



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. Atıcı,	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 Mikrobiale 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. "Düzensel 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 Kırış. "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



PANDEMİ İLE MÜCADELELERDE HASTANELERDE KLİMA VE HAVALANDIRMA TESİSATINDA ALINACAK ÖNLEMLER

Precautions To Be Taken In Hvac Systems Of Hospitals To Fight Against Coronavirus

Mustafa Bilge
Tevfik Peker
M. Zeki Yılmazoğlu

ÖZET

Covid 19 virüsünün bilinen yayılma alanlarından bir tanesi de hastanelerin hasta odaları, acil alanları, yoğun bakım alanları ve ameliyathanelerdir. Bu makalede hastanelerdeki HVAC sistemlerinde virus yayılımının azaltılması için tavsiyeler verilmiştir. Günümüzde binlerce hastane çalışanı, iyi tasarlanmamış havalandırma sistemleri sebebiyle risk altında çalışmaktadır. Bu makalede verilen önerilere bağlı olarak, izole hasta odaları, negatif basınçlı yoğun bakım odaları, hasta odaları, ameliyathaneler ve acil alanlardaki bulaş miktarını azaltmak mümkündür. Bu öneriler yeni hastaneler tasarlanırken ya da eski hastanelerin HVAC sistemleri revize edilirken dikkate alınmalıdır. Makalede, Covid 19 ile savaşmak için gerekli bazı notlara da yer verilmiştir

Anahtar Kelimeler: Covid-19, Sars-Cov-2, sağlık hizmetleri, hastane, havalandırma, hvac

ABSTRACT

Covid-19 pandemic is spreading rapidly and one of the areas of infection is known to be hospitals, presumably patient rooms, emergency areas, intensive care units as well as operation rooms. This paper provides suggestions for the design of HVAC systems of hospitals to help reduce the rate of spread of airborne diseases in such areas. Thousands of healthcare workers are subject to the virus due to design problems in HVAC systems. By following the suggestions given in this study related to isolation patient rooms, negative pressure intensive care rooms, patient rooms, operation rooms, and emergency areas, it is possible to reduce the transmission rate of airborne diseases in hospitals. These suggestions should be followed during new hospital designs as well as modifications of old HVAC systems. Some practical recommendations related to HVAC Systems are also provided to fight the Covid-19 virus in hospitals.

Key Words: Covid-19, Sars-Cov-2, healthcare, hospital, ventilation, hvac.

1. GİRİŞ

Bu makale, bir salgın hastalık sırasında pandemi hastalarına da olabildiğince hizmet edebilecek yeni yapılacak hastanelerin klima tasarımına yönelik öneriler haricinde mevcut hastanelerin, hayli eski olanlar da dahil, mekanik tesisat sistemleri üzerinde yapılabilecek değişiklik ve iyileştirme önerilerini de içermektedir.

Son yaşadığımız pandemi dönemi deneyimlerimizi de dikkate alarak tasarlanan yeni hastaneler pandemi koşullarında doğru bir şekilde hastalara hizmet edebilirler. Bu şekilde klima sistemleri tasarlanan hastaneler salgın sona erdiğinde kolayca tekrar normal işletme moduna döndürülebilirler. Covid-19 pandemisi gibi ciddi ve tehlikeli bir salgını ile mücadele eden binlerce sağlık çalışanı pandemi döneminde risk altında çalışmaktadır. Bu çalışma, hem sağlık çalışanları hem de Sars-Cov-2 bulaşı nedeniyle enfekte olmuş hastaların olası risklerini klima sistemlerinde alınacak önlemler ile bir ölçüde azaltabilme amacıyla hazırlanmıştır.

2. VİRÜSLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Covid-19 pandemisi dikkate alınarak klima sistem tasarımı yapılırken Covid-19 virüsünü yakından tanımamız gerekmektedir. Tablo 1'de görüldüğü gibi virüslerin boyutları 0.003 mikron ile 0.1 mikron arasındaki değişirken, damlacık ile birlikte taşınması durumunda boyutları 1 mikron ile başlayıp 10 mikronun üzerine çıkabilmektedir. Virüslerin hava içinde çökme hızları damlacık büyüdükçe hızlanmakta damlacık çapı küçüldükçe havada kalma süreleri artmaktadır.

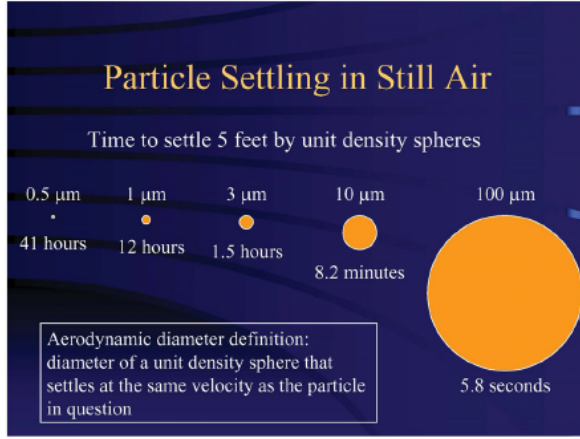
Şekil 1 'de benzer şekilde damlacıkların çökme süreleri örnekleme ile açıklanmıştır. Bulaşta en etken olan konuşma, hapşırma veya bağırmaya ile oluşan ve sosyal mesafede etkin olan (1-2 m) büyük çaplı (10 mikrondan büyük olan) damlacıklardır. Bu büyük boyutlu damlacıkların büyük kısmı yerçekimi nedeniyle kısa bir sürede çökmektedir. Tablo 1 'de büyük çaplı damlacıkların çökme hızları ve süreleri belirtilmiştir.

Tablo 1 – Havada taşınan parçacık boyutları, çökme hızları, difüzyon katsayıları (ASHRAE Fundamentals 1993, p, 11.3)

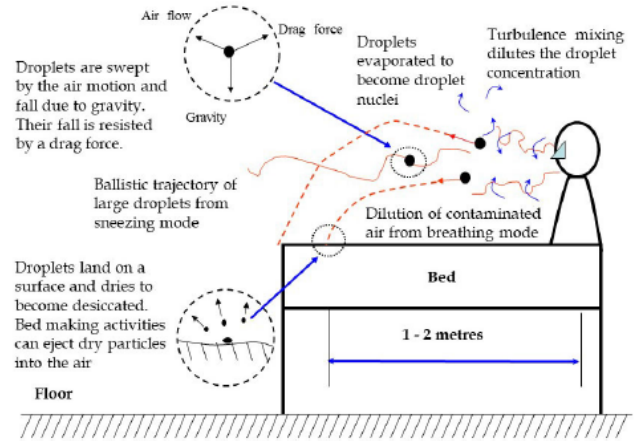
Typical particles	Particle diameter, μm									
	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000	1000	1000	1000
Settling velocity in air	$\frac{\text{ft}}{\text{sec}}$	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
	$\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	100	1000
Diffusion coefficient in air	$\frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}$	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
	$\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}

Bilindiği gibi büyük çaplı virüslerin (100 mikron) bir kısmı ortam koşullarına da bağlı olarak sosyal mesafe içerisinde çökerken bir kısmı buharlaşarak küçülürler. Bu küçük çaplı boyutları genellikle 5

mikron ve altı olan uçucular; damlacık çekirdeği veya aerosol olarak tanımlanır. Bu küçük çaplı içinde virüsleri de barındıran aerosol olarak tanımlanan bu uçucular uzun süre bulaşı özelliklerini de koruyarak havada askıda kalabilmekte ve hava akımlarına bağlı olarak uzak mesafelere taşınabilmektedir. Bu şekilde enfekte olmuş kişinin sosyal mesafesinden daha uzakta olan bir kişiyi enfekte edebilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1- (a) Hareketsiz havaya yerleşen partiküller için partikül çapına göre karşılaştırmalı çökme süreleri ve (b) enfekte bir hasta tarafından üretilen damlacıkların ve havadaki küçük parçacıkların bulaşmasının teorik aerobiolojisi [3]

- Virüsün 30°C ve üzeri sıcaklıkta etkinliği azalmaktadır.[1]
- Virüslerin çoğu 60 °C'de yarım saat sıcaklığa maruz bırakıldığında etkisini büyük ölçüde yitirmektedir. 90°C'de etkinliğini tamamen kaybetmektedir. [1]
- Virüs ancak canlı organizmalarda çoğalabilmektedir.
- 100 µm olan damlacıkların bir kısmı yerçekimi ile aşağı doğru inerken yapısındaki su ile buharlaşarak 10 µm den küçük yapıya dönüşürler. Bunlar damlacık çekirdeği veya aerosol olarak adlandırılmaktadır. (Şekil 1)
- 10 µm den küçük havada askıda olan parçacıklar hava akımı ile sosyal mesafeden çok daha uzaklara taşınabilirler.
- 10 µm den küçük parçacıklar Şekil 1'de belirtildiği gibi boyutlarına göre durgun havada 8 dakika ile 41 saat askıda kalabilmektedir.
- Sars-Cov-2 virüsü (Covid-19) ise iç mekan koşullarında havada 3 saate kadar yüzeylerde 2-3 güne kadar aktif olarak kaldığı belirlenmiştir.[2]
- Virüsler 200-280 nanometre dalga boyunda ultraviyole (UV) ışınları karşısında büyük ölçüde etkisiz hale gelmektedir. [2]

Hastanelerde veya benzeri kapalı mahallerde bulaşı etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Aerosol ya da damlacığın taşınım dinamiği
- İnsan yoğunluğu
- Havalandırma oranı(hava değişim sayısı)
- Hava dağıtım sistemi
- Nem
- Sıcaklık

- Enfeksiyona maruz kalma süresi
- Virüsün şiddeti (öldürme etkisi)
- Virüse maruz kalma süresi
- Kişinin sağlığı ve bağışıklık mekanizması

Bu maddelerin büyük kısmının İklimlendirme sistemi ile doğrudan ilişkili olduğu ve pandemi döneminde için yapılacak hastanelerde veya benzeri kapalı alanlarda bu kriterler mutlaka dikkate alınmalıdır.

Mikroorganizmaların sayısını azaltmak için uygulanacak en iyi yöntem havanın seyreltilmesidir. Bu proses doğal hava yöntemi ile yani pencereleri belirli süre açık tutularak ya da mahale gönderilecek ve egzoz edilecek temiz hava ile sağlanır. Hava değişim sayısı dikkate alarak bir odadaki canlı veya cansız partiküllerin seyreltilmesi için geçen süreyi gösteren çalışma Tablo 2'de gösterilmiştir. [6]

Tablo 2 - Hava Değişim Oranlarının Partikül Giderimi Üzerindeki Etkisi (CDC 2003) Not: Karışımın mükemmel olduğu varsayılmıştır

Saatteki Hava Değişim Sayısı	%99 Oranında Temizlik için Gereken Minimum Süre	%99.9 Oranında Temizlik için Gereken Minimum Süre
2	138	207
4	69	104
6	46	69
8	35	52
10	28	41
12	23	35
15	18	28
20	14	21
50	6	8

3.PANDEMİ DÖNEMİ KULLANILACAK İZOLE HASTA ODALARI

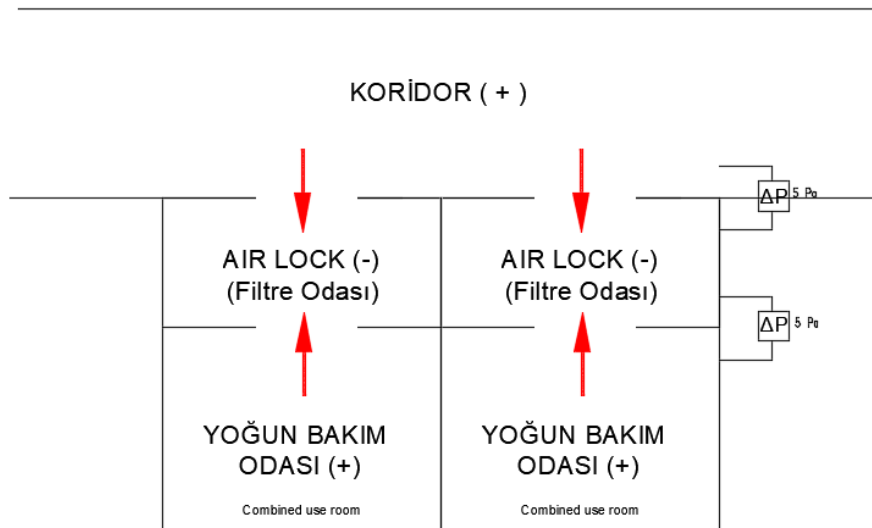
Bildiği üzere mevcut hastanelerde özellikle yeni tasarlanan hastanelerde enfeksiyon riski taşıyan hastalar için özel olarak tasarlanmış izole odalar vardır. Hastane standartlarında sık olarak başvurulan yönetmeliklerden olan DIN 1946-4 'e göre izole odalar aşağıdaki gibi 3 'e ayrılır.[4] Bunlar;

- Negatif basınçlı izole oda; Koronavirüs, tüberküloz, suçiçeği, kızamık, sars, kanamalı ateş gibi hava yolu ile bulaşan bir enfeksiyon hastalığı olan hastaların yattığı izole odalar; (Şekil 3)
- Pozitif basınçlı izole oda; Transplantasyon ve kemik iliği gibi dışarıdan hava yoluyla hastalık kapmaya çok müsait bağışıklık sistemi düşük hastaların yattığı izole odalar;
- Kombine tip izole oda; Hava yoluyla bulaşıcı bir hastalığı bulunan, aynı zamanda da zayıf bir bağışıklık sistemine sahip hastaların odalar. (Şekil 2)

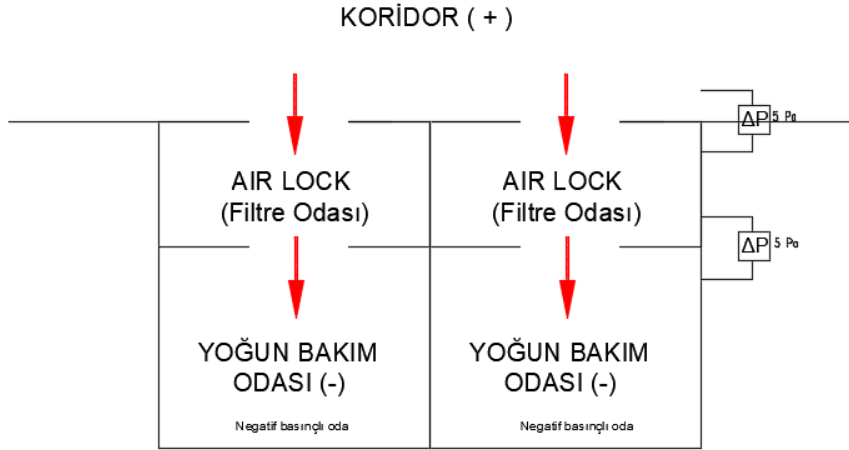
Yeni yapılan hastanelerde ve dünyadaki örneklerde oda sayısının ancak %2 'si kadarı izolasyon odası veya izole yoğun bakım odası olarak tasarlanmaktadır. Covid-19 gibi yaygın bir tehdit ile karşılaşıldığında hastanelerdeki negatif basınçlı izole odaların sayısının yetersiz kalacağı aşikârdır. Bu nedenle yani pandemi döneminde kullanılmak üzere ihtiyacı karşılamak için özellikle yapımı devam eden hastanelerin ya da yeni tasarımı yapılan hastanelerin bir bloğunun tümünün veya bir katındaki hasta odalarının komple negatif basınçlı izole odaya dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu odaların klima tasarım özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

- ❖ Tüm havalı sistem ile iklimlendirme sistemi tesis edilmelidir. Her bir odada besleme ve emiş hava kanallarında VAV üniteleri kullanılmalıdır. VAV'ler sabit hava değişimine göre çalışmalıdır. Emiş havası miktarı besleme havasından %15-20 daha yüksek seçilerek odanın negatif basınçta kalması temin edilir.
- ❖ VAV'lerin önünde son ısıtıcı kullanılmalıdır.
- ❖ Beslenen hava miktarı en az saatte 12 [6] hava değişimi olacak şekilde tasarlanmalıdır.
- ❖ Negatif basınçlı izole oda için klima santrallerinde en son filtre olarak MERV-16 yani F9 filtre kullanılması yeterli olacaktır. Bu odalarda geri dönüş havası kullanılıyor ise besleme havası tarafında HEPA filtre kullanılmalıdır.
- ❖ Odaları şartlandıran klima santrali %100 dış havalı bataryalı ısı geri kazanımlı olarak tercih edilmelidir.
- ❖ Oda içerisinde hava hareketlerini minimize etmek için havayı mümkün olduğu kadar düşük hava hızı ile mümkünse tek yönlü olarak mahale üstten gönderilip yer çekim ivmesi ile aşağı inme özelliği gösteren virüs taşıyan damlacıklara veya bazı aerosollara yardımcı olabilmek için havanın döşemeye yakın bir noktadan toplanması tercih edilmelidir.
- ❖ Kombine tip izole odalarda son filtre olarak HEPA filtre kullanılmalıdır. Üfleme menfezi hasta yatağının üzerinde olmalıdır.
- ❖ Oda basıncı, fark basınç manometreleri ile görsel olarak da izlenmelidir.
- ❖ Egzoz havası çıkışında ön filtre ve HEPA filtre kullanılarak bulaş riski çok yüksek olan havadaki virüs yoğunluğu önemli ölçüde azaltılabilir. Egzoz havasında kullanılan filtrelerin değişimi, emniyetli değişim kabinleri kullanılarak ve emniyetli kıyafetler giyen uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Değişim öncesi dezenfektan aerosollar ile HEPA filtreler dezenfekte edilebilir.

