilot olarak seçilen kamu binalarının Neredeyse Sıfır Enerjili Bina'lar (nSEB) olarak yenilenmesi planlanmaktadır. Enerji verimliliği danışmanlık şirketleri ile sözleşme yapılarak, yatırım sonrası elde edilen tasarrufun kazancıyla belirli zaman içerisinde kendi yatırım maliyetini ödeyen finans modeli geliştirilmesi ve uygulanması için çalışmalar yürütülmektedir.

Proje ile enerji verimli, yeni ve yenilenebilir teknolojiler uygulanarak çevre dostu binalar üretilmekte ve kamu binalarının sektöre örnek teşkil etmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] TÜİK kaynaklı veri, <https://www.milliyet.com.tr/gundem/turkiyede-11-milyon-598-bin-bina-var-6413119>
- [2] "Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Tarafından Yaptırılan 166 Adet Kamu Binasına Ait Enerji Verimliliği Etüt Çalışması Değerlendirme Sonuç Raporu", Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018
- [3] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, T.C. Resmi Gazete, 25 Şubat 2012 tarih ve 28215 sayı
- [4] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, T.C. Resmi Gazete, 2 Ocak 2018 tarih ve 30289 sayı
- [5] Türkiye İklim Değişikliği Strateji Belgesi, <https://iklim.gov.tr/strateji-belgeleri-i-20>
- [6] Yeşil Mutabakat Eylem Planı, T.C. Resmi Gazete, 16 Temmuz 2021
- [7] Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir_Kalk%C4%B1nma_Ama%C3%A7lar%C4%B1
- [8] Paris İklim Anlaşması, <https://iklim.gov.tr/paris-anlasmasi-i-34>
- [9] Enerji Etüt Şablonu, <https://www.kabev.org/kutuphane/sablonlar/>
- [10] <https://www.kabev.org/wp-content/uploads/2022/04/KABEV-Veri-tabani-giris.pdf>



ÖZGEÇMİŞ

Esra TURAN TOMBAK

1992 yılında ODTÜ Mimarlık Bölümünden mezun olan Esra Turan Tombak özel sektörde büro ve şantiye mimarı olarak çalışmasının ardından 1997 yılında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nda Mimari Proje Daire Başkanlığında mimar olarak göreve başlamıştır. Hükümet konağı, adliye binası, cezaevi, bakanlık binaları gibi yönetim yapılarına ait proje hazırlama ve proje kontrollüğünün yanı sıra, Çevre Bakanlığı, Anayasa Mahkemesi Başkanlığı ve Danıştay Başkanlığı Hizmet Binaları yarışma raportörlüğü görevlerinde de bulunmuştur. 2009 yılında Enerji Kanunu kapsamında ikincil mevzuat düzenlemek ve yürütmek üzere kurulan Enerji Verimliliği Daire Başkanlığında şube müdürü olarak çalışmış, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği, Merkezi Isıtma Ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma Ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik ve Sürdürülebilir Yeşil Bina ile Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirme Usul Ve Esaslarına Dair Yönetmelik çalışmalarında görev almıştır. ODTÜ Sürekli Eğitim Merkezi tarafından verilen İklim Değişikliği, Uyum Politikaları ve Türkiye Eğitim Sertifikası (2010) ve LEED Green Associate Sertifikası (2014) sahibi olan Esra Turan Tombak halen Çevre ve Şehircilik Bakanlığında Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Dış Kaynaklı Yatırımlar Daire Başkanı olarak çalışmaktadır.



YENİ ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN BİNALARDA KULLANIMININ ENERJİ PERFORMANSINA ETKİLERİ

The Effects of Use of New Energy Technologies in Buildings on the Energy Performance

Büşra Selenay Önal
Hasan Alpay Heperkan

ÖZET

Dünyanın enerjisinin çoğunu sağlayan fosil yakıtların endüstriyel proseslerdeki tüketimin artması ve ozon tabakasının tahrip olması sonucu atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonunun insan sağlığı için tehlikeli seviyelere yükseldiği görülmektedir. Binalar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Bu tüketim esnasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve binalarda enerji performansının sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Bu bağlamda akıllı binalar enerji verimliliğinin önemli bir aşamasını temsil etmektedir.

Bu çalışmada binalarda yeni enerji teknolojilerinin kullanılmasıyla birlikte enerji performansının artırılması amaçlanmıştır. BEP-TR yazılımı, HAP (Hourly Analysis Program) yazılımı, Energy Plus yazılımları binaların enerji performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu enerji teknolojilerinin kullanılmasının binalarda enerji performansına etkilerini incelemek için belirlediğimiz üç bölgede binalar ele alınmış ve eski teknoloji uygulamaları ile yeni enerji teknolojileri uygulamaları enerji yazılımları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yeni enerji teknolojileriyle binaların enerji performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın gelecek çalışmalara ve enerji performansı uygulamalarına bir kaynak oluşturması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Verimlilik, Binalarda Enerji Performansı, Enerji Performans Yazılımları, BEP-TR, HAP (Hourly Analysis Program), EnergyPlus.

ABSTRACT

As a result of the increase in the consumption of fossil fuels, which provide most of the world's energy, in industrial processes and the destruction of the ozone layer, it is seen that the concentration of greenhouse gases in the atmosphere has risen to dangerous levels for human health. Buildings account for about a third of global energy consumption. During this consumption, it is important to use renewable energy sources and to ensure sustainable energy performance in buildings. In this study, smart buildings represent an important stage of energy efficiency.

In this study, it is aimed to increase the energy performance by using new energy technologies in buildings. BEP-TR software, HAP (Hourly Analysis Program) software, Energy Plus software are used to evaluate the energy performance of buildings. In order to examine the effects of using these energy technologies on energy performance in buildings, buildings in three regions we have determined have been examined and the old technology applications and new energy technologies applications are compared using energy software. It has been observed that the energy performance of buildings is higher with new energy technologies. This study is intended to be a resource for future studies and energy performance applications.

Keywords: Energy, Efficiency, Energy Performance in Buildings, Energy Performance Software, BEP-TR, HAP (Hourly Analysis Program), Energy Plus

1.GİRİŞ

Günümüzde enerjinin verimli kullanımı ve enerji tasarrufu giderek daha önemli hale gelmektedir. Ozon tabakasının tahrip olması sonucunda dünyanın enerji ihtiyacının çoğunu sağlayan fosil yakıtların tüketimi, endüstriyel proseslerde tüketimin artması, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun insan sağlığı için tehlikeli seviyelere yükselmesi, enerji üretimini ve enerjinin verimli kullanımını günümüzün en zorlu konularının arasına koymuştur.

Enerji verimliliği kavramı, binalarda yaşam ve hizmet kalitesinde, sanayi işletmelerinde ise üretim kalitesinde ve miktarında düşüşe neden olmadan birim veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır [1]. Daha az enerji girdisi ile aynı ürün çıktısının elde edildiği her operasyonda verimlilik sağlanmaktadır.

Binalar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Bu tüketim esnasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve binalarda enerji performansının sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Bu bağlamda akıllı binalar enerji verimliliğinin önemli bir aşamasını temsil etmektedir. Binalar için iklim koşullarına, mimari tasarım ve yalıtım standartlarına bağlı olarak ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, CO₂ emisyonu ve sıcak su alanlarında iyileştirmeler yapılmaktadır.

Binalarda Enerji Performansı Direktifine göre tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerji sınıfına girmesi planlanmaktadır. Binalardaki enerji verimliliği teknolojilerine örnek olarak ısı pompaları, kojenerasyon, yenilenebilir enerji, yoğuşmalı kombi ve kazan sistemleri verilebilir. BEP-TR yazılımı, HAP (Hourly Analysis Program) yazılımı, Energy Plus yazılımları da binaların enerji performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda binalarda yeni enerji teknolojilerinin kullanılmasıyla birlikte enerji performansının artırıldığı gözlenmiştir.