Pandemi döneminde kullanılacak özel negatif basınçlı izole odalar gerektiğinde pandemi dönemleri haricinde standart hasta odası olarak da kullanılabilir.



Şekil-2 – Kombine tip yoğun bakım odası hava akışı



Şekil-3 – Negatif basınçlı yoğun bakım odası hava akışı

4. PANDEMİ DÖNEMİNDE KULLANILACAK NEGATİF BASINÇLI YOĞUN BAKIM ODALARI

Standart yoğun bakım odaları, direnci çok düşük ancak enfekte olmamış hastaların kullanımı için pozitif basınçlı olarak tasarlanır (Şekil 4). Bu nedenle pandemi dönemlerinde kullanılmak üzere yani yapılacak hastanelerde yoğun bakım katlarının bir tanesi tamamen negatif basınçlı yoğun bakım odaları olarak tasarlanmalıdır. Diğer yoğun bakım odalarının yine pandemi döneminde gerekli durumlarda negatif basınçlı olarak çalışabilmesi için klima sistemlerinin gerekli alt yapıya sahip olması gerekir.

Pandemi döneminde Covid-19 virüsü nedeniyle enfekte olmuş, yoğun bakıma muhtaç hastaların kullanacağı yoğun bakım odaları negatif basınçta tutularak öncelikle sağlık çalışanlarının sağlığı güvence altına alınır. Ayrıca, negatif basınçlı odada hapsedilen ve doğrudan dışarı egzoz edilen havada asılı olan Covid-19 bulaşı özelliği taşıyan aerosolların hastanelerin diğer genel hacimlerine transfer olmasının önüne geçilir.

Negatif basınçlı odaları kontaminasyon riskinden korumak için odalara açılan ana koridor çıkışında mutlaka bir airlock (hava kilidi) tesis edilmelidir. Airlock hem yoğun bakım koridoruna göre hem de komşu olduğu diğer koridora göre mutlaka pozitif basınçlı olmalıdır (Şekil 5).



Şekil 4 - Pozitif Basınçlı Yoğun Bakım Odası

**Şekil 5 - Negatif Basıncı Yoğun Bakım Odası**

Pandemi döneminde veya sonrası yapılacak uygulamalar için klima tesisatında önerilen uluslararası standartlar kriterleri ve ülkemizde uygulanması için önerilen kriterler Tablo 3'te açıklanmıştır.

Her ne kadar Sağlık Bakanlığı özellikle yoğun bakımlarda üçüncü taraf firmalardan bu ölçümlerin yapılmasını istese de; yoğun bakım ile ilgili uluslararası hiçbir standartta, tasarımın ve partikül ölçümlerinin ISO 7 şartlarında olması gerektiği belirtilmemiştir. ISO Class 7 şartlarında partikül ölçümü yapılacak ise bu bölgelerde saatlik hava değişim sayısının 30-70 arasında olması önerilmektedir. Yoğun bakım odaları ile ilgili standartlarda önerilen değişim sayıları ile (6-10 arasında) bu değerleri yakalamak çok zordur.

Tablo 3 – Yoğun Bakım Standartlarının Karşılaştırması [5]

	Sağlık Bakanlığı Yoğun Bakım Yönetmeliği	ASHRAE	DIN 1946-4	HTM (Health Technical Memorandum) 03-01	Öneriler
Sıcaklık	22-26 °C	21-24 °C	22-26 °C	18-25 °C	22-26 °C
Nem	% 30-60	% 30-60	% 30-60	-	% 40-60
Basınç	+	+2.5 pa	+	+10 Pa	+ Basınç
Hava Değişimi	6	6	kişi başına 40 m ³ / h veya hasta başına 100-350 m ³ /h	10	6 -10 arası
Filtrasyon	(F8 - MERV14)	(F8 - MERV14)	(F7 - MERV13)	(F7 - MERV13)	(F9 - MERV15)*
Oda Havası / Üfleme Sıcaklığı Farkı	-	-	-	Yazın 7°C, Kışın 10 °C	Yazın 7°C, Kışın 10 °C

ISO standartlarında temiz odalar arasındaki basınç farkının minimum 5 Pa olması önerilmektedir. Tasarımcı ve idarenin talepleri doğrultusunda önerilen son filtre olarak klima santral içerisinde F9 filtreden sonra HEPA filtre de kullanılabilir. Temiz havanın, tek yönlü akış ile hasta başından üflenerek, yine zemine yakın bir yerden toplanması ile hastadan yayılan viral yük taşıyan damlacıkları havaya karışmadan odadan uzaklaştırılması mümkün olur. Bu konudaki bir başka yaklaşım ise taze havanın hastanın ayağına doğru verilmesi ve egzozun ise hastanın baş seviyesine yakın bir yerden yapılmasıdır. Bu yaklaşımda kaynaktan kontrol mümkün olabilmektedir.



Pandemi dönemleri dışında bu odalar VAV cihazlarında ayarlamalar yapılmak suretiyle pozitif basınçlı standart yoğun bakım odası olarak (hava akışı yoğun bakım odasından Air Lock'a oradan ana koridora doğru olmalıdır) kullanılabilir.

- ❖ Odaların şartlandırılması için %100 dış hava ile de çalışan VAV üniteleri kullanılmalıdır. VAV'ler hava debisini ve odalar arasındaki basınç farkını sabit tutacak şekilde ayarlanmalıdır.
- ❖ Her ne kadar yoğun bakım standartlarında hava değişim sayısı saatte 6-10 olacak şekilde tanımlansa da pandemi dönemlerinde yoğun bakım odalarının %80'i koronavirüs nedeniyle enfekte olan hastaların yattığı düşünülerek, yoğun bakım odalarında hava değişim sayısının tıpkı izole odalarda olduğu gibi 12 olması gerekmektedir.
- ❖ VAV'lerin önünde son ısıtıcı kullanılmalıdır.
- ❖ Klima santrallerinde en son filtre olarak MERV 15 (F9) rijid torba filtre kullanılması yeterli olacaktır. Ancak istenmesi üzerine santral içinde son filtre olarak HEPA filtre de kullanılabilir.
- ❖ Odaları şartlandıran klima santrali %100 dış havalı bataryalı ısı geri kazanımlı olmalıdır.
- ❖ Pandemi dönemleri için egzoz havası çıkışında ön filtre ve HEPA filtre kullanılarak bulaş riski çok yüksek olan havadaki virüs yoğunluğu önemli ölçüde azaltılabilir.
- ❖ Bu odalarda havanın düşük hız ve düzgün tek yönlü akış ile üstten üflenip alttan döşemeye yakın yerden toplanması ile havada askıda olan mikroorganizmaların bir kısmını aşağı indirip egzoz etmek mümkündür.

5.PANDEMİ DÖNEMİNDE KULLANILACAK HASTA ODALARI

- ❖ Hastanelerde hasta odaları genellikle FCU (Fan Coil) ile ısıtılıp soğutulur. Ayrıca bir klima santralinde şartlandırılmış taze hava hasta odasına gönderilir. Hasta odasına gönderilen temiz havanın bir kısmı sadece tuvaletlerden havayı egzoz eden bir fan yardımı ile doğrudan dışarı atılır.
- ❖ Ancak, hasta odaları kullanımı her ne kadar bireysel kullanım gibi görünse de odaya sürekli doktor, hemşire ve temizlik görevlilerinin girmeleri nedeniyle viral salgın dönemlerinde FCU vb. gibi iç hava sirkülasyonu ile çalışan hasta odalarında bulaş riski çok fazladır.
- ❖ FCU ünitelerindeki yoğunlaşma tavalarda biriken suyun, iç hava kalitesini oldukça olumsuz etkileyeceği de göz önünde tutulmalıdır.
- ❖ Pandemi döneminde hasta odaların şartlandırılması ve havalandırılması için tüm havalı sistem kullanılmalıdır. Besleme ve emiş tarafında kullanılan VAV'lar pandemi döneminde sabit debide çalıştırılmalı, normal çalışma dönemlerinde ise oda sıcaklığını kontrol edecek şekilde değişken debili olarak çalışmalıdır.
- ❖ Mahale gönderilecek hava debisi her ne kadar mahal soğutma yükü dikkate alınarak bulursa da bu miktar hacmin saatte 6 kere değişimi ile bulunan debinin altında olmamalıdır [6]. Minimum taze hava miktarı ise saate değişim sayısı ise hacmin 2 katı olmalıdır.
- ❖ KLİMA SANTRALİ PANDEMİ DÖNEMİNDE %100 DIŞ HAVA İLE ÇALIŞACAK ŞEKİLDE VE ISI GERİ KAZANIMLI OLARAK TASARLANMALIDIR.
- ❖ Mahallerin sıcaklık kontrolü üfleme ve emiş kanallarına monte edilecek olan VAV cihazları ile kontrol edilmelidir.
- ❖ VAV sonrası her bir oda için son ısıtıcı tesis edilmelidir.
- ❖ Odaları negatif basınçta tutmak için tuvaletlerdeki egzoz havasını artırmak için önlemler alınmalı, mümkün olması durumunda odadan doğrudan emiş yaparak havayı dışarı egzoz eden sistemler tesis edilmelidir.
- ❖ Pandemi döneminde kullanılacak hasta odalarının istenildiği zaman manuel olarak pencereleri açılabilir. Bazı güvenlik tedbirleri nedeni ile bunlar kapatılmışsa içeriye taze havanın



girmesine imkan sağlayacak kadar açılabilir hale getirilmelidir. Mevcut durumlarda hasta odalarında taze hava imkânı yok ise, pencereler açılarak en az saatte 2 defa taze hava beslemesi yapılması gerekmektedir.

- ❖ Fan-filtre üniteleri ya da taşınabilir HEPA filtreli hava temizleme cihazları kullanılarak ortamdaki olası virüslü havanın virüslerini seyreltmek mümkün olabilir.
- ❖ Odayı servise almadan önce dezenfektasyon işleminin yapılması sağlanmalıdır. Odanın en az 2 saat havalanması sağlandıktan sonra yeni hasta kabulü yapılmalıdır.
- ❖ Hasta odalarının açıldığı koridorlardaki emiş menfezleri kısılarak koridorun hasta odasına göre pozitif basınçta tutulması sağlanmalıdır. Ayrıca hasta odası kapılarının kapalı tutulması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- ❖ %100 iç hava ile çalışan FCU ve benzeri üniteler enfekte olan hastanın yaydığı virüs nedeniyle sağlık çalışanları için ciddi risk oluşturacaktır. Yukarıdaki bölümde açıkladığımız gibi bu odaların zaman içerisinde programı yapılarak %100 dış hava ile çalışan VAV sistemi ile değiştirilmesi viral riski minimize edecektir.

6. PANDEMİ DÖNEMİNDE KULLANILACAK KOMBİNE TİP AMELİYATHANELER

Standart ameliyathane tasarımı için tüm standartlar pozitif basınçlı olarak tesis edilmesi gerektiğini belirtir. Ancak pandemi döneminde yoğun bir şekilde enfekte olmuş hastalar gündeme geldiğinde ameliyathanelerin pozitif basınçlı bir odada yapılmasının bazı riskleri de gündem gelmiştir. Septik bir ameliyat sırasında kirlı hava ameliyathaneden yarı steril koridora ve buradan hastanenin diğer bölümlerine geçebilecektir.

Bu nedenle pandemi döneminde Covid-19 nedeniyle enfekte olmuş bir hastanın ameliyatı Şekil 2'de görüldüğü gibi ameliyathane önüne ilave edilecek bir Air Lock tesis edilmesi ile gerçekleştirmek mümkün olacaktır. Air lock'ın negatif basınçta tutulması ve havanın bu alandan dışarıya HEPA filtrelerle egzoz edilmesi uygun bir çözümdür. Yapım aşamasındaki veya yeni yapılacak hastanelerde pandemi dönemlerinde benzer şekilde çalışacak bazı ameliyathanelerin kombine tip ameliyathaneler şeklinde tasarlanması gerekmektedir.

7. PANDEMİ DÖNEMİ HASTA KABUL VE ACİL SERVİSİ BÖLÜMLERİ

Pandemi dönemlerinde Covid-19 veya benzeri salgın şüphesi ile başvuru yapan hastaların hasta kabulleri veya muayeneleri mutlaka hastanenin ayrı bir bölümünde yapılmalı, klima ve havalandırma sistemi diğer bölümlerden bağımsız olmalıdır. Mümkünse hasta kabul çalışmaları hastane dışında hazırlanmış özel kabinlerde yapılmalıdır.

- ❖ Hastanelerde hasta odaları genellikle FCU (Fan Coil) ile ısıtılıp soğutulur. Ayrıca bir klima santralinde şartlandırılmış bir miktar taze hava acil bekleme odası ve muayene odalarına gönderilir.
- ❖ Pandemi döneminde FCU kullanımının riskleri nedeniyle bu bölümlerin yine tüm havalı sistem ile iklimlendirilmesi ve havalandırılması gerekmektedir.
- ❖ Klima santralleri pandemi döneminde %100 dış hava ile çalışma opsiyonuna sahip olmalı ya da santraller %100 dış havalı ve ısı geri kazanımlı olarak tasarlanmalıdır.
- ❖ Odalara ve koridorlara gönderilen hava kanalları çıkış ağzlarında ve emiş ağzlarında VAV cihazları kullanılmalıdır. VAV cihazları pandemi dönemlerinde sabit debide çalıştırılmalıdır.



- ❖ Mahallerde hava değişim sayısı minimum 12 olmalıdır [6] .Temiz havanın saatteki minimum değişim sayısı ise 2 olmalıdır.
- ❖ Bu mahallerin mutlaka komşu alanlara göre negatif basınçta tutulması gerekmektedir.
- ❖ Acil servis doktor ve sağlık personeli dinlenme odalarının pozitif basınçta tutarak (odalara gönderilen şartlandırılmış hava miktarından daha az miktarda hava emilerek bu işlem yapılmalıdır) acil servisteki muayene odalarındaki ve acil koridorundaki kirli ve bulaş riski olan havanın bu odalara girmesine engel olunmalıdır.
- ❖ Mahallere gönderilen şartlandırılmış havanın menfez ve anemostatlar ile yüksek hava hızı ile mahalle üflemesi ve emilmesi durumunda mahalde oluşacak hava hareketleri bulaşın yayılmasına katkıda bulunacaktır. Bu nedenle ilgili kritik alanlarda hava hareketini minimize etmek için havayı minimum hava hızında(0.24-0.45 m/s) üflenmesi ve emilmesi gerekmektedir. Mümkünse emiş kanallarının düşeme seviyesinden yapılmalıdır.

8. PANDEMİ DÖNEMİNDE HASTANE KLİMA SİSTEMLERİNDE ALINACAK PRATİK NOTLAR VE ÖNERİLER

Mevcut hastanelerin tasarımı ve uygulaması yaşadığımız olağanüstü pandemi koşulları dikkate alınarak yapılmamıştır. Bu nedenle mevcut hastanelerimizde hem hastalarımızı hem de sağlık personelimiz koruma adına kısa vadede klima ve havalandırma sistemlerinde aşağıda açıklanan tedbirler alınarak bir miktar da olsa bulaş riskini minimize edebiliriz;

- ❖ Kuru hava enfeksiyon riskini artıracığı için ortam neminin %40'ın altına düşmemesi için önlem alınmalıdır. Bağıl nem %40-60 arasında kalabilmesi için klima sistemlerinde gerekli önlemler alınmalıdır.
- ❖ Dış hava değişim oranını artırmak için önlemler alınmalıdır. Örneğin, hasta odalarında klima sistemlerinde alınacak önlemler ile saatlik hava değişimini 2'den 6'ya artırmaya çalışılmalıdır.
- ❖ Klima santralleri mümkün olduğu ölçüde %100 dış hava ile çalıştırılmalıdır.
- ❖ Pandemi döneminde enfekte olan hastaların kullandığı hasta odalarına gönderilen havanın %100 'ü egzoz edilmelidir. WC egzoz fanlarında bu anlamda önlemler alınmalıdır.
- ❖ Virüs yoğunluğu fazla olduğu yani bulaş riskinin çok yüksek olduğu kapalı mahallerde virüs yoğunluğunu azaltmak için doğal havalandırma yöntemi ile yani pencere ve kapılarını sık sık açık tutarak yapının havalandırılması temin edilmelidir.
- ❖ Hastane hasta odaları ve acil bölümleri klima sistemlerinde genellikle Fan coil ve temiz hava sistemi kullanılarak mahallerin iklimlendirilmesi ve havalandırılması temin edilmiştir. Fan coil sistemlerinin sürekli aynı havayı kullanması ayrıca yaratacağı hava hareketi nedeniyle bulaş riskinin etkinliğini artıracığı aşikârdır. Bu nedenle pandemi döneminde Fan coil'in (FCU) kapalı tutulması çalıştırılması zorunlu durumlarda (mahal sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarının çok altına düşmesi durumunda) ise FCU termostatında minimum yani en düşük hava debisinde çalıştırılması gerekmektedir. Hasta odalarına sağlık çalışanlarının girmesi durumunda hava hareketlerini minimize etmek için FCU'lar kapatılmalıdır.
- ❖ Pandemi dönemlerinde hasta odaları, Acil servis bölümleri ve yoğun bakım odaları negatif basınçlı olacak şekilde mevcut klima sistemlerinde önlem alınmalıdır. Bu yöntem ile virüsün en yoğun olduğu bu alanlardaki kirli havanın hastanenin diğer bölümlerine özellikle sağlık personeli dinlenme odalarına girmesine engel olunacaktır.
- ❖ Pandemi döneminde bazı ameliyathaneler girişinde tesisi edilecek hava kilidi ile kombine tip olarak kullanılmalıdır. Böylece enfekte olmuş kişiden yayılan virüs bu alanda hapsedilip gerekli önlemler alınarak buradaki hava doğrudan dışarı egzoz edilmelidir.



- ❖ Pandemi dönemlerinde kullanılacak hasta odaları, yoğun bakım odaları, izole odalar, acil bekleme salonları gibi negatif basınçlı mahallere komşu olan alanların pozitif basınçta tutulması için klima sisteminde gerekli önlemler alınmalıdır.
- ❖ Havalandırmanın yetersiz olduğu hastane genel bölgelerinde pencereleri açıp duman egzoz fanları çalıştırarak mahallerdeki mikroorganizmaların seyreltilmesi mümkün olabilir.
- ❖ Toplu kullanıma açık tuvaletlerde yer süzgeçleri ve lavabo sifonları kuru halde bırakılmamalıdır. Alafranga tuvaletleri kullandıktan sonra kapağını kapatarak yıkamayı gerçekleştirilmelidir.
- ❖ Virüsleri seyreltmenin diğer bir yöntemi ise taşınabilir HEPA filtreli cihazlardır. Bu cihazlar hava debisini sabit tutan kontrol sistemi, ön filtresi (EU7) , HEPA filtresi opsiyonel UV lambalı sistemler ile enfeksiyon riski olan ve mekanik havalandırmanın olmadığı veya yetersiz olduğu alanlarda virüslerin seyreltilmesi mümkündür. HEPA filtre 0.3 mikron ve üstündeki boyutunda canlı ve cansız partiküller için etkindir bu nedenle bu cihazların kullanılması durumunda mahallerde virüsün seyreltilmesi anlamında etkin olacağı ancak, Covid-19 virüs bulaşında kesin bir çözüm olamayacağına dikkat edilmelidir.
- ❖ Klima santralleri ve içindeki ekipmanlar dezenfektan sıvıları ile dezenfekte edilebilir. Klima santrallerinde ve FCU'larda fan durağan halde iken ısıtıcı bataryalarda bir saat boyunca şartlandırılmış sıcak su dolaştırmak suretiyle santral hücresi 60 °C 'ye çıkartılarak da termal dezenfektan yapılması da mümkündür.
- ❖ Klima sisteminin %100 dış hava ile çalışma olanağı yok ise, santralde ameliyathane ve temiz odalarda kullanılan yüksek verimli partikül tutucu filtreler ile dönüş havasındaki partikül ve mikroorganizma yoğunluğunu azaltmak mümkündür. Filtrelerin farklı özelliklerine göre tutuculuk oranları artmaktadır. Amerikan standartlarında MERV 16, ISO standartlarında F9 olarak tanımlanan rijit torba filtreler ile 0.3-1.0 µm boyutundaki uçucuların %50 'sini tutabilmek mümkündür. Verimliliği çok daha yüksek olan bunun yanı sıra basınç kaybı değeri de çok yüksek olan HEPA filtreler ile 0.3 µm boyutunda uçucuların % 99.99 unu tutmak mümkündür.
- ❖ Dönüş havasındaki mikroorganizmaları öldürmek veya etkisiz hale getirmek için klima santrallerde UV-C ampuller de kullanılmaktadır. Bu lambalar, mikroorganizmalara karşı 200-280 nanometre dalga boyunda etkilidir. Göz ve deri ile doğrudan temas ettiğinde hasar oluşturduğuna dikkat etmek gerekir. UV-C lambalar soğutucu batarya yüzeyinde biriken küf, mantar ve bakteri gibi mikroorganizmaları öldürmek için etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, havadaki virüsleri etkisiz hale getirmek için kullanılacak UV-C lambalarının seçim kriteri çok karmaşıktır. Özellikle farklı virüslerin hangi güçte ve zaman aralığında etkinliklerini azalttığına bilinmesi gerekmektedir. Kullanılması düşünülen cihazlar mutlaka sertifikalı olmalı ve deneysel sonuçlara sahip olmalıdır. Hastane içerisinde havalandırmanın sağlanamadığı alanlar var ise bu bölgelerde üst oda (upper room) UV-C lambalar ile mahal virüs yükü azaltılabilir. Ancak, bu sistemlerin seçimlerinde ve uygulamalarında uzmanlara danışılmalıdır. Belirli bir seviyenin üzerinde konumlandırılması gereken lambalar mahal üst zonunda virüs yükünü azaltmada etkili olacaktır.
- ❖ Havada uçucu olarak bulunan mikroorganizmaların UV-C 'ye dayanım özelliğini bilmeden onları etkisiz hale getirecek lambaların seçimi yapılamaz. Örnek vermek gerekirse Lejyonella bakterisi 12.300 µw-sec/cm² dozda etkisiz hale gelirken, Tüberküloz bakterisi 10.000 µw-sec/cm²de, Hepatit virüsü 8.000 µw-sec/cm², İnfluenza A Virüsü 6.600 µw-sec/cm² dozda etkisiz hale gelmektedir. Covid-19 virüsünün hangi dozda etkinliğinin azaldığı konusunda henüz bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

SONUÇ

- ❖ Yeni yapılacak yapıların veya hastanelerin iklimlendirme sistemleri tasarımında mimar ve mühendisler dışında enfeksiyon ve halk sağlığı uzmanlarından görüş ve katkıları alınmalıdır.



- ❖ Bulaşıcı aerosoller, hava dağıtım sistemlerini ve bölgeler arası hava akışlarını içeren yollarla binalara yayılabilir.
- ❖ Yeni yapılacak hastane binaların tasarımında mahallerdeki bulaşıcıların seyreltilmesi için %100 dış havalı klima sistemleri öne çıkacaktır. Ayrıca klima sistemleri nedeniyle oluşan hava akımlarını minimize etmek için CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) analizleri, optimize edilmiş hava akış modelleri ve tek yönlü hava akış modelleri öne çıkacak, son olarak kişisel havalandırma ve egzoz sistemleri gündeme gelecektir. Bu konuda klima mühendislerinin ciddi sorumluluk almaları gelecektir.
- ❖ Yukarıda belirtilen çalışmaların deneysel ortamda gerçekleştirmek için ilgili laboratuvar çalışmaları için sektör derneklerinin veya firmaların çalışmalarına bir an önce başlaması ve sonuçlarının kamuoyu yanı sıra ilgili uluslararası dernek ve kuruluşlar ile paylaşılması gerekmektedir.
- ❖ Klima havalandırma sistemleri için ülkemizde yangın yönetmeliği ile sadece yangın anında çalışacak tasarıma yönelik kurallar ve standartlar getirilmiştir. Benzer şekilde klima sisteminde pandemi ile mücadele konusunda bir yönetmeliğin hazırlanması için siyasi otoritenin ve sivil toplum kuruluşlarının çalışmaları başlatması gerekmektedir.
- ❖ Pandemi sonrası hastane iklimlendirme ve havalandırma tasarımı ile ilgili tasarım kriterlerinde mutlaka değişiklikler gündeme gelecektir. Covid-19 virüsü nedeniyle hasta odalarında veya yoğun bakım odalarında yatan hastaların sağlığını ve burada görev yapan sağlık çalışanlarının sağlığını koruyabilmek adına ciddi revizyonlara yapılması gerekecektir.
- ❖ Hastane klima sistemleri konusunda uzman dernekler ve sivil toplumlarından oluşacak bir teknik komite ile pandemi hastaneleri klima sistemi ile ilgili "kontrol sisteminin" hazırlanması ve bu çalışmaları sürekli periyodik kontroller ile denetleyecek uzman kişilerin en kısa zamanda eğitimden geçmesi için önlemler alınmalıdır.
- ❖ Karışım havasını kullanan klima santrallerinden geçen havada uçucu haldeki mikroorganizmaların partikül filtreleri, UV lambalar veya elektrostatik filtreler, hidrojen peroksit, gümüş iyonları, ozonlama gibi sistemler ile yoğunluğu azaltılabilir. Ancak bu cihazlar gerek bakım ve işletme zorluğu nedeniyle, gerekse de uçucu mikroorganizmaların tümünü etkisiz hale getiremeyeceği için, pandemi döneminde klima santrallerinin %100 dış hava ile çalıştırılarak çok daha etkin sonuç alınması mümkündür.
- ❖ Pandemi dönemleri dikkate alınarak yapılacak hastanelerin iklimlendirme sistemleri tüm havalı sistem olarak tasarlanmalıdır. Klima sistemlerinde en büyük enerjiyi fanların tüketeceği dikkate alınarak fanların seçimi yapılırken fanın SFP (fan özgül gücü) değeri; fan elektrik tüketiminin (W) fan debisine (m^3/s) bölünmesi ile bulunur; mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır. Tercihen EN 13799'a göre SFP 3 veya SFP 4 değeri kullanılmalıdır. Bu değeri yakalayabilmek için klima santrali hava hızının 1,8-2.0 m/s civarında seçilmesi ve hava kanallarında hava hızlarının düşük seçilmesi ile elde edilebilir.
- ❖ Enerji tüketiminde tasarruf yapılabilmesi için kogenerasyon sistemlerinin daha etkin olarak seçilmesi ve sıcak su üreten güneş kolektörleri yerine daha esnek kullanımı nedeniyle doğrudan elektrik üreten fotovoltaik sistemlerinin tercih edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Rehva, Covid 18 Kılavuz Belgesi REHVA COVID-19 kılavuz belgesi, 3 Nisan 2020
- [2] ASHRAE, HVAC Systems and Equipment, Chapter 17, 62
- [3] Ashrae. ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols, 14 Nisan 2020
- [4] DIN 1946-4, 2008
- [5] Bilge, M.& Yeşilbaş, B. (2018). Yoğun Bakım Standartları ve İnsan Faktörünün Hastane Enfeksiyonlarına Etkileri. Termo Klima



[6] HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics

[7] ISO 14644-4

[8] Peker,T.& Heperkan,H. & Bilge,M.&Meral,T.(2019) ; TMMOB Hastane İklimlendirme Tesisatı Tasarım ve Denetim Esasları

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa BİLGE

1979 yılında Sakarya Üniversitesinden makine mühendisi olarak mezun oldu. 1981 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde Yüksek mühendis 1988 yılında doktor unvanını almıştır. Halen kurucusu olduğu Mecon firmasında Şirket Müdürü olarak çalışmakta ve YTÜ de lisansüstü düzeyinde ders vermektedir. Ayrıcı belirli dönemlerde MMO İstanbul Şube ve TTMD yönetim kurulu üyesi, ISKAV müteveli heyeti başkanlığı görevlerinde bulunmuştur. Son olarak MTMD 5. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığı görevinde bulunmuştur.

Tevfik PEKER

1979 yılında ZDMMA Makina bölümünden mezun olduktan sonra 1981 yılında YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek lisans öğrenimini tamamladı, halen aynı üniversitede doktora öğrenimini sürdürüyor.1982-86 yılları arasında YTÜ Makine Bölümü Isı Proses Anabilim Dalında Araştırma görevlisi olarak görev yaptı,1980-83 yıllarında arasında Edirne DMMA Makine Bölümünde ve 2003-2004 yılları arasında YTÜ de yarı zamanlı Öğretim görevlisi olarak çalıştı. Çeşitli üniversitelerde Motorlar, Termodinamik, Isıtma-Havalandırma, Tesisat, Klima , Soğutma, İklimlendirme ve Soğutma Kavramları, Teknolojinin Bilimsel İlkeleri derslerini verdi. Alana yönelik makaleleri ve kitap yayını bulunmaktadır. 1986-2004 tarihleri arasında çeşitli şirketlerde Yönetim Kurulu üyeliği ve genel müdürlük görevlerinde bulundu. Makina mühendisleri Odası İstanbul Şubesi'nin 2004 ve 2008 tarihleri arasında.(26. ve 27.dönemlerinde) Yönetim Kurulu başkanlığında bulundu . Farklı dönemler de MMO denetleme kurulu üyelikleri, TMMOB Yüksek Onur Kurulu, Denetleme kurulu ve Yönetim Kurulu üyeliklerinde bulundu 2019 yılından bu yana Isıtma, Soğutma, Havalandırma sanayi Sitesi Yönetim kurulu başkanlığı görevini yürütmektedir.

M. Zeki YILMAZOĞLU

2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini almıştır. 2002-2006 yıllarında tekstil sektöründe bakım ve enerji konularında mühendislik ve yöneticilik yapmıştır. 2006 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde akademik hayata başlamıştır. 2006 yılında yüksek lisans ve 2012 yılında doktora derecelerini Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalından almıştır. 2017 yılında Doçent unvanını almıştır. Halen Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde akademik hayatına devam etmektedir. 2014 yılından itibaren Gazi Üniversitesi Hastanesinde Enerji Yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Ulusal ve uluslararası dergilerde ve sempozyumlarda yayımlanmış yüzden fazla makalesi ve üç patenti bulunmaktadır. Araştırma konuları enerji yönetimi ve verimliliği, iklimlendirme sistemleri, enerji dönüşüm sistemleri, yenilenebilir ve alternatif enerji sistemleridir.