2.BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Binalarda enerji verimliliği uygulamaları olarak, binanın iklim bölgesine göre yapılan dış cephe yalıtımı enerjinin verimli kullanımını doğrudan etkilemektedir. Örneğin; aynı lokasyonda iki farklı kalınlıkta aynı mimari ve mekanik sistem özelliklerine sahip bir binaya uygulanan yalıtım, binanın enerji performansında büyük bir değişikliğe yol açmaktadır. Yalıtım kalınlığı uygun seviyelerde arttırıldığında enerji kayıpları azalır [1]. Yalıtım açısından önem sırasına göre çatı yalıtımı önce gelir. Isınan havanın yükselme prensibine göre, kışın iç ortam havasını ısıtmak için çatının yalıtım özellikleri dikkate alınmalıdır. Pencere ve kapıların ortam havasını sızdırmaması önemlidir. Bu nedenle günümüzde ısıcam ve ısıcam kullanımı yaygınlaşmakta ve ısı kayıpları azaltılmaktadır.

Mekanik sistemlerin uygulanacak projeye uygunluğu da dikkate alınmalıdır. Örneğin standart kombiler yerine yoğuşmalı kombilerin kullanılması, ısıtmada kullanılan yakıt tüketimini azaltır ve ısıtma ihtiyacında tüketilen enerjiyi azaltır. Merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan yakıtın kömür yerine doğalgaz olarak kullanılması, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve termal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar arasındadır [1]. Bunların dışında binaların aydınlatma ihtiyacının minimum tüketimle karşılanması için uygun tasarruflu aydınlatma sistemleri seçilmelidir. Binaların mimari tasarımının enerji verimliliği standartlarına uygunluğu da önemli veriler arasındadır. Binanın gün boyu güneşi görebileceği zaman ve açı bu konuda dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır [1].

Binalardaki enerji verimliliği teknolojilerine örnek olarak ısı pompaları, kojenerasyon, yenilenebilir enerji, yoğuşmalı kombi ve kazan sistemleri verilebilir. Isı pompaları, ısıyı bir ısı kaynağından farklı bir ısı kaynağına aktaran cihazlardır. Termodinamik kurallardan bilindiği üzere, enerjiyi düşük sıcaklıklı bir ortamdan daha yüksek sıcaklıklı bir ortama aktarmak için harici bir enerji kaynağı kullanılmalıdır. Geleneksel sistemlerde kullanılan ısı pompalarının çoğunluğu elektrik enerjisi ile çalışan kompresörleri içerir. Isı pompaları ısı çektikleri ve transfer ettikleri ortamlara göre isimlendirilir. Isının çekildiği yerde hava, su ve toprak bulunabilirken hava veya su iletilebilir [2].

Enerji uygulamalarında kojenerasyon, yani kombine ısı-güç üretim sistemleri (CHP, Kombine Isı ve Güç), buhar ve elektriğin birlikte üretildiği sistemlerdir. Bu sistemlerde atık ısı değerlendirilerek enerji verimliliği artırılarak geleneksel sistemlere göre daha fazla enerji kullanılmaktadır. Enerji, tüketildiği yerde üretildiği için iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıpları ortadan kaldırarak şebekeden etkilenmeden kesintisiz ve kaliteli elektrik temini sağlar [3].

Yenilenebilir enerji, üretimi için sürekli doğal süreçlerden yararlanan ve üretim için kullandığı kaynakların tükenme hızından daha kısa sürede kendini yenileyen enerjidir. Yenilenebilir enerji türleri arasında jeotermal enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidroelektrik, hidrojen, dalga ve biyokütle enerjisi bulunmaktadır [4]. Yoğuşmalı kombiler, özel bir ısı eşanjörü vasıtasıyla bacadan atılacak baca gazının su buharındaki enerjiyi geri kazanarak toplam verimi artıran cihazlardır. Yoğuşmalı kombi sistemlerinin verimi, geleneksel kombilere göre daha yüksektir. Bu, daha düşük yakıt tüketimi ile sonuçlanır [5].

3.ENERJİ PERFORMANSI YAZILIMLARI

3.1. BEP - TR Yazılımı

Binanın enerji tüketimini değerlendirmeyi sağlayan ve Enerji Sınıfı Sertifikasını düzenleyen enerji performansı değerlendirme yazılımıdır. Türkiye için ulusal bina enerji performans hesaplama yöntemleri (BEP-TR), binanın tüm parametrelerinin enerji tüketimi, enerji verimliliği ve binaların etkisini değerlendirmek için enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilmiştir. BEP-TR, internet tabanlı bir yazılımdır. BEP yönetmeliği kapsamındaki binaların m² başına yıllık enerji tüketim miktarını ve CO₂ emisyonlarını hesaplar [6].

BEP-TR yazılımında, binaları ısıtma ve soğutma için net enerji miktarını hesaplama yöntemi basit bir saatlik hesaplamadır (EN 13790). Bu yöntem, ısıtma ve soğutma mevsimlerinin belirlenmesini gerektirir. Ayrıca geçiş mevsimlerinde net enerji miktarının hesaplanmasına da olanak sağlar [6].

Enerji kimlik belgesi düzenlendiği tarihten itibaren 10 yıl geçerlidir. Bu sürenin sonunda hazırlanacak bir rapora göre yeniden düzenlenir. BEP – TR aşağıdaki bileşenlerden oluşan modüler bir yazılımdır.

- Geometri ve Malzeme Özellikleri
- Net Enerji: ISO 13790
- Aydınlatma: EN 15193 (Ön standart)
- Solar Kazançlar: EN ISO 13790: 2004, EN ISO 13790: 2008, EN ISO 15255: 2007, EN ISO 13792: 2005, Ashrae Temelleri: 2009
- İç Yükler: EN 15316, EN15241, EN 15243, EN 15193, Ashrae: 2009
- Mekanik Kurulumlar: DIN V 18599: 2007

Dört ana modülü vardır. İlki, binanın geometrisini, malzeme özelliklerini, bölgeleri ve yapının saatlik bazda ısı kaybını ve kazancını belirler. Geometri, bileşen özellikleriyle ilişkili hiyerarşik bir akışta tanımlanır. Ayrıca CAD yazılımından veri okuma fırsatı sağlar [6].

Yapı elemanlarının özellikleri de hiyerarşik bir modelde tanımlanabilir. Geometriyi bir arada tutan nesnelere (bina, katlar, bölgeler, odalar, duvarlar, pencereler vb.) birbirine göre tanımlanmıştır. Çizim, profesyonel bir CAD programı kullanılarak gerçekleştirilebilir veya mevcut bir CAD yazılımı çıktısı benimsenebilir.

İkinci modül olan binanın net enerji talebi, hem aktif hem de pasif olarak birkaç parametreyi içerir. ISO 13790 standardına dayanmaktadır. Bina bölgelere ayrılmış ve Şekil 5'te gösterildiği gibi tipik bölge ilişkileri tanımlanmıştır. Malzemelerin ısı depolama özellikleri de hesaplamalar sırasında dikkate alınmıştır. Yapının bileşenleri, bir elektrik ağı analogisi kullanılarak kararsız bir temelde birbiriyle ilişkilidir [6]. Üçüncü modül aydınlatmayı, sonuncusu ise binaya hizmet eden mekanik sistemi işler.

Sistem ısıtma, soğutma, havalandırma, kullanım sıcak suyu, kojenerasyon ve fotovoltaik unsurlara sahiptir.

3.2. HAP Yazılımı

Saatlik Analiz Programı, ticari binalarda HVAC sistemleri tasarlamak için çok yönlü özellikler ve tasarım alternatiflerinin enerji tüketimini ve işletme maliyetlerini karşılaştırmak için güçlü enerji analizi sağlamaktadır. Girdi verileri ve sistem tasarım hesaplamalarından elde edilen sonuçlar doğrudan enerji çalışmalarında kullanılabilir [7].

HAP, binanın ısı transferini ve yüklerini, hava sistemi çalışmasını ve tesis ekipmanı çalışmasını hesaplamak için yılın 8.760 saatinin tümü için ölçülen hava verilerini kullanarak gerçek bir saatlik enerji analizi gerçekleştirir. Hem sistem tasarımı hem de enerji analizi için klima santrallerinin termal ve mekanik davranışının ayrıntılı saat-saat simülasyonlarını gerçekleştirir [7].

3.3 EnergyPlus Yazılımı

EnergyPlus, mühendislerin, mimarların ve araştırmacıların hem enerji tüketimini - ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve fiş ve işlem yükleri için - hem de binalardaki su kullanımını modellemek için kullandıkları bütün bir bina enerji simülasyon programıdır [8].

Termal bölge koşullarının ve HVAC sisteminin entegre, eşzamanlı çözümü, yüzey sıcaklıkları, ısı konfor ve yoğuşma hesaplamaları üreten radyant ve konvektif etkilerin ısı dengesi bazlı çözümü, termal bölgeler ile çevre arasındaki etkileşim için saatin altında, kullanıcı tanımlı zaman adımları, bölgeler arası hava hareketini açıklayan birleşik ısı ve kütle transferi modeli ve görsel konfor ve sürüş aydınlatma kontrollerinin raporlanması için aydınlatma ve parlama hesaplamaları EnergyPlus'ın özellikleri arasındadır.

3.4. İzoder TS-825 Programı

TS 825 standardı esas alınarak oluşturulan bu hesap programıyla, enerji verimli yapı elemanlarının tasarımında kullanılması gereken yalıtım malzemesi ve kalınlığı belirlenmektedir. Yapı bina kabuğunu oluşturan duvar, döşeme, çatı, pencere sistemleri gibi yapı elemanları; bir bütün olarak yapının izin verilen enerji ihtiyacı içerisinde kalacağı şekilde tasarlanır bir bütün olarak ele alınır hacimlere ayrılarak hesap yapılmaz.

Bu program ile hesaplama yapabilmek için hesaplama yapılacak binada aşağıdaki bilgiler bilinmelidir [9]:

- Mimari proje
- Binanın bulunduğu konum
- Binanın yapı bilgileri

Bu programda binanın ısıtma ihtiyacını belirleyen faktörler ise aşağıdaki gibidir [9]:

- Bina özellikleri: İletim, taşınım ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıpları (varsa ısı geri kazanımı) ve ısı kapasite,
- Isıtma sisteminin karakteristikleri: Özellikle kontrol sistemleri ve ısıtma sisteminin, ısıtma enerjisi ihtiyacındaki değişmelere cevap verme süresi,
- İç iklim şartları: Binayı kullananların istediği sıcaklık değeri, binanın farklı bölümlerinde ve günün farklı zamanlarında bu sıcaklık değerlerindeki değişimler,
- Dış iklim şartları: Dış hava sıcaklığı, hâkim rüzgârın yönü ve şiddeti,
- İç ısı kazanç kaynakları: Isıtma sistemi dışında, ısıtmaya katkısı olan iç ısı kaynakları, yemek pişirme, sıcak su elde etme, aydınlatma gibi amaçlarla kullanılan ve ortama ısı yayan çeşitli cihazlar ve insanlar,
- Güneş enerjisi: Pencere gibi saydam bina elemanlarından ısıtılan mekâna doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarıdır.

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık gerekli ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe daha

yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Hesap metodunda ısıtılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdaki ve eğer varsa ısıtılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencereden oluşmaktadır. Hesaplamalarda dıştan dışa ölçüler kullanılır. Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli olarak ele alınır ve ısıtma enerjisi ihtiyacı 5 metoda göre hesaplanır. Binada sıcaklığı farkı yüksek başka bölgeler var ise o kısımlarda kapalı hacim içine alınarak ayrıca hesaplanır [9].

4.TEORİK UYGULAMA

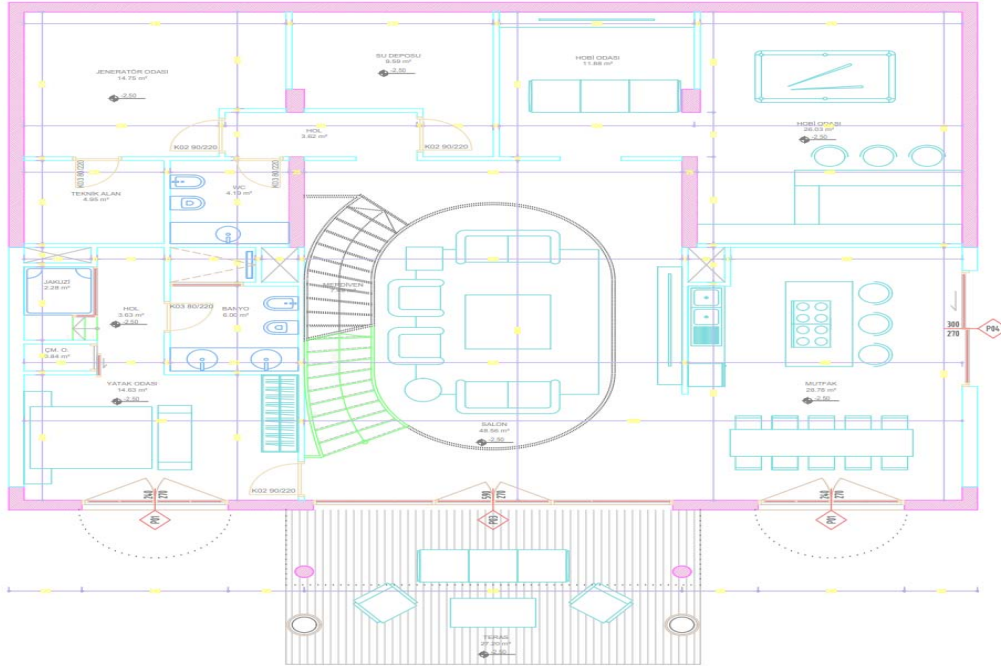
Çalışmamızda binalarda enerji verimliliğini değerlendirmek üzere teorik bir modelleme yapılmıştır. Bu modellemede kullandığımız bir binanın ısı kaybı; İstanbul, Antalya ve Erzurum illeri için üç farklı yöntemle hesaplanarak karşılaştırılmıştır. İlk olarak TS 825'te yer alan hesaplama yöntemi ile sonra Makine Mühendisleri Odasının "Kalorifer Tesisatı" kitabında yer alan hesaplama yöntemleri ile ve son olarak binalarda yeni enerji teknolojilerinden biri olan BEP-TR yazılımı ile hesaplanmıştır. Üç yöntemle elde edilen sonuçlar enerji performansı açısından karşılaştırılmıştır. Binada oluşan ısı kaybını daha net görebilmek için üç farklı iklim bölgesinde yer alan illerimiz seçilmiştir. Şekil 1'e göre Antalya 1.derece iklim bölgesinde, İstanbul 2.derece iklim bölgesinde ve Erzurum 5.derece iklim bölgesinde yer almaktadır.

Seçilen bina, 1 katlı ve 1 bodrumu olan müstakil bir konuttur. Giriş kapısı kuzey cepheye bakmaktadır. Toplam brüt alan 615,73 m² ve toplam hacim 1721,96 m³ tür. Cephelere göre alanlar belirlenmiş olup, her cephede yer alan toprak altında kalan duvar, dış yüzey, kolon, pencere ve tuğla alanları verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda ısı kaybı hesaplamaları üç farklı yöntemle yapılmıştır. Seçilen binanın mimari projesi Şekil 2 ve Şekil 3'te yer almaktadır.