DUVAR TİPİ KLİMALARIN ENFEKTE DAMLACIK DAĞILIMINA ETKİSİ

The Effect of Wall Type Air Conditioners on Infected Droplet Distribution

Bahadır Erman Yüce

ÖZET

Koronavirüs pandemisinin ardından yapılan pek çok çalışma havalandırma oranının oda içerisindeki enfeksiyon riskini azaltmada kritik bir rol oynayabileceğini göstermiştir ve bu çalışmalar daha çok merkezi havalandırma sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Kapalı döngüde çalışan duvar tipi klimalar ile ilgili yapılan çalışma sayısı ise diğer iklimlendirme metotlarına kıyasla sınırlı sayıdadır. Duvar tipi klimalar ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır ve oda içerisindeki hava akışına önemli ölçüde etki etmektedir. Bu çalışmada duvar tipi klimada üflenen havanın oda içerisindeki enfekte damlacık dağılımına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sabit klima pozisyonuna göre farklı konumlarda bulunan ısıl mankenden hapşırma yoluyla yayılan damlacıkların dağılımı karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Havalandırma, HAD, koronavirüs, klima

ABSTRACT

Many studies after the coronavirus pandemic were shown that ventilation rate can play a critical role in reducing infection risk inside a room and these studies had mainly focused on central ventilation systems. The number of studies on wall-mounted air conditioners, which work in a closed circuit, is limited compared to other cooling methods. Wall-mounted air conditioners are widely used in Türkiye and have a significant impact on airflow inside a room. In this study, the effect of the air supplied by the wall-mounted air conditioner on the distribution of infectious droplets inside the room was analyzed numerically. The distribution of droplets emitted through sneezing was compared at different positions in relation to a fixed air conditioner position.

Key Words: Ventilation, CFD, coronavirus, air conditioner

1. GİRİŞ

Covid-19 hastalığının dünya çapında hızlı yayılımının ardından, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 11 Mart 2020'de küresel salgın ilan etti. İnsan koronavirüsleri bu salgından önce de biliniyordu fakat 2003'ten önce bu virüsler ölümcül sayılmıyordu ve soğuk algınlığı gibi hafif bir hastalık oldukları düşünülüyordu [1,2]. Bu tarihten sonra şiddetli akut solunum sendromu (SARS) ve Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS) salgınları, insan koronavirüslerinin tehlikeli ve yıkıcı olabileceğini gösterdi [2].

Dünya sağlık örgütünün SARS-COV-2 pandemisini ilan etmesinin ardından dünya çapında salgını durdurmak için pek çok alanda adımlar atıldı ve çeşitli önlemler alındı. Bu önlemler sosyal ve ekonomik hayatın pek çok noktasında uygulamaya konuldu. İç ortamlarda çalışma düzenleri yeniden belirlendi. Hava limanları, alışveriş merkezleri, restoranlar, okullar, sinemalar, kongre merkezleri ve daha birçok kapalı alana çeşitli kısıtlamalar getirildi. Birçok etkinlik uzun bir süre iptal edildi, daha

sonraları ise sosyal mesafe, maske ve aşı zorunluluğu gibi çeşitli kısıtlar altında yürütüldü. Tüm bu önlemlere rağmen dünya genelinde çok sayıda insan yaşamını yitirirken, günümüzde salgının etkisi çok daha az da olsa devam etmektedir. Bu dönemde, dünya genelinde sosyal refah ve ekonomik kalkınma önemli ölçüde etkilenmiştir [3,4]. Pandeminin kaçınılmaz sonuçları, bulaşma fiziğini anlamak, bu ve gelecekteki salgınları önlemek için araştırmacıları bu alanda daha fazla araştırma yapmaya teşvik etmiştir.

Salgınla mücadelenin etkili olabilmesi ve verimli mühendislik çözümlerinin üretilebilmesi için bulaşım fiziğinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre SARS-CoV-2 virüsünün yayılması, enfekte bir kişinin çevresindeki insanlarla yakın temas halinde olması durumunda meydana gelmektedir. Virüsün kişiye bulaşması, bir kişi tarafından saçılan ve dışarı atılan canlı virüs miktarına, temas türüne, çevreye ve hangi EÖK (Enfeksiyon önleme ve kontrol) önlemlerinin uygulandığına bağlıdır. Virüs, enfekte bir kişinin ağzından veya burnundan, kişi hapşırırken, öksürdüğünde, ağır nefes aldığı anda, konuştuğunda veya şarkı söylediğinde küçük sıvı parçacıkları halinde yayılabilmektedir. Bu sıvı parçacıklar, daha büyük 'solunum damlacıklarından' daha küçük 'aerosollere' kadar farklı boyutlardadır [5].

Bu çalışmada, soğutma amaçlı kullanılan duvar tipi bir klimanın bulunduğu odada, farklı manken pozisyonlarına göre, hapşırma sonucu oluşan damlacık dağılımı sayısal olarak incelenmiştir. Mankenin klimaya yaklaşması ve uzaklaşmasına göre farklı zaman aralıklarında elde edilen damlacık dağılımları karşılaştırılmıştır.

2. METOT

Karmaşık, türbülanslı, akışları deneysel olarak incelemek pahalı bir yöntemdir ve çoğu zaman uygulanabilir değildir. HAD, bu tür çalışmalarda çok önemli ve etkili bir yöntemdir. HAD yöntemiyle nonlineer momentum, süreklilik ve enerji denklemleri çözülebilir. Bu sayede incelenen kontrol hacmindeki akışkanın her noktadaki özellikleri hesaplanabilir. Buna bağlı olarak ofis ortamı gibi görece küçük hacimlerde CFD yöntemi ile enfekte damlacıkların yayılımını incelemek deneysel yöntemlere göre çok hızlı ve ucuz bir çözümdür.

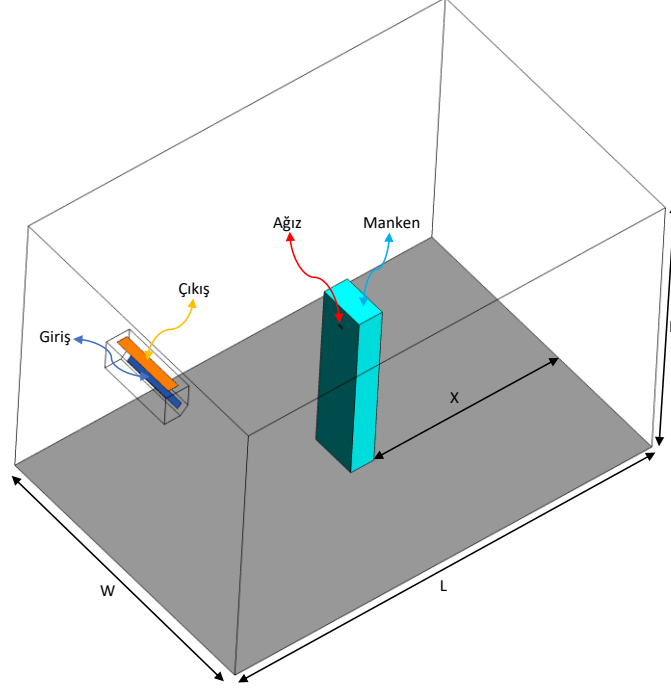
Damlacıkların havada kalma süresi ve katettiği mesafe, organizma türleri, partikül boyutu, yerleşme hızı, nem oranı ve hava akımı tarafından belirlenir [10]. Akış fiziğinin karmaşık doğası nedeniyle, damla hareketlerinin oda içerisindeki hava akışı tarafından etkilenmeyeceği açıktır. Oda içerisinde bir iklimlendirme faaliyeti söz konusu olduğunda ise hava hareketinin etkisi çok daha baskın hale gelecektir.

Bu çalışmada, damlacık yayılımının öksürme veya hapşırma sonucu meydana geldiği varsayılarak sayısal modelleme yapılmıştır. Türbülanslı, sıkıştırılabilir (Boussinesq yaklaşımı) ve geçici rejim akış şartları dikkate alınmıştır. Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli "scalable" duvar fonksiyonu ile kullanılmıştır. Bu yaklaşım, daha az eleman sayısı ile istikrarlı bir çözüm elde etmek için kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda, seçilen türbülans modelinin sonuçlarının havalandırma çalışmalarındaki deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür [11].

Odada iklimlendirme sistemi olarak duvar tipi klima kullanıldığı varsayılmıştır. Tüm duvar sıcaklıkları 28°C ve sabittir. Isıl mankenin yüzey sıcaklığı $36,85^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ortam, manken yüzey sıcaklığı ve hava arasındaki sıcaklık farkının neden olduğu kaldırma kuvvetinin etkilerini simüle etmek için -y yönündeki yerçekimi -9.81 m/s^2 olarak ayarlanmıştır. Doğal ve zorlanmış taşınımın sayısal prosedürü Yüce'nin çalışmasında ayrıntılı olarak açıklanmış ve doğrulanmıştır [11]. Bu nedenle, mankenin üzerindeki akışın neden olduğu hava hareketi de dikkate alınmıştır.

Hesaplama işlemi donanımsal kısıtlar nedeniyle toplam 15 sn için yapılmıştır. Zaman adımı 0.01s olarak ayarlanmıştır. Farklı zaman adımlarında simülasyonlar yapılmış ve zaman adımından bağımsızlık elde edilmiştir. Her zaman adımındaki maksimum iterasyon sayısı 100 olarak kabul edilmiştir. Tüm denklemlerin yakınsama kriteri ise değerleri 10^{-6} olarak ayarlanmıştır.

Modellenen oda ölçüleri Tablo 1’de ifade edilmiştir. Mankenin duvara olan uzaklığı (X) iki farklı değerde incelenmiştir. İlk durumda X mesafesi 0.50 m iken, ikinci durumda 2.00 m olarak ele alınmıştır. Klima duvarın tam ortasına konumlanmıştır. Üfleme hızı 3 m/s, üfleme sıcaklığı ise 19 °C olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan model ve tanımlanan sınır şartı konumları.

Tablo 1. Oda ölçüleri.

Parametre	Birim	Değer
Oda uzunluğu (L)	m	4.50
Oda genişliği (W)	m	3.00
Oda yüksekliği (H)	m	2.75
Mankenin duvara uzaklığı (X)	m	0.50, 2.00

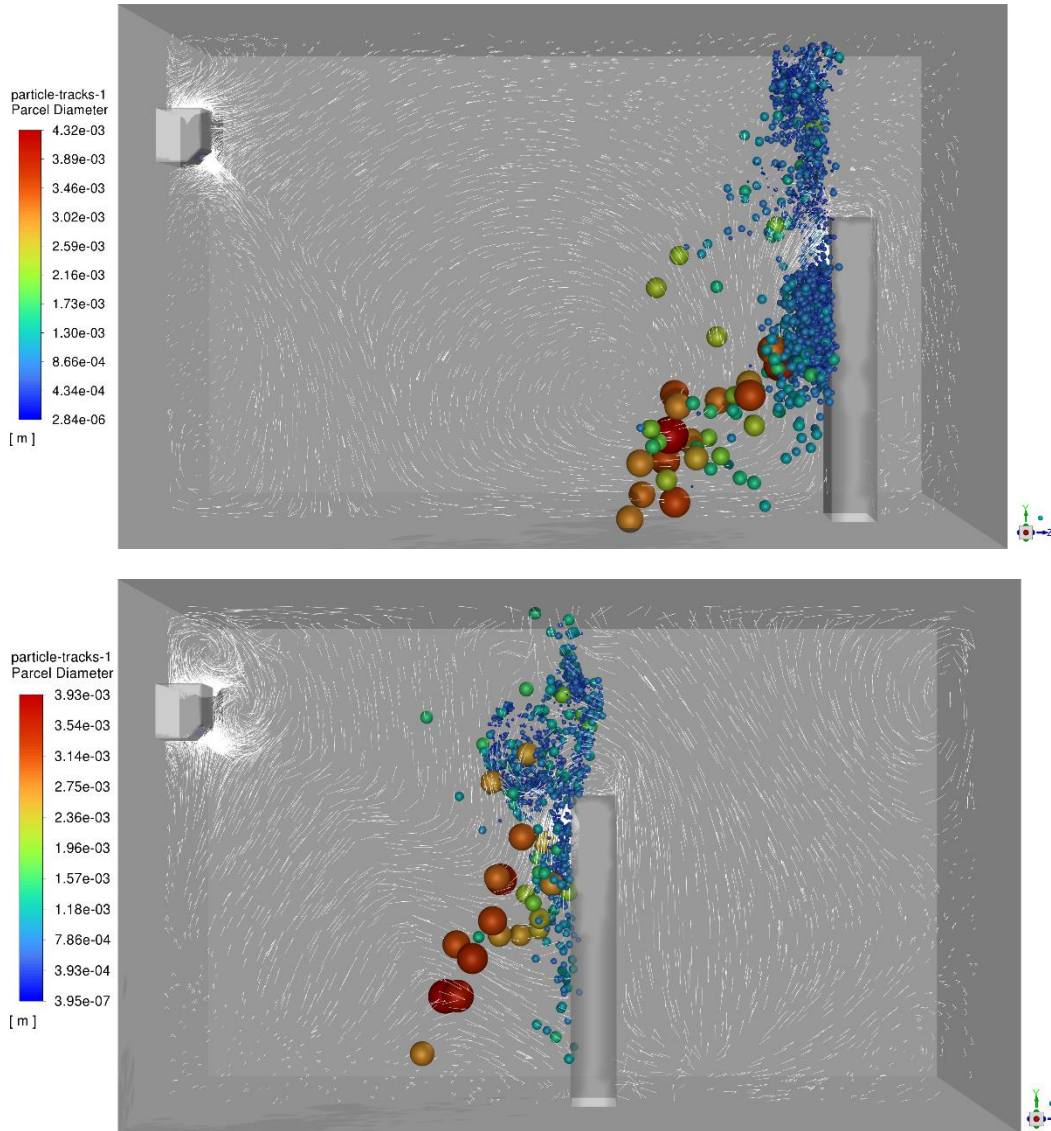
Bu çalışmada, hapşırma yoluyla yayılan enfekte damlacıkların yayılımını araştırmak için sayısal bir yaklaşım kullanılmıştır. Öksürme, hapşırma, hızlı konuşma ve ağır nefes almada insanların ağızlarından su damlacıkları şeklinde parçacıklar yayılmaktadır. Bu eylemler sonucunda etrafa saçılan partiküller boyut olarak homojen değildir ve değişken boyutlara sahiptir [10,12,13]. Bu çalışmada damlacıkların çapının 2 ile 2000 μm arasında değiştiği [12] kabul edilmiş ve damlacıkların boyutsal dağılımı Rosin-Rammler yaklaşımı ile tanımlanmıştır [14–17]. Damlacık parçalanma modeli olarak Taylor Analogy Breakup (TAB) modeli kullanılmış ve bunun için kararsız (unsteady) parçacık izleme yaklaşımı kullanılmıştır [14,18]. Ayrıca literatür taramasından sonra hapşırma hızı 4,5 m/s olarak ayarlanmıştır [19]. Sayısal simülasyonlarda kullanılan damlacık parametrelerinin özeti Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Damlacık modeli özellikleri [18].

Parametre	Birim	Değer
Duvar Sıcaklığı	°C	28
Damlacık çapı	µm	2 – 2000
Damlacık başlangıç hızı	m/s	4.5
Damlacık başlangıç çapı	°C	36.5

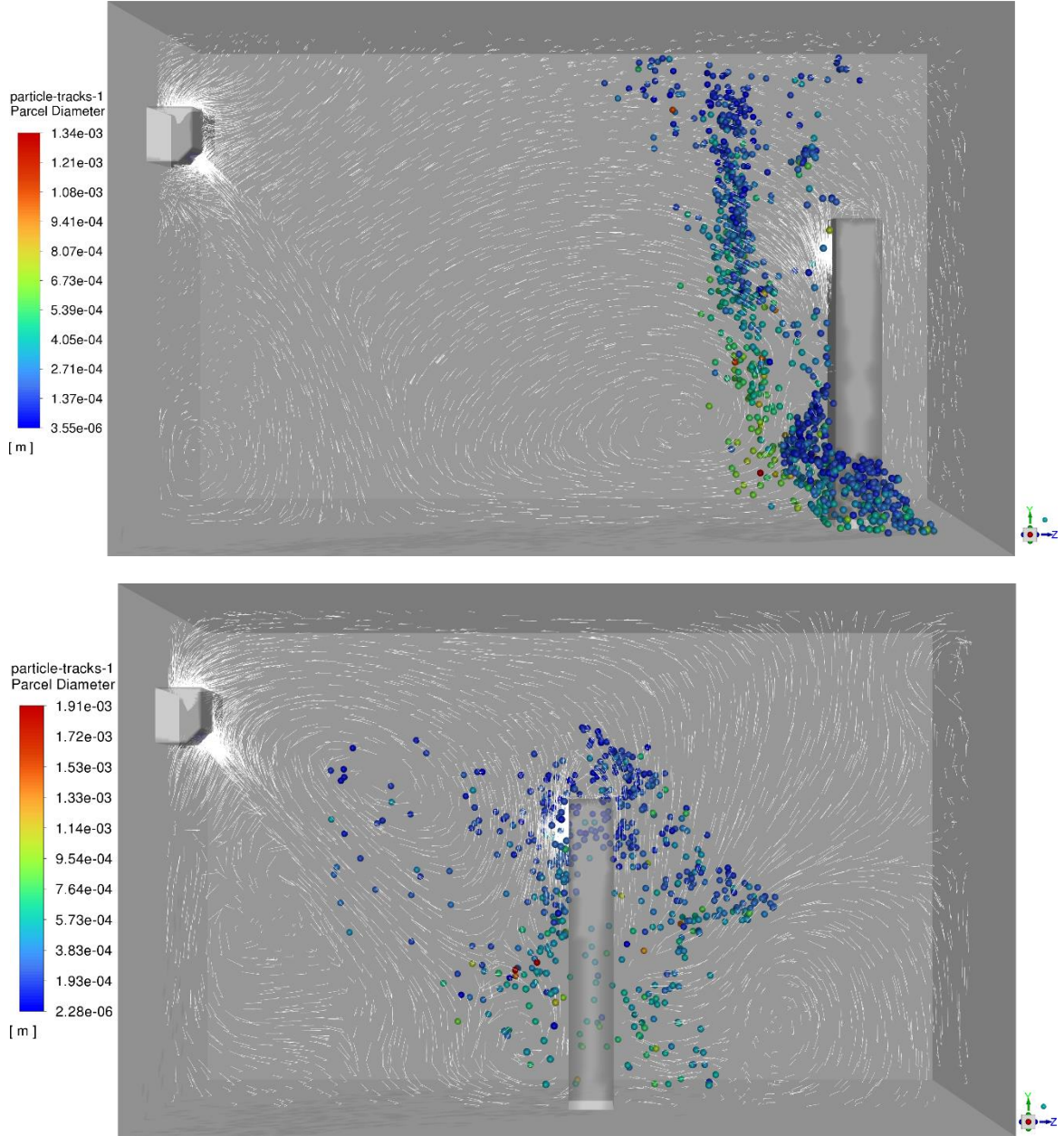
3. BULGULAR

Bu çalışmada duvar tipi bir klimanın kullanıldığı odada iki farklı manken konumuna bağlı olarak damlacık dağılımı incelenmiştir. İlk durumda mankenin Şekil 1'de gösterilen duvara olan X uzaklığı 0.50 m iken ikinci durumda 2.00m'dir.



Şekil 2. Yukarıdan aşağıda sırasıyla 1. ve 2. durum için $t=0.5\text{sn}$ 'de orta düzlemde akış yapısı ve damlacık dağılımı (damlacıklar çaplara göre (x50) ölçeklendirilmiştir).

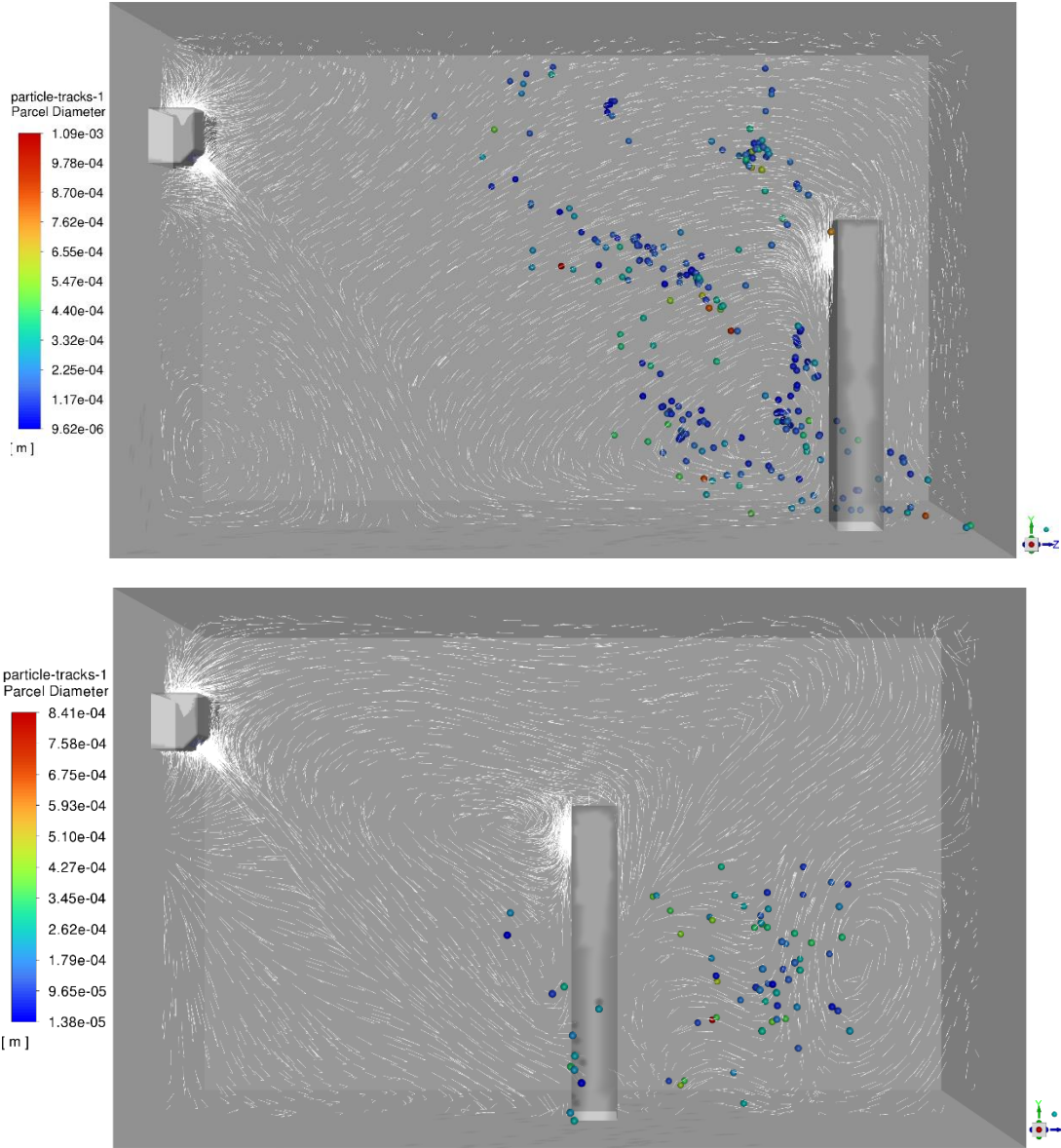
Duvar tipi klimalar üfleme ve emme konumlarının pozisyonu sebebiyle oda içerisinde diğer iklimlendirme metotlarına göre farklı bir hava akışı oluşturmaktadır. Şekil 2'de bu durumun etkileri görülmektedir. İki durumda da ağırlıkları sebebi ile aşağı doğru hareket eden çapı büyük olan damlacıklar $t=0.5\text{sn}$ 'de mankenin çok fazla uzaklaşamamışlardır ($<1\text{m}$). Bunun sebebi ise manken üzerine doğrudan ulaşan hava jetidir. İlk durumda, partikül dağılımı ile gösterilen akım vektörlerinden de anlaşılacağı üzere, mankenin klimadan uzaklığı sebebi ile hava jeti önce zemine ulaşmakta ardından dönüş hareketi yaparak küçük çaplı damlacıkları mankenin üzerine ve yukarıya doğru taşımaktadır. İkinci durumda da benzer bir hareket olmasının yanında mankenin klimaya olan yakın mesafesi sebebi sonucunda oluşan türbülanslı akış yapısı nedeniyle hem akış yapısı hem de damlacık dağılımı daha kaotiktir.



Şekil 3. Yukarıdan aşağıda sırasıyla 1. ve 2. durum için $t=4\text{sn}$ 'de orta düzlemde akış yapısı ve damlacık dağılımı (damlacıklar eşit büyüklükte gösterilmiş, çaplara göre renklendirilmiştir).

Şekil 3 $t=4\text{sn}$ 'ye karşılık gelen damlacık dağılımlarını göstermektedir ve Şekil 1 ile benzer bir dağılım içermektedir. İlk durum ($X=0.50\text{m}$) ele alındığında büyük çaplı damlacıkların pek çoğunun yüzeylere

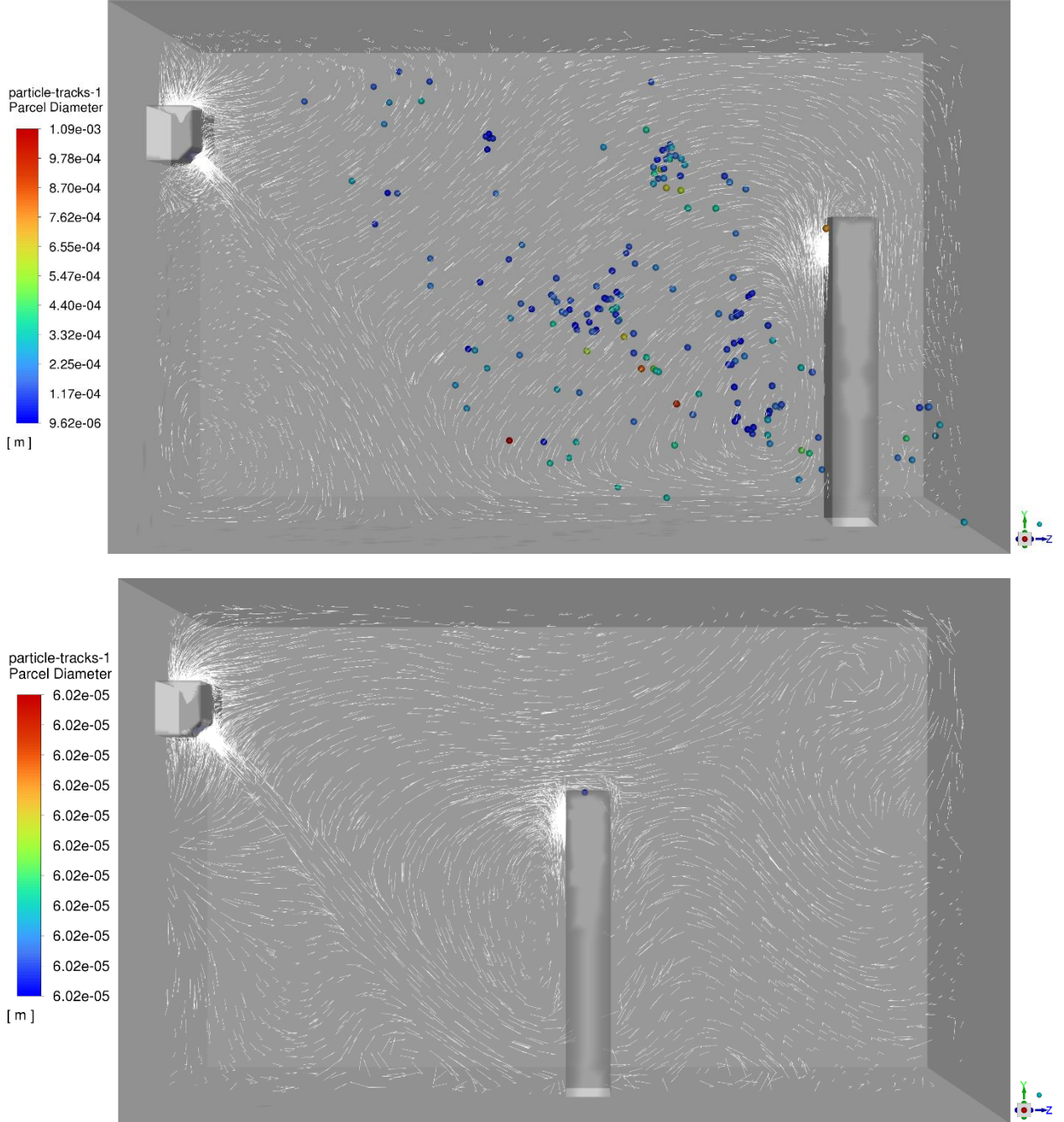
tutulduğu, kalan damlacıkların ise hava hareketine bağlı yer değiştirdiği görülmektedir. Zemine yakın kısımlar hava jeti tarafından mankenin gerisine doğru itilmekte, yüksekte kalan damlacıklar ise hava jetinin ve emme menfezinin sebep olduğu dairesel hava hareketine bağlı olarak bir klimaya doğru hareket etmektedir. İkinci durumda ise $t=0.5s$ 'de olduğu gibi damlacık dağılımı daha geniş bir alana yayılmıştır ve damlacıklar mankenin konumu nedeniyle oluşan girdap akımlarına bağlı olarak hareket etmektedir. Bu zaman aralığında ($t=4sn$) ilk durumda ($X=0.50m$) takip edilen damlacık sayısı 1019 iken ikinci durumda ($X=2.00m$) bu sayınının 584 olduğu görülmüştür. Çoklu girdap yapısı nedeniyle damlacıkların tutunma, birleşme ve buharlaşma davranışları ilk duruma göre daha fazladır ve bu sebeple takip edilen parçacık sayısında hızlı bir düşüş meydana gelmektedir.



Şekil 4. Yukarıdan aşağıya sırasıyla 1. ve 2. durum için $t=8sn$ 'de orta düzlemde akış yapısı ve damlacık dağılımı (damlacıklar eşit büyüklükte gösterilmiş, çaplara göre renklendirilmiştir).