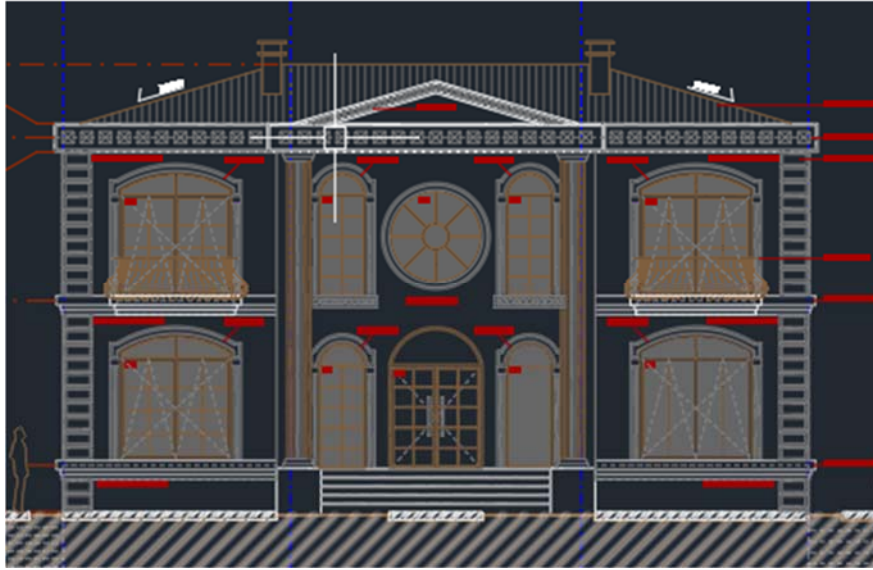
1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ ADANA ANTALYA İli 2. Bölgede olupda kendisi 1.Bölgede olan belediyeler BODRUM (Muğla) GÖKOVA (Muğla)	HATAY İZMİR DALAMAN (Muğla) DATÇA (Muğla)	MERSİN FETHİYE (Muğla) KÖYCEĞİZ (Muğla)	MARMARIS(Muğla) MILAS (Muğla)	
2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ AYDIN AYVALIK (Balıkesir) ADIYAMAN AMASYA BALIKESİR BARTIN BATMAN	BURSA ÇANAKKALE ÖZENLİ DIYARBAKIR DUZCE EDİRNE GAZİ ANTEP	GİRESUN İSTANBUL KİLİS KOCAELİ MARAŞ MANİSA MARDİN	KARAMAN MUĞLA OSMANIYE ORDU RİZE SAMSUN SAKARYA SİİRT KARAMAN MUĞLA OSMANIYE ORDU RİZE SAMSUN SAKARYA SİİRT	SİNOP ŞİRNAK ŞANLIURFA TEKİRDAĞ TRABZON YALOVA ZONGULDAK
İli 3. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler HOPA (Artvin) İli 4. Bölgede olupda kendisi 2.Bölgede olan belediyeler ABANA(Kastamonu) İNEBOLU (Kastamonu)	ARHAVİ (Artvin) BOZKURT (Kastamonu) CİDE (Kastamonu)	ÇATALZEYİN (Kastamonu) ÖĞÜNYURT (Kastamonu)		
3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ AFYON AKSARAY ANKARA ARTVİN BİLECİK BİNGÖL BOLU	BURDUR ÇANKIRI ÇORUM ELAZIĞ ESKİŞEHİR İĞDIR İSPARTA	KARABÜK KARAMAN KIRIKKALE KIRKLARELİ KIRŞEHİR KONYA KÜTAHYA	MALATYA NEVŞEHİR NİĞDE TOKAT TUNCELİ UŞAK	
İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler POZANTI (Adana) İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler MERZİFON (Amasya) İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler TOSYA (Kastamonu)	KORKÜTELİ (Antalya) DÜRSUNBEY (Balıkesir)	ULUS (Bartın)		
4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ BAYBURT BİTLİS ERZİNCAN	GUMÜŞHANE KASTAMONU KAYSERİ	HAKKÂRI MUŞ SİVAS	VAN YOZGAT	
İli 2. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler KELES (Bursa) ULUDAĞ (Bursa) İli 3. Bölgede olupda kendisi 4.Bölgede olan belediyeler KIĞI (Bingöl)	ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun) AFŞİN (K. Maraş) PULUMÜR (Tunceli)	ELBİSTAN (K. Maraş) GOKSUN (K. Maraş)	MESUDIYE (Ordu) SOLHAN (Bingöl)	
5. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ AĞRI	ARDAHAN	ERZURUM	KARS	

Not - Ek'te adı bulunmayan yerleşim birimleri, bağlı oldukları belediyenin bölgesinde sayılır.

Şekil 1.İllere göre derece gün bölgeleri [9]



Şekil 2. Bodrum kat planı



Şekil 3. Binaya ait kuzey cephe

Tablo 1'de toplam brüt alan, tuğla, kolon, pencere, dış kapı ve toprak altında kalan toplam alan gösterilmektedir. Binanın bodrum katı 236,28 m² zemin katı 199 m² ve 1.katı 180 m²'dir.

Tablo 1. Binaya ait toplam alanlar

Alanlar	Miktar	Birim
Toplam brüt alanları	615,73	m ²
Toplam tuğla alanı	256,66	m ²
Toplam kolon alanı	112,3	m ²
Toprak altında kalan duvar alanı	100	m ²
Toplam pencere alanı	147,4	m ²
Dış kapı alanı	4,4	m ²

4.1. İzoder TS-825 Programı İle Isı Kaybı Hesabı

İzoder TS-825 programı ile belirlemiş olduğumuz mimari projenin ısı kayıp hesaplamaları sırasıyla İstanbul, Antalya ve Erzurum için yapılmıştır.

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenirken özgül ısı kaybı, her ay için sıcaklık farkı, ısı kayıpları, iç ısı kazancı, güneş enerjisi kazancı, kazanç kayıp oranı, kazanç kullanım faktörü belirlenerek her ay için ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenir. Toplam alan 991,1 m² ve brüt hacim 1722 m³tür. Tablo 2'de İstanbul ili için hesaplaması yapılan binanın yıllık ısıtma enerjisi miktarı belirlenmiştir.

Türkiye'nin derece gün bölgelerine göre ısı geçirgenlik katsayısı belirlenmektedir. İstanbul ili 2.bölgede, Antalya ili 1. bölgede, Erzurum ili 3.bölgede bulunmaktadır.

Tablo 2. TS 825 e göre U değeri gereksinimleri [10]

TS 825 İklim Bölgesi	Duvar (W/m ² .K)	Çatı (W/m ² .K)	Zemin (W/m ² .K)	Pencere (W/m ² .K)
1	0,7	0,45	0,7	2,4
2	0,6	0,4	0,6	2,4
3	0,5	0,3	0,45	2,4
4	0,4	0,25	0,4	2,4

Hesaplama yapılırken bina yüzeyleri bu bölgelere göre belirlenmiş ısı geçirgenlik katsayısına (U) uygun olacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 3. İstanbul ili için TS-825 programı ile ısı kaybı hesabı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı	
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam				
	$H = H_T + H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K,°C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)				
OCAK	1.038,10	16,1	16.713	2.755	4.464	7.219	0,43	0,90	26.480.157	
ŞUBAT		14,6	15.156		5.421	8.176	0,54	0,84	21.483.170	
MART		11,7	12.146		6.086	8.841	0,73	0,75	14.294.543	
NİSAN		6,2	6.436		6.667	9.422	1,46	0,50	4.471.511	
MAYIS		1,0	1.038		7.274	10.029	9,66	0,00	0	
HAZİRAN		0,0	0		7.581	10.336	0,00	0,00	0	
TEMMUZ		0,0	0		7.403	10.158	0,00	0,00	0	
AĞUSTOS		0,0	0		7.114	9.869	0,00	0,00	0	
EYLÜL		0,0	0		6.333	9.088	0,00	0,00	0	
EKİM		4,9	5.087		5.411	8.166	1,61	0,46	3.447.852	
KASIM		10,5	10.900		4.227	6.982	0,64	0,79	13.955.717	
ARALIK		15,2	15.779		3.932	6.687	0,42	0,91	25.126.122	
$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t(J)$							1 kJ=0,278.10	KWh^{-3}	$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} =$	109.259.563
Toplam ısı kaybı							$Q_{yıl} = 0,278 \times 10 \times 109.259.563$	(kj) =	30.374	kWh
İç ısı Kazancı		$\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)								
Güneş enerjisi kazancı		$\phi_{g,ay} = \sum \Gamma_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$								
Kazanç kayıp oranı		$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_i - \theta_e)_{ay}$								
Kazanç kullanım faktörü		$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$								
$A_{toplam} = 999,1$		m^2								
$V_{brüt} = 1722$		m^3								
Hesaplama yapılan binadaki birim			alanına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı							
$Q = Q_{yıl} / A_n$		55,12 kWh/m ²		$A_n = 0,32 \times V_{brüt} =$		551,04		m^2		
$A_{top} / V_{brüt} = 0,58$		oranı		2. bölge için		EK A.2' de verilen $Q' =$		70x A/V + 24,4 formülünde		
				yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı		$Q' =$		65,01 kWh/m bulunur. ²		
<p>$Q < Q'$ (55,12<65,01) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standartlarda verilen hesap metoduna göre standartlara uygundur.</p>										

Tablo 3'e göre İstanbul ilinde yer alan bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 55,12 kWh /m²'dir. İstanbul 2.bölgede yer aldığından bina için olması gereken en büyük ısı kaybı 65,01'dir. Bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi olması gereken en büyük değer in altında olduğundan bu proje, bu hesap metoduna göre standartlara uygundur. Toplam ısı kaybı ise 30,37 kWh'tir.