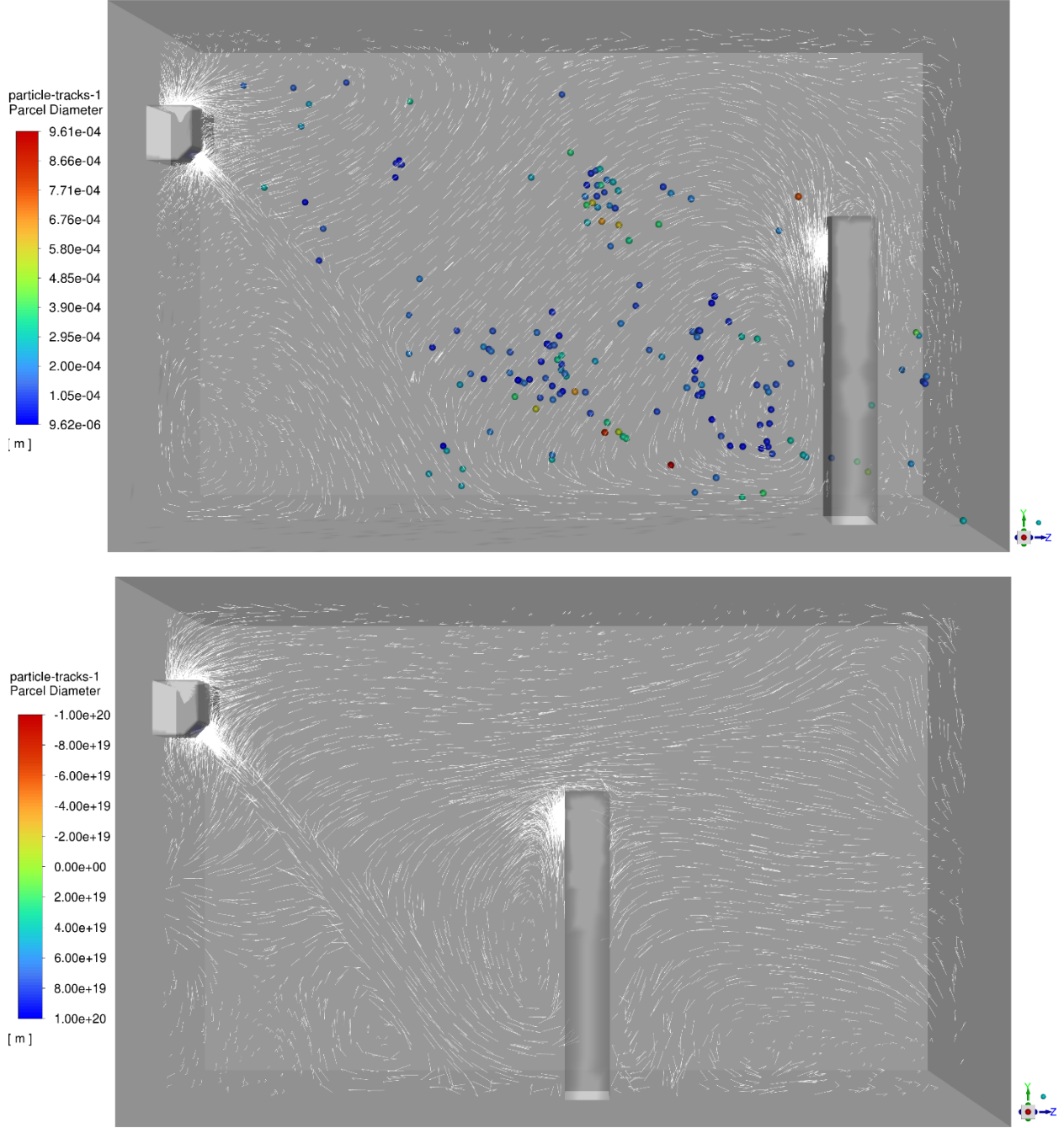
Şekil 4'te $t=8sn$ 'de her iki durum için damlacık dağılımları görülmektedir. Her iki durumda da damlacık kümelerinin dağıldığı ve birbirleri arasındaki mesafelerin arttığı görülmektedir. İlk durumda ($X=0.50m$) çapı büyük olan damlacıkların zemine doğru hareketini sürdürdüğü diğer damlacıkların ise odanın sağında baskın olan büyük dönüş hareketine bağlı olarak yer değiştirdiği görülmektedir. Damlacıkların büyük bir kısmı mankenin önünde konumlanmıştır. İkinci durumda ($X=2.00m$) ise damlacıkların yoğunlukla mankenin arkasında oluşan girdap hareketine bağlı olarak konumlandığı görülmüştür.

Ayrıca damlacık sayısı da önemli miktarda düşmüştür. Bu zaman aralığında ilk durumda 245 damlacık takip edilirken ikinci durumda 73 damlacık takip edilmiştir.



Şekil 5. Yukarıdan aşağıda sırasıyla 1. ve 2. durum için $t=12\text{sn}$ 'de orta düzlemde akış yapısı ve damlacık dağılımı (damlacıklar eşit büyüklükte gösterilmiş, çaplara göre renklendirilmiştir).

Şekil 5'te $t=12\text{sn}$ 'de her iki durum için damlacık dağılımları vektörel akım çizgileri ile birlikte gösterilmiştir. İlk durumda ($X=0.50\text{m}$) görülen dağılım yine bir önceki dağılıma benzemekte ve yine damlacıkların bir kısmı çıkış konumuna doğru damlacıklar ilerlemektedir. Bunun birlikte damlacıkların büyük bir kısmının odadaki hava akımlarına bağlı olarak asılı kaldığı ve girdap hareketlerine bağlı olarak hareket ettikleri görülmektedir. Öte yandan, ikinci durumda ($X=2.00\text{m}$) ise neredeyse tüm damlacıklar zamanla buharlaşmıştır. Bu zaman diliminde ilk durumda 178 damlacık takip edilirken, ikinci durumda yalnızca bir damlacık kalmıştır.



Şekil 6. Yukarıdan aşağıda sırasıyla 1. ve 2. durum için $t=15s$ 'de orta düzlemde akış yapısı ve damlacık dağılımı (damlacıklar eşit büyüklükte gösterilmiş, çaplara göre renklendirilmiştir).

Şekil 6'da $t=15s$ 'de her iki durum için damlacık dağılımları vektörel akım çizgileri ile birlikte gösterilmiştir. İlk durumda ($X=0.50m$) damlacıklar büyük ölçüde varlıklarını korumuşlardır ve 166 damlacık takip edilmiştir. Damlacıklar manken ve klima arasında oluşan büyük hava hareketi içinde hareket etmektedirler. Damlacık sayısının azalmasında temel etkinin buharlaşma olduğu görülmüştür. İkinci durumda ($X=2.00m$) ise tüm damlacıklar zamanla buharlaşmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada duvar tipi bir klimanın soğutma yaptığı bir odada, ısıl mankenin konumuna bağlı olarak enfekte damlacık dağılımı incelenmiştir. Isıl mankenin klimaya yakın olduğu durumda daha kaotik bir damlacık dağılımının meydana geldiği görülmüştür. Manken klimadan uzaklaştıkça damlacık hareketlerinin daha stabil ve öngörülebilir olduğu anlaşılmıştır. Öte yandan, mankenin klimadan uzaklaşmasıyla klimanın baskın bir şekilde meydana getirdiği hava hareketine kapılan damlacıklar havada çok daha uzun bir şekilde asılı kalmaktadır. İç ortamdaki kişilerin pozisyonu ve hava jetinin konumu damlacık dağılımına önemli ölçüde etki etmektedir. Elde edilen sonuçlar, iç ortamlarda hava yoluyla bulaşan virüslerin yayılımına karşı iklimlendirme sistemlerinin ve ofis tasarımının oldukça önem arz ettiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] R. Atiyani, S. Mustafa, S. Alsari, A. Darwish, E.M. Janahi, Clearing the air about airborne transmission of SARS-CoV-2., *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 25 (2021) 6745–6766. https://doi.org/10.26355/eurrev_202111_27120.
- [2] Z.-W. Ye, S. Yuan, K.-S. Yuen, S.-Y. Fung, C.-P. Chan, D.-Y. Jin, Zoonotic origins of human coronaviruses., *Int. J. Biol. Sci.* 16 (2020) 1686–1697. <https://doi.org/10.7150/ijbs.45472>.
- [3] D.M. Cutler, L.H. Summers, The COVID-19 Pandemic and the \$16 Trillion Virus, *JAMA.* 324 (2020) 1495. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.19759>.
- [4] M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi, A. Kerwan, A. Al-Jabir, C. Iosifidis, M. Agha, R. Agha, The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review, *Int. J. Surg.* 78 (2020) 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.04.018>.
- [5] World Health Organization(WHO), Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19, 2021.
- [6] J. Burkett, Defining Viruses And Droplet Release: Virus Transmission Modes and Mitigation Strategies, Part 1, *ASHRAE J.* 63 (2021) 24–29.
- [7] G.N. Sze To, C.Y.H.H. Chao, Review and comparison between the Wells-Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious respiratory diseases., *Indoor Air.* 20 (2010) 2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00621.x>.
- [8] Z. Liu, W. Zhuang, X. Hu, Z. Zhao, R. Rong, J. Li, N. Li, W. Ding, Potential infection risk assessment of improper bioaerosol experiment operation in one BSL-3 laboratory based on the improved Wells-Riley method, *Build. Environ.* 201 (2021) 107974. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107974>.
- [9] Y. Yan, X. Li, Y. Shang, J. Tu, Evaluation of airborne disease infection risks in an airliner cabin using the Lagrangian-based Wells-Riley approach, *Build. Environ.* 121 (2017) 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.013>.
- [10] World Health Organization(WHO), Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care, 2014.
- [11] B.E. Yuçe, E. Pulat, Forced, natural and mixed convection benchmark studies for indoor thermal environments, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 92 (2018) 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.02.003>.
- [12] Y. Feng, T. Marchal, T. Sperry, H. Yi, Influence of wind and relative humidity on the social distancing effectiveness to prevent COVID-19 airborne transmission: A numerical study, *J. Aerosol Sci.* 147 (2020) 105585. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105585>.
- [13] S. Leonard, W. Strasser, J.S. Whittle, L.I. Volakis, R.J. DeBellis, R. Prichard, C.W. Atwood, G.C. Dungan, Reducing aerosol dispersion by high flow therapy in COVID-19: High resolution computational fluid dynamics simulations of particle behavior during high velocity nasal insufflation with a simple surgical mask, *J. Am. Coll. Emerg. Physicians Open.* 1 (2020) 578–591. <https://doi.org/10.1002/emp2.12158>.
- [14] L. Borro, L. Mazzei, M. Raponi, P. Piscitelli, A. Miani, A. Secinaro, The role of air conditioning in the diffusion of Sars-CoV-2 in indoor environments: A first computational fluid dynamic model, based on investigations performed at the Vatican State Children's hospital, *Environ.*



- Res. 193 (2021) 110343. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110343>.
- [15] M.R. Pendar, J.C. Páscoa, Numerical modeling of the distribution of virus carrying saliva droplets during sneeze and cough, *Phys. Fluids*. 32 (2020) 083305. <https://doi.org/10.1063/5.0018432>.
- [16] Y. Abu-Zidan, K. Nguyen, P. Mendis, S. Setunge, H. Adeli, DESIGN OF A SMART PREFABRICATED SANITISING CHAMBER FOR COVID-19 USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS, *J. Civ. Eng. Manag.* 27 (2021) 139–148. <https://doi.org/10.3846/jcem.2021.14348>.
- [17] S.A. Chillón, A. Ugarte-Anero, I. Aramendia, U. Fernandez-Gamiz, E. Zulueta, Numerical Modeling of the Spread of Cough Saliva Droplets in a Calm Confined Space, *Mathematics*. 9 (2021) 574. <https://doi.org/10.3390/math9050574>.
- [18] B.E. Yuce, THE EFFECT OF ELEVATOR CABIN SIZE ON INFECTIOUS DROPLET DISPERSION, *Heat Transf. Res.* 53 (2022) 17–29. <https://doi.org/10.1615/HeatTransRes.2022041611>.
- [19] J.W. Tang, A.D. Nicolle, C.A. Klettner, J. Pantelic, L. Wang, A. Bin Suhaimi, A.Y.L. Tan, G.W.X. Ong, R. Su, C. Sekhar, D.D.W. Cheong, K.W. Tham, Airflow Dynamics of Human Jets: Sneezing and Breathing - Potential Sources of Infectious Aerosols, *PLoS One*. 8 (2013) e59970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059970>.

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır Erman YÜCE

1991 yılı Oltu doğumludur. 2012 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamış ve yine aynı birimde 2019 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. 2020 yılından bu yana Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır. 2021-2022 yılları arasında Danimarka Teknik Üniversitesi, International Centre for Indoor Environment and Energy'de TÜBİTAK 2219 bursiyeri olarak doktora sonrası araştırma faaliyetlerinde bulunmuştur. Havalandırma, ısı konfor, iç hava kalitesi ve iç ortam enfeksiyon riski konularında sayısal araştırmalar yürütmektedir.

ET KOMBİNALARINDA PANDEMİ KURALLARI VE İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER

Pandemic Rules and Air Conditioning in Meat Combines Measures to be Taken in the Systems

Esmâ Sarıaslan Divrikli

ÖZET

Bu makalede, et kombinalarında pandemi kuralları ve iklimlendirme sistemlerinde alınması gereken önlemler üzerine bir çalışma sunulmuştur.

Et kombinalarında, çalışma alanlarında etin korunabilmesi için gerekli olan düşük mahal sıcaklıkları, çalışanların konforunu bozmakta ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Çalışma şartlarında insan sağlığını bozmayacak önlemler ve düzenlemeler yapılmalıdır. Bu önlemlerin başında hijyenik önlemler ve termal konforun sağlanması gelmektedir.

Hijyen şartlarının sürekli olarak takip edilmesi, çalışma sürelerinin kontrolü, özel kişisel koruyucu ekipmanların kontrolü, mahal geçişlerinde maruz kalınan ısı farkının kademeli olarak sağlanması gibi çalışan sağlığını korumaya yönelik önlemler tesisdeki mahaller bazında anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: et kombinalarında hijyen, insanlı soğuk oda, kişisel koruyucu ekipman, pandemi, salgın

ABSTRACT

In this article, a work on pandemic rules in meat combinations and measures to be taken in air conditioning systems is presented. The low room temperature which is required to protect the meat in meat combinations and work areas disrupt the comfort of the employees and cause health problems. Controls and regulations that will not affect human health under working conditions should be made. The most important of these precautions are hygiene and thermal comfort in the working area. Measures to protect employee health such as continuous monitoring of hygiene conditions, control of working hours, control of special personal protective equipment, providing gradual temperature difference in space transitions are described on the basis of the spaces in the facility.

Key Words: Hygiene in meat combinations, Manned cold room , Personal protective equipment, Pandemic, Epidemic

1. GİRİŞ

Bu çalışma pandemi sürecinde en çok etkilenen kesimlerden olan, et kombinaları ile et soğuk depolarında yer alan kapalı alanların mekanik tesisat, hijyenik kullanım ve bakım kuralları açısından pandemi senaryolarının oluşturulması, pandemi sürecinde çalışma şekli ve en iyi performansı gösterebilmesi için alınması gereken önlemlerin yazılı hale getirilmesi amacıyla hazırlanmıştır.



Sars-Cov2 virüsünün yayılmasına bağlı olarak oluşan covid 19 pandemisinde birçok haber ajansı tarafından et işleme tesislerinde büyük salgın haberleri yapılmış ve Almanya, İngiltere, Fransa, ABD , Brezilya, İspanya, Avustralya gibi birçok ülke de toplu vakaların yaşandığı ile ilgili vaka bildirimleri yapmıştır.

Et işleme tesislerinde salgının bu kadar hızla yayılmasının nedenlerinden biri de ortamdaki çalışma koşullarının zorluğu, hijyen eksikliği ve alınan önlemlerin yetersizliğidir.

Et işleme tesislerinde ;
Kesimhane
Ayrırma ve parçalama
Paketleme
Et işleme
Soğuk odalar
İdari Birimler
gibi bölümler yer almaktadır.

Her bölümün sıcaklık değerleri ve nem gibi iç hava koşulları farklıdır.Bu alanlardaki hijyen ve kişisel korunma ekipmanları açısından ihtiyaçları da farklılıklar göstermektedir.

Bu alanların tanımı ve alınması gereken önlemler de bu çalışmada Bölüm 3.3. de "Mekanların Özelliklerine Göre Alınması Gereken Önlemler "başlığı altında anlatılmıştır.

2-ET KOMBİNALARINDA PANDEMİ YÖNETİM PLANI VE PANDEMİ KURULU

2.1.Pandemi Planı:

Tesisin pandemi sürecinde mutlaka uygulanması gereken bir pandemi yönetim planı olmalıdır. Bu plan, 18/6/2013 tarih ve 28681 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmeliğin 7 nci maddesi gereğince her iş yerince hazırlanan acil durum planına ve bina işletim planına ek olarak hazırlanmalıdır.

Bu planda değişik senaryolar ve pandemi gelişimine bağlı olarak değiştirilebilecek alternatifler de yeterli düzey ve çeşitlilikte bulunmalıdır. Planın ana amacı virüs yayılımı ve bulaşını en az düzeye sürdürülebilir biçimde indirmek ve gerekli koşulların oluşmasını sağlamak olmalıdır. .

Senaryonun işletilmesi ile yükümlü olan görevliler yapılan işleri günlük olarak raporlamalı ve kayıt altına almalıdır.

2.2.Pandemi Kurulu:

Et kombinaları ile et soğuk depolarında hijyen ve pandemi tedbirlerinin uygulanmasından ve takibinden sorumlu olmak üzere oluşturulan kuruldur.

2.3.Pandemi Kurulu'nun Üyeleri ve Görevler:

2.3.1.Pandemi kurulu Başkanı:

Tesisin yönetilmesindeki en yetkili kişi pandemi kurulunu başkanı olarak atanmalıdır.

2.3.2.İşyeri Hekimi:

Et kombinaları riskli işyeri sınıfında olduğu için mutlaka çalışan personel için en az bir hekim ve bir hemşireden oluşmak üzere sağlık ekibi bulundurulmalıdır. Pandemi ile birlikte personele işyeri hekimi tarafından alınacak önlemlerle ilgili farkındalık eğitimi verilmelidir.

2.3.3.A veya B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı:

Et kombinaları riskli işyeri sınıfında olduğu için mutlaka çalışan personel için iş güvenliği uzmanı çalıştırılmalıdır. İş güvenliği uzmanı/uzmanları pandemi süresince alınan önlemlerin kontrolünü ve raporlamasını sağlamalıdır.

Çalışılacak alanların mahal şartlarına göre kişisel korunma ekipmanları ve özel kıyafet düzenlemesi iş güvenliği uzman/uzmanları tarafından düzenlenmeli ve günlük olarak kontrolleri yapılarak raporlanmalıdır. İSG ler A veya B sınıfı olmalıdır.



2.3.4.Veteriner Hekim:

Kesim amaçlı gelen hayvanların sağlık kontrolünden ve kesilen etin sağlıklı olduğunu raporlamalı ve şüpheli durumunda şüpheli prosedürünü uygulamalıdır. Tesiste veteriner hekimin kontrollerini yapabileceği bir laboratuvar alanı bulunmalıdır.

2.3.5.Teknik Grup:

Kurulda mutlaka pandemi teknik senaryosunun yürütülmesini takip etmek üzere fiili olarak görev yapan Makina ve Elektrik mühendisleri bulunmalıdır.

3-GENEL KURALLAR

3.1.Belge ve Sertifikalar:

- 1-Tesis mutlaka GGBS(Gıda Güvenlik Bilgi Sistemi)'ne kayıtlı olmalıdır.
- 2-“Hayvansal Gıdalar İçin Özel Hijyen Yönetmeliği”nin uygulanması sağlanmalıdır.
- 3-HACCP13001'e göre “Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Belgesi” olması tavsiye edilir.

3.2.Hijyen Kuralları:

3.2.1.Yapısal Önlemler:

- 1-Et kombinaları ve et soğuk odalarında kapalı alanlara personel, mal girişi vb. yapılan tüm giriş kapılarında hijyenik paspaslar olmalıdır.
- 2-Yeni yapılacak tüm tesislerde tesise giriş ve bölümler arası geçiş noktalarındaki kapıların el değmeden otomatik açılır kapanır olması sağlanmalıdır. Mevcut tesislerde geçiş kapıları otomatik değilse bu konuda gerekli tadilatlar yapılarak, önlem alınmalıdır.
- 3-Tesis yerleşkesine girişte personel tanıma amacı ile kurulan parmak okuma sistemi varsa tamamen iptal edilmeli, temassız kimlik okuma sistemi, QR kod vb. yöntemlerle geçiş sistemi kullanılmalıdır.
- 4-Kesimhane personel giriş kapısı ile diğer mahallerden ayrılmış olmalıdır. Personel giriş kapıları kart okunmalı hermetik kapılarla değiştirilmeli ve yetkilendirilmiş personel dışında kişilerin girişleri engellenmelidir.
- 5-Tesisin girişinden itibaren her bağımsız bölüm girişlerinin uygun noktalarında ve uygun sayıda virüse karşı alkol bazlı ve el temassız dezenfektan dağıtıcıları bulundurulmalıdır.
- 6-Kesimhane girişinde içinde giyinme alanları, personel duş-wc alanları olan asepsi alanı oluşturulmalıdır.
- 7-Personel üniformaları ve ayakkabı/terlikler günlük olarak minimum 60°C sıcak suda temizlenmeli ve paketlenmiş olarak asepsi girişinde teslim edilmelidir.
- 8-Yetkili personel giriş kapısından geçtikten sonra kesimhaneye geçiş yapmalıdır. Kesimhane kapısında hijyenik turnikeler yerleştirilmiş olmalıdır. Hijyenik turnikede el yıkama sistemi, el dezenfekte sistemi olmalı, sıvı dezenfektanlı hijyenik paspas olmalı yan ve yatay çizme yıkama sistemi yerleştirilmiş olmalıdır. Hijyenik bariyerde temiz su girişi, pis su çıkışı ve kimyasallı su çıkışı bağlantıları yapılmalı, bariyerin etkinliği sürekli biçimde sağlanmalı ve denetlenmelidir.
- 9-Tesise giren araçlar için teknik şartnamesine uygun olarak araç dezenfeksiyon havuzu tesis edilmelidir.

3.2.2.Fiziksel Mesafenin Sağlanması İle İlgili Önlemler:

- 1-Tesisin görünür noktalarında Maske – Mesafe - Hijyen kuralları ile ilgili uyarıcı tabelalar yerleştirilmiş olmalıdır.
- 2-Kesimhane ve kavurma, pişirme alanlarındaki imalat programı da göz önüne alınarak mümkünse vardiyalı sisteme geçiş yapılarak çalışılması sağlanmalı ve insan yoğunluğu minimum seviyede tutulacak tedbirler alınmalıdır.
- 3-Tesiste çalışanların mola saatlerinde bir araya geldikleri alanlar veya sigara içme alanı gibi toplu olarak bir arada bulunan alanların açık havada tesis edilmesine dikkat edilmelidir. Dış mekana açılabilen pencere kapalı mekanlarda ise 10 m²'ye 1 kişi olacak şekilde tedbir alınmalıdır. Mola saatleri de çalışma saatlerine bağlı olarak kademeli olarak düzenlenmeli ve bir zaman çizelgesi oluşturulmalıdır.

4-Tesis yönetimi çalışanlarını çalışma şekillerine göre kategorize ederek, online çalışma imkanı olan idari personelleri için pandemi döneminde dönüşümlü olarak işe geliş-gidiş imkanı sağlamalı, minimum personel sayısı ile üretim programını bozmayacak önlemler alınmalıdır.

5-Bazı işlemlerin yapılması esnasında çalışanlar arasında fiziksel mesafe sağlanamıyorsa bu çalışanlar N95 veya daha üstü standartta maske kullanmalıdır.

3.2.3.Temizlik ve Bakım Önlemleri:

1-Kesimhanede yer ve duvar temizlikleri için sıcak su üreten ya da sıcak su ile beslenen merkezi tazyikli köpük, sıcak su ve soğuk su hatları olan yıkama sistemleri kurulmalıdır. Kesimhane içerisindeki bölümlerde en fazla 30 metre aralıklarla, içinde köpüklü su, sıcak su ve soğuk su için özel bağlantı noktaları bulunan temizlik panelleri oluşturulmalıdır. Temizlik personeli bu bağlantı panellerinden hortumunu bağlayarak yer ve duvar temizliklerini yapabilmelidir. Mahal temizliği için pandemi yönetim kurulunun planladığı şekilde ve zamanda duvar ve yer temizliği yapılmalıdır. Mahal temizliği için pandemi yönetim kurulunun planladığı şekilde ve zamanda duvar ve yer temizliği yapılmalıdır. Büyük tesislerde kimsenin olmadığı zamanlarda temizlik vardiyası oluşturulmalı veya tüm personel dağıldıktan sonra temizlik işçilerinin sistemi temizleyerek bırakması sağlanmalıdır.

2-Alanların özelliklerine ve çalışma düzenlerine uygun temizlik planı yapılmış olmalıdır

3-Temizlik personeli su sızdırmaz çizme, su sızdırmaz tulum ve çalıştığı bölüm şartlarına uygun yüz maskesi kullanılmalıdır.

4-Aynı ürüne dokunarak yapılan çalışmalar var ise çalışanlar mutlaka eldiven takmalıdır.

5-Üretim alanında çalışanların kullandıkları bireysel eşyaların kullanımına özen gösterilmeli, tek kullanımlık olmayan bireysel eşyalar her kullanımdan sonra dezenfekte edilmeli veya 60°C sıcaklığında yıkanmalıdır.

3.3.Et Kombinalarında Mekanların Özelliklerine Göre Alınması Gereken Önlemler:

3.3.1.Kesimhane Çalışma Alanları ve Önlemler

3.3.1.1.Kanama Alanları

1-Kanama bölümünde kan ve yıkama sularının karışmaması için çift kapaklı çift çıkışlı paslanmaz çelik ızgaralar oluşturulmalıdır. Kan hatları ayrı toplanarak paslanmaz çelik kan tankına iletilmelidir. Kan tankı mutlaka yedekli olmalı ve kan tankının tesis kapasitesine göre hangi aralıklarda dolacağı ve anlaşılabilir olarak gönderileceği sistem (yem veya gübre fabrikaları gibi) ve günlük uzaklaştırma işlemleri takip altında olmalıdır.

2-Kesimhaneye ait tüm pisu çıkışlarında (ızgara çıkışlarında, organ temizleme alanları ızgara çıkışlarında, soğuk oda ızgara çıkışlarında, mutfak ızgara çıkışlarında, varsa kavurma ve pişirme alanlarına ait ızgara çıkışlarında) pisu çek valfleri, hijyenik tip, elektrikli ısıtıcı ve otomatik boşaltmalı yağ tutucular oluşturulmalı ve çalışma kontrolleri yapılarak kayıt altına alınmalıdır. Böylece olası, tıkanma ve geri tepmelerin önüne geçilmelidir.

3-Kanama, temizleme alanları için basınçlı, sıcak su üreten ya da sıcak su ile beslenen merkezi tazyikli yıkama sistemlerinin panelleri bulunmalıdır. Merkezi tazyikli yıkama sisteminden alınan köpük ve sıcak su ile tesisin temizlik planında belirlenen periyotlarla yerler, platformlar ve duvarlar sürekli yıkanarak temizlik yapılmalı ve kayıt altına alınmalı, temizlik periyotları kontrol edilmelidir.

4-Bu alanda oluşturulan ve personelin kullandığı el yıkama lavaboları, özel olarak tasarlanmış, olmalıdır. Diz ya da dirsek kumandalı lavabo setleri şeklinde olması önerilir. Veya normal vitrifiye malzeme kullanılacaksa fotoselli musluklara sahip olmalıdır.

Kesimhanede et ve et ürünleri ile ilgili tüm bölümlerde termometre veya termal kamera bulundurulmalıdır. Mahal sıcaklıkları ve nem sürekli olarak kontrol altında olmalıdır, sınır değerlerin aşılması için önlem alınmalı, mekanik tesisat otomasyon sistemleri kurulmalıdır.

3.3.1.2.İşleme Alanları

Kesimhane büyükbaş ve küçükbaş hayvanlar için ayrı ayrı olmalıdır. Eğer aynı bina içinde olacaksa da Büyükbaş Kesimhane ve Küçükbaş Kesimhane bölümleri ayrı ayrı olmalıdır.



Yerde kesim yapılmamalıdır. Baş gövdeden ayrıldıktan sonra sürekli ilerleyen havai bir ray hattı tesis edilmiş olmalıdır. Havai hattın şok muhafaza odaları hariç olmak üzere diğer soğuk odalar ile uygun bağlantıları sağlanmalıdır.

Gerekliyse vardiya düzenlemesi yapılarak sürekli ilerleyen kesim hatlarındaki çalışma mesafeleri düzenlenmeli, iki personel arasında olması gereken mesafe en az 1,5 metre olarak ayarlanmalıdır.

Çapraz kontaminasyonu önlemek için farklı işlemlerin yapıldığı kesim hatları arasındaki mesafeler fiziki mesafe koşullarına uygun olarak düzenlenmelidir.

Bu alanda çalışan personelin kullandığı el yıkama lavaboları, özel olarak tasarlanmış, olmalıdır. Diz ya da dirsek kumandalı lavabo setleri şeklinde olması önerilir. Veya normal vitrifiye malzeme kullanılacaksa fotoselli musluklara sahip olmalıdır. Parçalama platformları günde en az iki defa dezenfekte edilmelidir. Aynı platformu aynı personelin kullanmasına dikkat edilmelidir.

Bu alanda kullanılan tüm kesme ve parçalama aletleri, tezgahlar, taşıma kapları, taşıyıcı konveyör sistemleri ve etle teması olan tüm materyaller kolay temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir nitelikte olan 18/10 Cr Ni paslanmaz çelik materyalden yapılmış olması gerekir.

Kullanılan aletlerin sterilizasyonu için minimum 82°C sıcak su veya bu amaçla kullanılan özel elektrikli alet sterilizatörleri kullanılmalıdır.

Parçalama ve sıyırma sonucu oluşan atıkların veya organ takımı-kelle bağırsak gibi ürünlerin atıldığı paslanmaz çelik şutlarının giriş ağızları ve çıkışlarının temizliğine dikkat edilmeli, bu alanlarda biriken kan ve benzeri kirlerin yüzeye tutunarak enfeksiyon oluşturması engellenmeli, gün sonunda mutlaka şutlar sıcak su ve sabun ile temizlenmelidir. Şutların çıkışına mutlaka kilitlenebilir paslanmaz çelik taşıma araçları konulmalıdır.

Eğer tesiste atıklar için bir şut sistemi yoksa bu atıkların ve tüketime uygun olmayan et ve sakatatın konulması için su geçirmez, 18/10 Cr Ni paslanmaz çelik malzemenen, pürüzsüz yüzeyli kolay temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir, ağız kapaklı ve kilitli yapıda taşıma araçları bulundurulmalıdır.

Bu atıklar her çalışma günü sonunda tesisten uzaklaştırılmalıdır. Tesisin konumu gereği bu atıklar uzaklaştırılmıyor ve imha edilemiyor ise bunların konulması için kilitlenebilir bir soğuk oda bulunmalıdır.

Parçalama esnasında şüpheli görülen ve veteriner tarafından da raporlanan şüpheli etin, imha edilene kadar depolanması ve normal ürünle karışmaması için de ayrı şüpheli soğuk odası oluşturulmalıdır.

Şüpheli etin bulunduğu soğuk odanın süzgeci arıtma tesisine ayrı olarak direk bağlantı ile götürülmeli ve mutlaka çift çek valfle emniyete alınmalıdır.

3.3.1.3. Bağırsak Temizleme Ve İşkembe Boşaltma Çukuru

Bu alanda çalışan personel için fiziki mesafe kurallarına uygun olarak çalışma alanı oluşturulmalıdır. En az 10 m²'ye 1 kişi esasına göre düzenleme yapılmalıdır.

Kesimhanede bu işlemler için tamamen duvarlarla ve kapı ile ayrılmış bir alan oluşturulmalıdır. İşkembe boşaltma çukurunda parçalayıcı bıçaklı ve yedekli pis su pompası olmalı ve sıra haline gelen atık tesis dışında oluşturulan paslanmaz çelik malzemenen veya sızdırmaz betondan yapılmış sıra toplama kabına şutlanmalıdır. Daha sonra anlaşmalı gübre firmaları gelip ürünlerini bu alandan teslim almalıdır.

Bağırsak temizleme ve işkembe boşaltma çukurunun olduğu alanlarında kokunun kaynağından yakalanması ve mahalde çalışanların korunması için çift cidarlı, paslanmaz çelik temizlenebilir filtreli, davlumbaz, aspiratör ve vantilatör sistemi oluşturulmalıdır. Egzoz atışları dikey atışlı fanlarla yapılmalıdır ve hızlı atış baca şapkası (jet cap) önerilir. Mahal mutlaka tasarımcı tarafından belirlenen oranda negatif basınç altında tutulmalıdır.

İşkembe boşaltma çukuru ve pompa sistemi her gün mutlaka özel kıyafetli temizlik personeli tarafından sıcak sabunlu su ile dezenfekte edilmeli ve bu temizlik işlemi kayıt altına alınmalıdır.

Bağırsak temizleme–işkembe boşaltma gibi kokulu ve enfeksiyon riski yüksek alanlarda çalışanlar için aktif karbonlu tam yüz maskeler, geçirimsiz botlar ya da çizmeler, kalın plastikten eldiven ve geçirimsiz tulumlar temin edilmelidir.

3.3.1.4.Parçalama Alanları

- ORGAN TAKIM AYIRMA
- KELLE
- BAĞIRSAK ALANLARI

Bu alanlarda çalışan personel için fiziki mesafe kurallarına uygun olarak çalışma alanı oluşturulmalıdır. En az 10 m²'ye 1 kişi esasına göre düzenleme yapılmalıdır.