Tablo 4. Antalya ili için TS-825 programı ile ısı kaybı hesabı

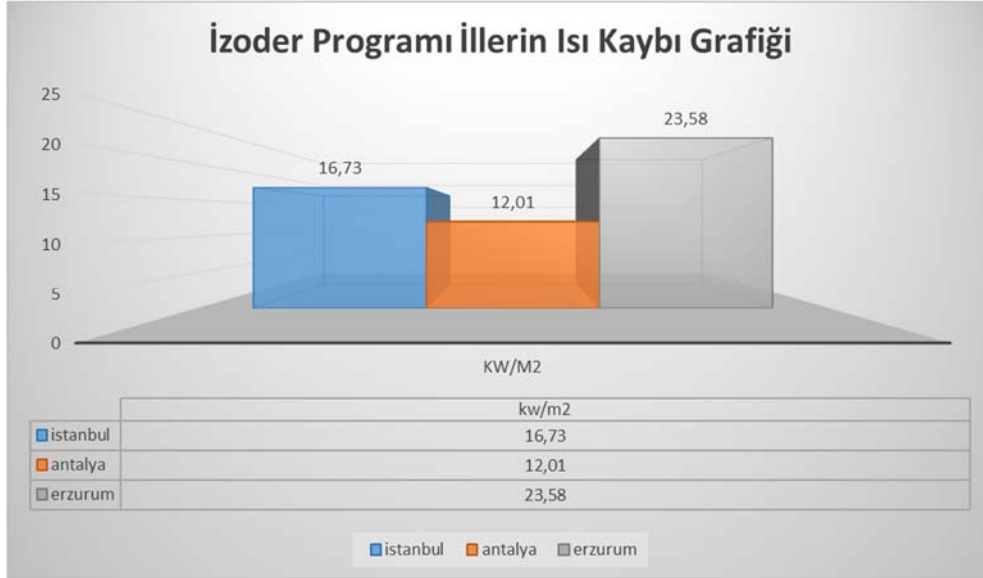
Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H = H_T + H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K,°C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
OCAK	1.133,02	10,6	12.010	2.755	4.464	7.219	0,60	0,81	15.972.972
ŞUBAT		10,0	11.330		5.421	8.176	0,72	0,75	13.473.216
MART		7,4	8.384		6.086	8.841	1,05	0,61	7.753.315
NİSAN		3,2	3.626		6.667	9.422	2,60	0,00	0
MAYIS		0,0	0		7.274	10.029	0,00	0,00	0
HAZİRAN		0,0	0		7.581	10.336	0,00	0,00	0
TEMMUZ		0,0	0		7.403	10.158	0,00	0,00	0
AĞUSTOS		0,0	0		7.114	9.869	0,00	0,00	0
EYLÜL		0,0	0		6.333	9.088	0,00	0,00	0
EKİM		0,5	567		5.411	8.166	14,41	0,00	0
KASIM		6,0	6.798		4.227	6.982	1,03	0,62	6.399.959
ARALIK		9,7	10.990		3.932	6.687	0,61	0,81	14.447.015
$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t(J)$ $1 \text{ kJ} = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}$							$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 58.047.163$		
Toplam ısı kaybı $Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 58.047.163 \text{ (kJ)} = 16.137 \text{ kWh}$									
İç ısı Kazancı		$\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n \text{ (W)}$							
Güneş enerjisi kazancı		$\phi_{g,ay} = \sum f_{i,ay} \times g_{i,ay} \times l_{i,ay} \times A_i$							
Kazanç kayıp oranı		$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$							
Kazanç kullanım faktörü		$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})}$							
$A_{toplam} = 999,1 \text{ m}^2$									
$V_{brüt} = 1722 \text{ m}^3$									
Hesaplama yapılan binadaki birim alanına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı									
$Q = Q_{yıl} / A_n = 29,28 \text{ kWh/m}^2$		$A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 551,04 \text{ m}^2$							
$A_{top} / V_{brüt} = 0,58$ oranı		1. bölge için EK A.2'aleman $Q' = 44,1 \times A/V + 10,4$ formülünde							
yerine konulduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı		$Q' = 35,99 \text{ kWh/m}^2$ bulunur.							
$Q < Q' (29,28 < 35,99)$ olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değerinin altındadır. Bu proje, bu standartlarda verilen hesap metoduna göre standartlara uygundur.									

Tablo 4'e göre Antalya ilinde yer alan bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 29,28 kWh /m²'dir. Antalya 1.bölgede yer aldığından bina için olması gereken en büyük ısı kaybı 35,99'dur. Bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi olması gereken en büyük değerinin altında olduğundan bu proje, bu hesap metoduna göre standartlara uygundur. Toplam ısı kaybı ise 16,13 kWh'tir.

Tablo 5. Erzurum ili için TS-825 programı ile ısı kaybı hesabı

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç Kullanım Faktörü	Isıtma Enerjisi İhtiyacı
	Özgül Isı Kaybı	Sıcaklık Farkı	Isı Kayıpları	İç Isı Kazancı	Güneş Enerjisi Kazancı	Toplam			
	$H = H_T + H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K,°C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
OCAK	966,76	24,4	23.589	2.755	4.464	7.219	0,31	0,96	43.178.946
ŞUBAT		23,7	22.912		5.421	8.176	0,36	0,94	39.467.378
MART		18,7	18.078		6.086	8.841	0,49	0,87	26.922.098
NİSAN		11,1	10.731		6.667	9.422	0,88	0,68	11.207.642
MAYIS		6,2	5.994		7.274	10.029	1,67	0,45	3.838.265
HAZİRAN		1,7	1.643		7.581	10.336	6,29	0,00	0
TEMMUZ		0,0	0		7.403	10.158	0,00	0,00	0
AĞUSTOS		0,0	0		7.114	9.869	0,00	0,00	0
EYLÜL		2,5	2.417		6.333	9.088	3,76	0,00	0
EKİM		8,7	8.411		5.411	8.166	0,97	0,64	8.253.996
KASIM		15,9	15.371		4.227	6.982	0,45	0,89	23.735.680
ARALIK		21,8	21.075		3.932	6.687	0,32	0,96	37.987.491
$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t$ (J) 1 kJ=0,278.10 kWh ⁻³							$Q_{yil} = \sum Q_{ay} = 194.591.889$		
Toplam ısı kaybı $Q_{yil} = 0,278 \times 10^{-3} \times 194.591.889$ (kj) = 54.097 kWh									
İç ısı Kazancı $\phi_{i,ay} \leq 5 \cdot A_n$ (W)									
Güneş enerjisi kazancı $\phi_{g,ay} = \sum \tau_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i$									
Kazanç kayıp oranı $KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay})$									
Kazanç kullanım faktörü $\eta_{ay} = 1 - e^{-1/KKO_{ay}}$									
$A_{toplam} = 999,1$ m ²									
$V_{brüt} = 1722$ m ³									
Hesaplama yapılan binadaki birim alanına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı									
$Q = Q_{yil} / A_n = 98,17$ kWh/m ² $A_n = 0,32 \times V_{brüt} = 551,04$ m ²									
$A_{top} / V_{brüt} = 0,58$ oranı 4. bölge için EK A.2' alanın $Q' = 82,8 \times A/V + 50,7$ formülünde yerine konduğunda bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 98,74$ kWh/m bulunur. ²									
Q < Q' (98,17 < 98,74) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olması gereken en büyük değer in altındadır. Bu proje, bu standartlarda verilen hesap metoduna göre standartlara uygundur.									

Tablo 5'e göre Erzurum ilinde yer alan bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 98,1 kWh/m²'dir. Erzurum 3.bölgede yer aldığından bina için olması gereken en büyük ısı kaybı 98,74'tür. Bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi olması gereken en büyük değer in altında olduğundan bu proje, bu hesap metoduna göre standartlara uygundur. Toplam ısı kaybı ise 54,09 kWh'tir.



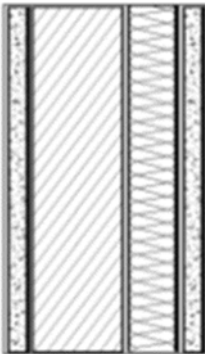
Şekil 4.İllerin Ocak ayına ait ısı kaybı grafiği

Şekil 4'e göre her 3 ilimiz için de yer alan Ocak ayı verileri, bina için olması gereken en büyük ısı kaybı değerinin altında olduğundan tutarlı bir sonuç vermektedir.

4.2. MMO Isı Cetveli ile Isı Kaybı Hesabı

Üç il için yapılan hesaplamalar, MMO kitabındaki formüller kullanılarak ve kitapta yer alan tablolara göre hesaplanarak ısı kaybı belirlenmiştir ve hesap çizelgesinde yer almaktadır.

İstanbul için dış sıcaklık değeri -3°C , Antalya için $+3^{\circ}\text{C}$ ve Erzurum için -21°C 'dir. Tesisat projelerinde kullanılan iç hava sıcaklıkları olarak yatak odası 20°C olarak verilmiştir. Hesaplamalarda iç ortam sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır. U ısı geçirme katsayısı, İzoder programında kullandığımız duvar kalınlıkları ve türleri ile aynı alınmıştır. Örnek olarak İstanbul bölgesindeki tuğla duvar aşağıdaki şekildedir.



d(m)	Malzemenin Cinsi veya Bileşenin Çeşidi	Isıl İletkenlik Hesap	μ
0,02	4.4 Yanlız alçı kullanılarak (agregasız) yapılmış sıva	0,51	10
0,19	7.1.5.1 Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,33	5
0,03	10.3.2.1.1 Ekstrüde polistren köpüğü - TS 11989 EN 13164e uygu	0,03	80
0,03	4.1 Kireç harcı,kireç-çimento harcı	1	15

Şekil 5. İstanbul İli için kullanılan binaya ait tuğla duvarın özellikleri

İstanbul ili için yapılan ısı kaybı hesabı Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. İstanbul ili için yapılan ısı kaybı hesabı

İSTANBUL -3°C		ISI KAYBI HESABI											SICAKLIK		3°C		
		Tesisin Adı: TÜM EV											Tarih				
Yapı		Alan Hesabı					Isı kaybı Hesabı					Zamlar					
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan A	Isı Geçirime Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamansız Isı Kaybı	Birleşik Kat Yükseklik	Yön	Toplam	Toplam Isı İhtiyacı	Toplam Isı İhtiyacı	
																	Ao
		cm	m	m	m²	Ad	m²	Kcal/m²h°C	°C	W/h	%	%	%	1+%	W/h	kcal/h	
SALON 20°C																	
DIŞ DUVAR					256,66	1	256,66	0,551	23	3253	7	1	0				
DIŞ KAPI					4,00	1	4,00	3,5	23	322	7	1	0				
ÇİFT CAMLI PENCERE					147,40	1	147,40	2,2	23	7.458	7	1	0				
DIŞ KOLAN					112,30	1	112,30	0,547	23	1.413	7	1	0				
TOPRAK TEMASLI DUVAR					100,00	1	100,00	0,432	23	994	7	1	0				
TAVAN					180,00	1	180,00	0,353	23	1.461	7	1	0				
TABAN					200,00	1	200,00	0,579	23	2.663	7	1	0				
Hava sızıntı ısı kaybı $Q_s = a \times R \times H \times Z \times L \times Dt \times Xe$											17.564	7	1	0	1,08	18970	16313,8
		Qs	a	R	H	Z	L	Dt	E								
		Qs	2	0,9	0,48	1,20	24,00	23	1	629,54	W/h						
															18970	W/h	
															629,54	W/h	
Qh=Qi+Qs toplam															19599,05	W/h	
															19,60	KWh	

Hesaplamalarda ilk olarak $Q_i = A \cdot U \cdot \Delta t$ formülü ile toplam ısı ihtiyacı belirlenmiştir. Formülde yer alan değeri, tüm cephelerin toplam alanıdır. U ısı geçirme katsayısı, İzoder programında kullandığımız duvar kalınlıkları ve türleri ile aynı alınmıştır. Δt için tablodan İstanbul dış sıcaklık değeri - 3°C alınmıştır ve her bir yüzey için ısı kaybı hesaplanmıştır. Saatteki toplam ısı kaybı 17,271 W/h elde edilerek bu değer, artırımlar (zam) ile çarpılmıştır. Toplam artırım Z_d , konut olduğu için 0,7, yükseklik artırım Z_w , katlı olduğu için 1, yön artırım katsayısı Z_h ise tüm cepheler toplandığı için 0 alınmıştır. Böylece toplam ısı ihtiyacı hesaplanmıştır. Daha sonra hava sızıntı ısı kaybını belirlemek için $Q_s = a \times R \times H \times Z \times L \times Dt \times Xe$ formülü kullanılmıştır. Burada birim aralık sızdırganlığı $a = 2 \text{ m}^3 / \text{h m}$, sızıntı aralık çevre uzunluğu (pencere çerçeveleri) $L = 24 \text{ m}$, oda özelliği katsayısı $R = 0,9$, bina katsayısı rüzgârlı serbest bölge $H = 0,48$, köşe artırım katsayısı $Z = 1,1$, $T_{iç} = 20^\circ\text{C}$ sabit kabul edilmiştir. Hava sızıntı ısı kaybı $Q_s = 761 \text{ W/h}$ bulunmuştur. Toplam ısı kaybı $Q_h = (Q_i + Q_s) 19,599 \text{ KW/h}$ olarak bulunmuştur. Aynı işlemler Antalya ve Erzurum illeri için tekrarlanmış olup, Toplam ısı kaybı Tablo 7 ve Tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 7. Antalya ili için yapılan ısı kaybı hesabı

ANTALYA +3°C		ISI KAYBI HESABI											SICAKLIK		3°C		
		Tesisin Adı: TÜM EV											Tarih				
Yapı Bileşeni		Alan Hesabı					Isı kaybı Hesabı					Zamlar					
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan A	Isı Geçirime Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamansız Isı Kaybı	Birleşik Kat Yükseklik	Yön	Toplam	Toplam Isı İhtiyacı	Toplam Isı İhtiyacı	
																	Ao
		cm	m	m	m²	Ad	m²	Kcal/m²h°C	°C	W/h	%	%	%	1+%	W/h	kcal/h	
SALON 20°C																	
DIŞ DUVAR					256,66	1	256,66	0,675	17	2.945	7	1	0				
DIŞ KAPI					4,00	1	4,00	3,5	17	238	7	1	0				
ÇİFT CAMLI PENCERE					147,40	1	147,40	2,2	17	5.513	7	1	0				
DIŞ KOLAN					112,30	1	112,30	0,59	17	1.126	7	1	0				
TOPRAK TEMASLI DUVAR					100,00	1	100,00	0,432	17	734	7	1	0				
TAVAN					180,00	1	180,00	0,429	17	1.313	7	1	0				
TABAN					200,00	1	200,00	0,67	17	2.278	7	1	0				
Hava sızıntı ısı kaybı $Q_s = a \times R \times H \times Z \times L \times Dt \times Xe$											14.147	7	1	0	1,08	15279	13140,1
		Qs	a	R	H	Z	L	Dt	E								
		Qs	2	0,9	0,48	1,20	24,00	23	1	629,54	W/h						
															15279	W/h	
															629,54	W/h	
Qh=Qi+Qs toplam															15908,78	W/h	
															15,91	KWh	

Antalya ili için toplam ısı kaybı 15,91 KW/h olarak bulunmuştur.

Tablo 8. Erzurum ili için yapılan ısı kaybı hesabı

ERZURUM -21°C		ISI KAYBI HESABI											SICAKLIK			
		Tesisin Adı:TÜM EV											-21			
Yapı		Alan Hesabı				Isı kaybı Hesabı				Zamlar						
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan Hesaba Giren Alan A	Isı Geçirime Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Zamansız Isı Kaybı	Birleşik Kat Yükseklik	Yön	Toplam	Toplam Isı İhtiyacı	Toplam Isı İhtiyacı		
															Qo	Zb
SALON 20°C																
DIŞ DUVAR				256,66	1	256,66	0,378	41	3.978	7	1	0				
DIŞ KAPI				4,00	1	4,00	3,5	41	574	7	1	0				
ÇİFT CAMLI PENCERE				147,40	1	147,40	2,4	41	14.504	7	1	0				
DIŞ KOLAN				112,30	1	112,30	0,376	41	1.731	7	1	0				
TOPRAK TEMASLI DUVAR				100,00	1	100,00	0,385	41	1.579	7	1	0				
TAVAN				180,00	1	180,00	0,24	41	1.771	7	1	0				
TABAN				200,00	1	200,00	0,391	41	3.206	7	1	0				
Hava sızıntı ısı kaybı $Q_s = a \times R \times H \times Z \times L \times Dt \times Xe$									27.343	7	1	0	1,08	29530	25396,2	kcal/h
											29530	W/h				
											786,93	W/h				
											QH=Qi+Qs toplam		30317,36	W/h		
													30,32	KWh		

Erzurum ili için toplam ısı kaybı 30,32 KW/h olarak bulunmuştur.

4.3. BEP-TR ile Isı Kaybı Hesabı

Son olarak BEP-TR kullanılarak üç il için ısı kaybı hesabı yapılmış olup, binaya ait ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su ve aydınlatma için kullanılan enerji tüketimleri ile bunların sahip olduğu enerji sınıfı ve bina enerji performansı belirlenmiştir. İlk olarak Tablo 9'da İstanbul için ısı kaybı hesaplanmıştır.

İSTANBUL

Yıllık Enerji Tüketimleri				Yenilenebilir Enerji				Bina Sınıfı		Ca2 Sınıfı	
Yapı	Yön	Alan (m²)	Isı Kaybı (kWh/yıl)	Yenilenebilir Enerji (kWh/yıl)	CO2 Emisyonu (kg CO2e/yıl)	Yenilenebilir Enerji (kWh/yıl)	CO2 Emisyonu (kg CO2e/yıl)	Bina Sınıfı	Ca2 Sınıfı	Yapı	Yön
Toplam		4000,00	1100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	C 103	C 117		
Isıtma		3513,95	110,95	26,10	0,00	0,00	0,00	C 96	C 96		
Sıhhi Sıcak Su		412,76	13,13	3,00	0,00	0,00	0,00	C 96	C 96		
Soğutma		115,09	15,70	1,20	1,68	0,00	0,00	C 96	C 96		
Havalandırma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	C 100	C 100		
Aydınlatma		102,67	19,42	0,72	1,96	0,00	0,00	F 150	F 150		
Yenilenebilir Enerji		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Toplam Kullanılan Alan			316,71	Bina Enerji Toplamı			526,55	On Hesap Sonuç Raporu			

Şekil 6. İstanbul ili için BEP-TR arayüzü

Tablo 9. BEP-TR ile İstanbul ili için yapılan ısı kaybı hesabı

BEP-TR ile İstanbul ili için yapılan ısı kaybı hesabı ön hesap raporu sonucuna göre yıllık toplam enerji tüketimi 42908,22 kWh/yıl'dır. Toplam enerji sınıfı C, ısıtma sınıfı D, sıhhi sıcak su sınıfı C, soğutma sınıfı B, havalandırma sınıfı D, aydınlatma sınıfı F sınıfıdır. Yapılan rapor sonucuna göre sera gazı emisyonu 32,65 kg eşd. CO₂ / m² yıl olup, İstanbul'da yer alan bina yüksek enerji sınıfına ve düşük sera gazı emisyonuna sahiptir.

Tablo 10. BEP-TR ile Antalya ili için yapılan ısı kaybı hesabı



BEP-TR ile Antalya ili için yapılan ısı kaybı hesabı ön hesap raporu sonucuna göre yıllık toplam enerji tüketimi 31183,22 kWh /yıl'dır. Toplam enerji sınıfı C, ısıtma sınıfı E, sıhhi sıcak su sınıfı C, soğutma sınıfı B, havalandırma sınıfı D, aydınlatma sınıfı E sınıfıdır. Yapılan rapor sonucuna göre sera gazı emisyonu 25,90 kg eşd. CO₂ / m² yıl olup, Antalya'da yer alan bina yüksek enerji sınıfına ve düşük sera gazı emisyonuna sahiptir.

Tablo 11. BEP-TR ile Erzurum ili için yapılan ısı kaybı hesabı



BEP-TR ile Erzurum ili için yapılan ısı kaybı hesabı ön hesap raporu sonucuna göre yıllık toplam enerji tüketimi 93936,12 kWh /yıl'dır. Toplam enerji sınıfı C, ısıtma sınıfı C, sıhhi sıcak su sınıfı C, soğutma sınıfı D, havalandırma sınıfı D, aydınlatma sınıfı E sınıfıdır. Yapılan rapor sonucuna göre sera gazı emisyonu 70,14 kg eşd. CO₂ / m² yıl olup, Erzurum'da yer alan bina yüksek enerji sınıfına ve düşük sera gazı emisyonuna sahiptir.

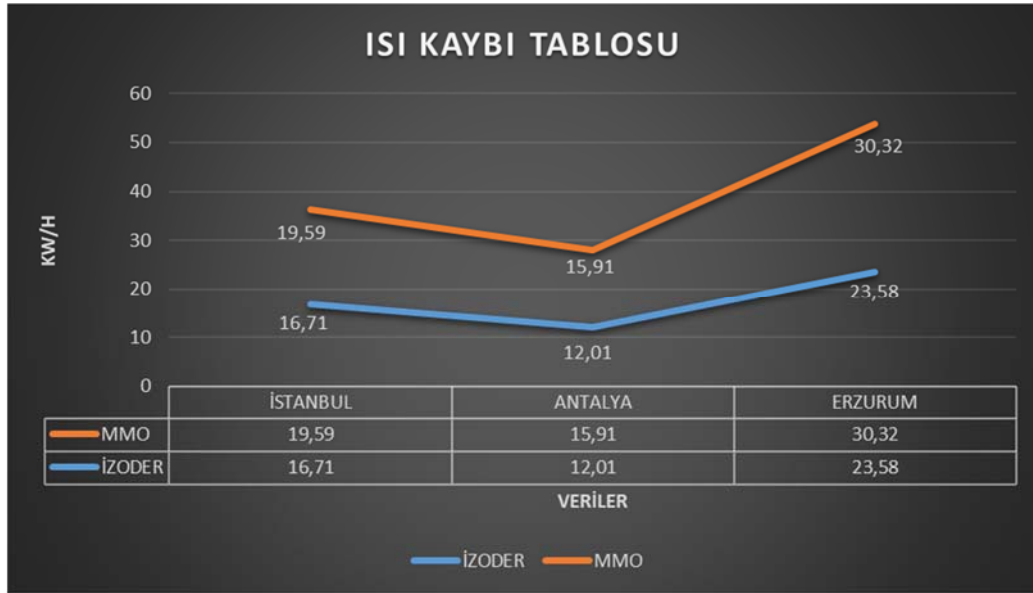
5. ISI KAYBI ANALİZİ

Üç il için MMO ısı cetveli ve İzoder ile ısı kaybı analizi karşılaştırılmış olup, yüzde sapma oranları Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Üç il için MMO ısı cetveli ve İzoder ile ısı kaybı analizi karşılaştırılması

İl	MMO	İzoder (Ocak Ayı İçin)	Yüzde Sapma Oranı
İstanbul	19,59 kW/h	16,71 kW/h	%14
Antalya	15,91 kW/h	12,01 kW/h	%24
Erzurum	30,32 kW/h	23,58 kW/h	%22

İstanbul hesaplamada en az sapma oranına sahiptir. Antalya ve Erzurum için yapılan analiz sonuçlarında sapma oranı yüzdesi daha yüksek çıkmıştır. Fakat İzoder programının hesaplamada kullandığı sıcaklık değerleri, MMO kitabından alarak kullandığımız sıcaklık değerlerinden biraz farklıdır ve toprağa temas eden yüzeyde A*U değerleri 0,5 ile tavanda ise 0,8 katsayı ile çarpılmaktadır. Bu sebeple yüzde sapma meydana gelmesi doğal bir durumdur.

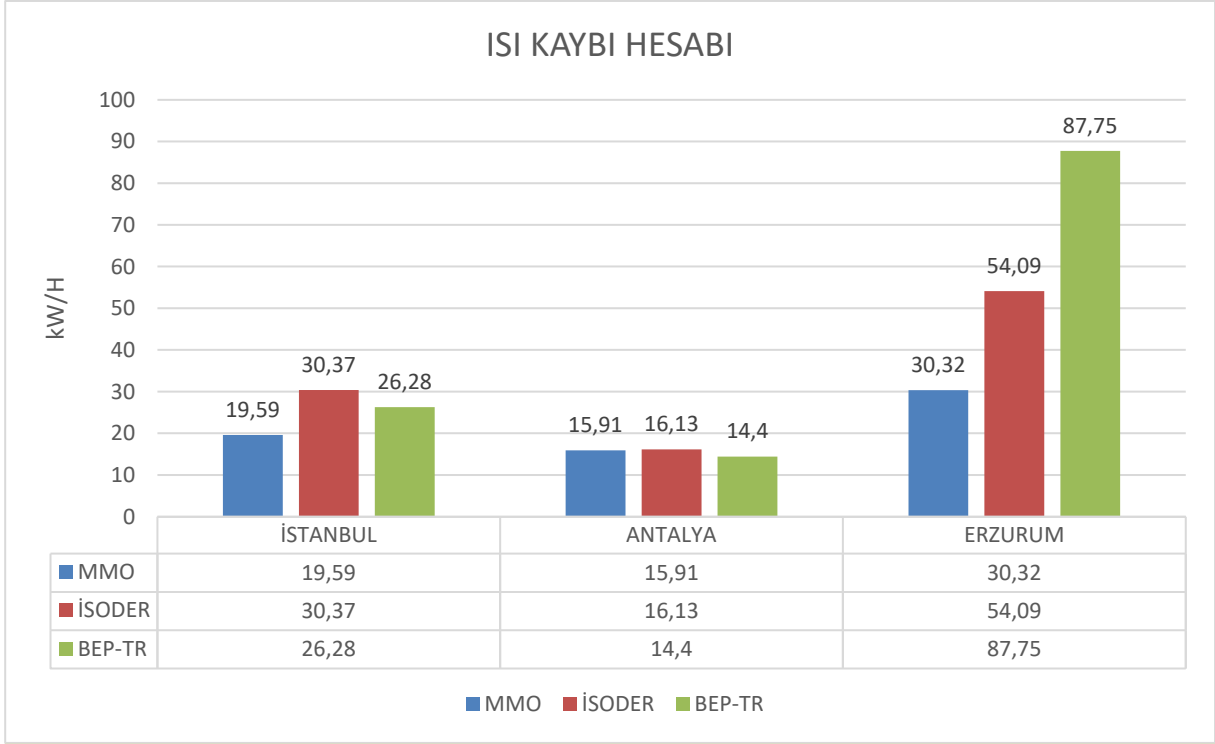


Şekil 7. MMO ve İzoder ısı kaybı tablosu

Üç il için yapılan üç farklı analiz sonuçları hesaplanmış olup, Tablo 13'te yer almaktadır.

Tablo 13. Üç il için yapılan üç farklı analiz sonuçlarının karşılaştırılması

İL	MMO	İZODER	BEP-TR
İstanbul	19,59 kW/h	30,374 kW/h	26,285 kW/h
Antalya	15,91 kW/h	16,137 kW/h	14,409 kW/h
Erzurum	30,32 kW/h	54,097 kW/h	87,759 kW/h



Şekil 8. Üç il için yapılan üç farklı analiz sonuçları grafiği

Şekil 8'de görüldüğü üzere BEP-TR yazılımında en hatalı sonuç Erzurum bölgesi için yapılan ısı kaybında bulunmuştur. Antalya ve İstanbul'un değerleri diğer iki yöntem sonuçları ile karşılaştırıldığında daha yakın çıkmıştır.

6.SONUÇ

Binalar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Bu tüketim esnasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve binalarda enerji performansının sürdürülebilir olması önem arz etmektedir. Bu bağlamda akıllı binalar enerji verimliliğinin önemli bir aşamasını temsil etmektedir.

Bu çalışmada İstanbul, Antalya ve Erzurum illerinde yer alan aynı özelliklere sahip binada meydana gelen ısı kayıpları üç farklı yöntemle araştırılmıştır. İlk olarak TS 825'te yer alan hesaplama yöntemi ile sonra Makine Mühendisleri Odasının "Kalorifer Tesisatı" kitabında yer alan hesaplama yöntemleri ile ve son olarak binalarda yeni enerji teknolojilerinden biri olan BEP-TR yazılımı ile hesaplanmıştır. Üç yöntemle elde edilen sonuçlar enerji performansı açısından karşılaştırılmıştır.

İzoder ts 825 programı ile belirlemiş olduğumuz mimari projenin ısı kayıp hesaplamaları sonucunda İstanbul' da yer alan bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 55,12 kWh /m² ve toplam ısı kaybı 30,37 kWh, Antalya'da yıllık ısıtma enerjisi miktarı 29,28 kWh /m² ve toplam ısı kaybı 16,13 kWh, Erzurum'da yıllık ısıtma enerjisi miktarı 98,17 kWh /m² ve toplam ısı kaybı 16,13 kWh'tir. Bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi olması gereken en büyük değer altında olduğundan bu proje, bu hesap metoduna göre standartlara uygundur. İkinci metot olan MMO ısı cetveli ile ısı kaybı hesabı yönteminde İstanbul için toplam ısı kaybı 19,599 KW/h, Antalya için 15,91 KW/h ve Erzurum için 30,32 KW/h olarak bulunmuştur. Son olarak BEP-TR kullanılarak üç il için ısı kaybı hesabı yapılmış olup, İstanbul ili için yıllık toplam enerji tüketimi 42908,22 kWh /yıl, Antalya için 31183,22 kWh /yıl, Erzurum için 93936,12 kWh /yıl'dır. Binaların enerji sınıfı C sınıfı çıkmış olup, bina yüksek enerji sınıfına ve düşük sera gazı emisyonuna sahiptir.

Üç yöntem ile yapılan ısı kaybı karşılaştırıldığında, BEP-TR yazılımında en hatalı sonuç Erzurum bölgesi için yapılan ısı kaybında bulunmuştur. Antalya ve İstanbul'un değerleri diğer iki yöntem sonuçları ile karşılaştırıldığında daha yakın çıkmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda bina ısı kaybı uygulamalarında geleneksel yöntemlere alternatif olarak yeni enerji teknolojilerinin uygulanabileceği ve olumlu sonuçlar getirdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] HEPERKAN, H., ONAL, B. S., UYAR, T. S., "Efficient Use of Energy in Buildings—New Smart Trends. In Accelerating the Transition to a 100% Renewable Energy Era", Springer, Cham, (pp. 439-484), 2020.
- [2] "Isı Pompası Nedir?" <https://midori.com.tr/isi-pompasi/isi-pompasi-nedir.html>, Access Date:01.02.2021.
- [3] PRAVADALIOĞLU, S., "Yerinde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri", E.M.O. İ. Ş. E., Şti, Ü. T. E. M. L.,2011.
- [4] ÖZKARA G., "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Nelerdir?", <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>,2018.
- [5] KAYA D., "Neden Yoğuşmalı Kombi?" <http://www.dogalgaz.com.tr/yayin/214/6028.html>, 2018.
- [6] KORKMAZ E., "Binalarda Enerji Performansı (BEP)", <http://www.atermit.com/Sayfalar/bep-tr>, Access Date: 05.10.2020.
- [7] "Hourly-Analysis-Program (HAP)", <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>, Access Date:28.09.2020.
- [8] <https://energyplus.net/>, Access Date:25.10.2020.
- [9] TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları", Aralık 2013.
- [10] "Türkiye-U-DeğerleriHaritasıRaporu",2016, <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/haberler/Turkiye-U-degerleri-haritasi-raporu-2016-Turkce.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Büşra Selenay ÖNAL

1993 Balıkesir doğumludur. 2016 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü üniversite 1.si olarak bitirmiştir.2018 yılında aynı üniversitede yüksek lisansını tamamlamıştır.2018 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı Proses Anabilim dalında doktora başlamış olup, doktora tez aşamasındadır. İstanbul Aydın üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları olarak termofotovoltaik sistemler, sıfır enerjili binalar, yeni enerji teknolojileri, ısı değiştiricilerinde yoğuşma ve binalarda enerji verimliliği yer almaktadır. Bu alanlarda kitap bölümü, uluslararası makaleleri ve bildirimleri yer almaktadır.

Hasan Alpay HEPERKAN

İTÜ Makina Fakültesi'nden (1974) mezun olmuş, ABD de, Syracuse University de M.Sc. (1976) ve University of California, Berkeley de Ph. D.(1980) derecelerini elde etmiş, Lawrence Berkeley Laboratuvarı'nda araştırmacı olarak çalışmıştır.1984 yılında TÜBİTAK ve Demirdöküm'de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi'ne geçerek profesör ünvanını almış ve Makina Fakültesi dekanı olarak görev yapmıştır; Şuan İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi dekanıdır. Türkiye Yenilenebilir Enerji Derneği; ISKAV, Isıtma, Soğutma, Klima Araştırma ve Eğitim Vakfı; TTMD, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği; İSKİD



üyesidir. Çeşitli ulusal ve uluslararası ödüller kazanmış, birçok kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.