Kullanılan tüm kesme ve parçalama aletleri, tezgahlar, taşıma kapları ve etle teması olan tüm materyaller kolay temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir nitelikte olan 18/10 Cr Ni paslanmaz çelik materyalden yapılmış olması gerekir. Bu mahallerde paslanmaz çelik derin eviye bulunmalıdır. Eviye bataryasına tazyik amaçlı takılan özel başlık pandemi döneminde kontrol edilemeyen basınç ve hava hareketi oluşturacağı için kullanılmamalıdır.

Kullanılan aletlerin sterilizasyonu için minimum 82°C sıcak su veya bu amaçla kullanılan özel elektrikli alet sterilizatörleri kullanılmalıdır.

Parçalama ve sıyırma sonucu oluşan atıkların atıldığı paslanmaz çelik şutlarının giriş ağızları ve çıkışlarının temizliğine dikkat edilmeli, bu alanlarda biriken kan ve benzeri kirlerin yüzeye tutunarak enfeksiyon oluşturması engellenmeli, gün sonunda mutlaka şutlar sıcak su ve sabun ile temizlenmelidir. Şutların çıkışına mutlaka kilitlenebilir paslanmaz çelik taşıma araçları konmalıdır.

Ayrılan ve temizlenen organlar ayrı ayrı paslanmaz çelik kaplara konulmalı bağırsak, organ, kelle soğuk depolarına taşınmalıdır. Taşıma esnasında taşıma arabalarının el tutma yerleri ve kulplar her seferinde yeniden dezenfekte edilmelidir.

Organ-Kelle-Bağırsaklar ayrı soğuk depolarda tutulmalı ve işletme şartlarına göre depo soğuklukları belirlenmiş olmalıdır.

Eğer soğuk depolama yapılmayacaksa sevk için uygun hale getirilmek üzere paketleme bölümüne gönderilmelidir.

3.3.1.5.Deri Tuzlama Alanı

Derilerin bozulmaması için tuzlamanın yapıldığı alandır. Bu alanlarda çalışan personel için fiziki mesafe kurallarına uygun olarak çalışma alanı oluşturulmalıdır. En az 10 m²'ye 1 kişi esasına göre düzenleme yapılmalıdır.

Deriler aynı gün içinde sevk edilmeli veya tuzlanarak bekletilmelidir.

3.3.1.6.Et İşleme ve Sevkiyat Alanları

ET-KUŞBAŞI İŞLEME
VAKUM PAKETLEME ALANLARI
KORİDOR VE SEVKİYAT ALANLARI

Bu mahallerde mahal sıcaklığı +7/+10°C'ta tutulmaktadır. Bu insanlı soğuk odalarda çalışma şartları, giysiler ve donanımlar işletme ve İş Güvenliği Uzmanları tarafından oluşturulmalıdır.



Bu alanlarda çalışan personele termal özellikte olan, sıkı olmayan, birkaç kattan oluşan giysiler verilmelidir. Bu kıyafetler özellikle baş bölgesi için kulakları, yüzü ve başı korumalıdır. Botlar su geçirmez veyalıtımlı olmalıdır.

Soğuk hava depolarındaki solunan soğuk havanın iç organlara zarar vermemesi için uygun solunum ekipmanı kullanılmalıdır.

Personel dönüşümlü çalışmalı ve çalışma süresi için ILO tarafından belirlenen uygun standartlar Soğuk Depo çıkışı ısı dengesinin sağlanması için bekleme odaları oluşturulmalıdır. Dönüşümlü çalışma esnasında bekleme alanlarında fiziki mesafe kurallarına dikkat edilmelidir. Bu alanlarda yüksek sesle konuşmak ve 2,0 metreden daha yakın mesafede iletişime geçmek yasaklanmalı, kurallar büyük puntolu yazımla yazdırılıp koruyucu çerçeve içerisinde duvarlara asılmalıdır.

İnsanlı Soğuk Depo mahallerindeki iç kapıların arızasız açılması sağlanmalıdır ve İş Güvenliği Uzmanları tarafından düzenli olarak test edilmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Mahal içinde acil durum butonu olmalıdır ve düzenli olarak İş Güvenliği Uzmanları tarafından test edilmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

Acil müdahale için eğitimli personel ve ekipman bulundurulmalıdır.

Hastalanan personel için ambulans gelene kadar ilk müdahale yapılması için izolasyon odası oluşturulmalıdır. İzolasyon odaları negatif basınçta tutulmalı, negatif basınç kademeli geçişle sağlanmalıdır. Sağlık ekibi için nötr basınçta çalışma alanı oluşturulmalıdır.

4-ET KOMBİNALARINDA ATIKLAR VE ATIK YÖNETİMİ

4.1.Et Kombinalarında Atıklar

Kesimhane atıkları hayvansal yan ürünler, evsel atıklar, tehlikeli atıklar, tıbbi atıklar, bakım ve onarımdan kaynaklı teknik atıklar ve kişisel koruyucu ekipman atıkları olmak üzere 6 ana başlıkta değerlendirilir.

4.1.1Hayvansal Yan Ürünler

- Kesim esnasında oluşan atıklar (boynuz, kıl, tüy vb.).
- Kan.
- Hayvanların bekleme esnasında oluşturdukları dışkıları.
- İşkembe ve bağırsak boşaltılması esnasında oluşan atıklar.

4.1.2.Evsel Atıklar

İdari birimlerden, yemekhaneden ve mutfaktan kaynaklı evsel nitelikli katı atıklar, bitkisel atık yağlar.

4.1.3.Tehlikeli Atıklar

Genel temizlik, dezenfeksiyonda kullanılan solventler gibi zararlı maddelerin kullanımı dolayısıyla oluşan atıklardır.

4.1.4.Tıbbi Atıklar

Revire gelen hastalardan dolayı oluşan atıklardır.

4.1.5.Bakım ve Onarım Kaynaklı Teknik Atıklar

- Tesis ve ekipmanların bakım ve onarımından kaynaklı atıklar;
- Atık su arıtma tesisi çamuru.
- Floresan lambalar, elektrik kabloları vb. diğer elektrikli ve elektronik atıklar.



4.1.6. Kişisel Koruyucu Ekipman Atıkları

- Maske, eldiven, süperlik vb kişisel koruyucu ekipmanlara ait atıklardır.

4.2. Atık Yönetimi

Tesiste hijyenin sağlanması için düzgün işleyen bir atık yönetim planı oluşturulmalıdır. Atık yönetimi tesis kapasitesine uygun kişi veya kişilerce sağlanmalıdır. Tüm atıkların periyodik olarak izlenmesi ve bu uygulamaların kontrol edilerek kayıt altına alınması gerekir.

Tesis içerisinde geri dönüşüm sistemleri (rendering) varsa hangi tür atıkların geri dönüşümde değerlendirileceğinin planlanması yapılmış olmalıdır.

4.2.1. Hayvansal yan Ürünlerin Atık Yönetimi

- Kesim esnasında oluşan atıklar için ayrılmış olan soğuk odada biriktirilmeli ve rendering tesislerine gönderilmelidir
- Kanı değerlendiren kuruluşlarla sözleşmeler yapılarak tesisten uzaklaştırılması sağlanmalıdır.
- Hayvanların bekleme esnasında oluşturdukları dışkılar ile işkembe ve bağırsak boşaltılması esnasında oluşan atıklar tesis açık alanında oluşturulan gübre çukurunda biriktirilerek, hazırlanan şırayı değerlendiren kuruluşlarla sözleşmeler yapılarak tesisten uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

4.2.2. Evsel Atık Yönetimi

- Evsel katı atıklar belediyenin çöp toplama hizmetlerine teslim edilmelidir. Eğer tesis belediye sınırları içerisinde değil bu atıklar tesisin kendi araçları ile belediyenin atık depolama alanına teslim etmelidir.
- Bitkisel atık yağları değerlendiren kuruluşlarla sözleşmeler yapılarak, bertaraf edilmesi kontrol altına alınmalıdır.

4.2.3. Tehlikeli Atıkların Yönetimi

- Tehlikeli atıklar lisanslı kuruluşlara verilmelidir.
- Kimyasal atıklar uygun depolama alanlarında saklanmalıdır. Bu depolama alanlarının havalandırılması sağlanmış olmalıdır.

4.2.4. Tıbbi Atıkların Yönetimi

- Revirden kaynaklanan tıbbi atıklar ayrı olarak toplanmalıdır. Bu atıklar, varsa belediyenin atık toplama ekiplerine yoksa bu atıkları toplayan lisanslı kuruluşlarla sözleşmeler yapılarak tesisten uzaklaştırılması sağlanmalıdır.

4.2.5. Bakım ve Onarımdan Kaynaklı Teknik Atık Yönetimi

- Tehlikesiz atıklar lisanslı kuruluşlara gönderilmelidir.
- Floresan lambalar, elektrik kabloları vb. diğer elektrikli ve elektronik atıklar lisanslı kuruluşlara verilmelidir.
- Atık su arıtma tesisi çamur susuzlaştırılarak, döküm sahasına nakledilerek tesisten uzaklaştırılmalıdır.

4.2.6. Kişisel Koruyucu Ekipman Atık Yönetmeliği

- Tesiste maske, eldiven, süperlik gibi kişisel koruyucu ekipman atıklarının yönetimi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 07.04.2020 tarih ve 2020/12 sayılı genelgesi gereklilikleri doğrultusunda ve aşağıdaki bilgiler doğrultusunda düzenleme yapılmalıdır.
- Otoparklarda ve iç mekânlarda, yeme içme alanları gibi ortak alanlarda gri renkli, pedallı ya da fotoselli üzerinde "MASKE-ELDİVEN ATIK KUMBARASI" ibaresi yazılı olan atık kumbarası oluşturulmalıdır.



- Bu kumbaraların üzerine “MASKE-ELDİVEN DIŞINDA ÇÖP ATMAYINIZ” şeklinde uyarı yazısı yazılmalıdır.
- Kumbaranın içerisinde mutlaka siyah, kalın plastikten, dayanıklı ve sızdırmaz çöp poşeti geçirilmiş olmalıdır.
- Kumbara tesis temizlik görevlileri tarafından sürekli olarak kontrol edilmeli ve içerisinde $\frac{3}{4}$ oranında doluluk olduğunda ağzı sıkıca tesisin kapalı alanında ya da açık alanda oluşturulacak olan geçici atık deposuna taşınmalıdır.
- Geçici atık deposu kapalı bir alan ise mutlaka en az 10 değişim/saat esas alınarak cebri olarak veya oluşturulacak bir menfezle doğal olarak havalandırılmalıdır.
- Bu atıklar geçici atık deposunda en az 72 saat ağzı sıkıca kapalı şekilde bekletilmeli ve daha sonra belediyelerin çöp alma hizmetlerine evsel atık kapsamında teslim edilir. Eğer geçici atık deposunda 72 saat bekletilemiyorsa tıbbi atık statüsünde uzaklaştırılmalıdır.
- Sorumlu temizlik görevlileri kişisel koruyucu ekipman kullanmalıdır.
- Atık kumbarası da her boşaltımdan sonra dezenfekte edilmelidir.
- Atık yönetimi konusunda çöp alma işlemini gerçekleştiren kurum ve kuruluşlarla bu hususlarda iş birliği sağlanmalıdır.
- materyalin hijyenik olarak depolanması için ayrı bir oda olmalıdır.

5- İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ALINACAK ÖNLEMLER

5.1.Klima Santralleri:

Yeni yapılacak et kombinaları ve soğuk odalarında mutlaka 2 otomasyon senaryosu önerilmelidir.

Tesisin normal şartlarda çalışma modu olmalıdır.Aynı zamanda pandemi senaryosuna göre çalışma modu düşünülmüş olmalıdır.

Kesimhanede su tüketimi fazla olması nedeniyle buharlaşma ihtimalide göz önünde bulundurularak kanal yüzeylerin daha temiz kalması için paslanmaz çelik hava kanalı kullanılmalıdır.

Kesimhane tavanı genel olarak yüksek tasarlanır.Hava akımının düzgün sağlanabilmesi için deplasmanlı havalandırma önerilir.Ancak kesimhanedeki temizlik kuralları da özönünde bulundurulmalı, dönüş menfez ve kanallarının korunması için döşeme kotundan en az 100 cm yukarda olacak şekilde planlanmalıdır.

Bütün santrallerin %100 taze havalı olarak çalıştırılması gerekir.

Kesimhanelerin klima santrali bağımsız olmalıdır.

Karışım havası asla kabul edilemez.

Eğer klima santralinde ısı geri kazanım ünitesi var ise pandemi süresinde rotorlu ısı geri kazanımları çalıştırılmayacaktır. Plakalı ısı geri kazanım hücrelerinin sızdırmazlık kontrolü yapılacak. Sızdırmazlık sağlanıyorsa kullanılabilir. Bataryalı ısı geri kazanım hücrelerinin kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır.

VAV ile kontrol edilen mahallerde CO2 sensörü devre dışı bırakılarak debi azalması engellenmelidir.

Tesisde karışım havalı klima santralleri var ise bunların pandemi senaryosunda damperleri ve damper motorları bina otomasyon sistemine tanımlanmış olmalıdır. Karışım havası devreden çıkacak ve sistem %100 taze havalı olarak çalıştırılacaktır.Taze hava besleme ve egzoz atış kanallarının boyutları %100 taze hava ile çalışmaya uygun olarak tasarlanacaktır.Tesis mevcut ise projeler hazırlanarak gerekli düzeltmeler yapılacaktır.

5.2. İç Üniteler:

Tesisde yer alan Fan-coil, VRV-VRF, Isı Pompası, Split Klima iç üniteleri vb. gibi iç hava sirkülasyonu yapan cihazlar aşağıdaki tedbirler alınarak çalıştırılacaktır.



HEPA Filtre kullanılarak, hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek, bulaş riski minimum seviyede tutulacak şekilde bu cihazlar kullanılabilir. HEPA filtre kullanılması durumunda fan basıncı kontrol edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca gürültü seviyesi gürültü yönetmeliği şartlarını sağlamalıdır.

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.

İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.

Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.

Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.

UV-C lambaların kullanımı halinde;

Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.

Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

Mahal tipi hava temizleme cihazları ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmak ve virüsleri yok edecek şekilde hava hızları uygulanmak koşulu ile hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek bulaş riskini minimum seviyede tutacak şekilde kullanılabilir. Mekan havasının saatteki değişimi miktarları proje literatürlerindeki değerlere göre belirlenmelidir.

Bu şartları sağlamayan iç üniteler kesinlikle kullanılmamalıdır.

5.3. Sıhhi tesisat Alanları

Tuvalet aspiratörleri 7/24 kesintisiz çalıştırılmalıdır. Tuvaletlere mümkün olduğunca egzoz havasının % 80'i kadar taze hava verilerek mutlaka negatif basınç sağlanmalıdır. Tuvalet egzozlarında ortak baca kullanımlarında geri dönüş havasını almayacak geri dönüş klapeleri kullanılmalıdır. Egzoz atışları kesinlikle taze hava emişine karışmamalı, tercihen tuvalet şaftlarında dikey atışlı fanlar kullanılmalıdır. Tuvaletlerde el temasını önlemek için lavabo bataryaları, pisuar muslukları, sıvı sabunluklar el değmeden (fotoselli, dizden, ayakla kumandalı olarak) çalışacak şekilde olmalıdır. Kapılar el değmeden açılacak şekilde çalışmalıdır. Hava ile çalışan el kurutma sistemleri kapatılmalı ve kağıt havlular kullanılmalıdır. Klozetlerde tek kullanımlık klozet örtüleri kullanılmalıdır (mümkünse el değmeden otomatik değişen tipler). Tuvalet kabinlerine mutlaka dezenfektan ve tuvalet kağıdı konulmalı ve sık sık kontrol edilerek sürekli bulunması sağlanmalıdır.

Tuvaletlerde, sifonu çekmeden önce klozet kapakları kapatılmalıdır. Klozet kapağı kapatılmadan sifonun çalışmayacağı bir düzenek yapılması tavsiye edilir. Toplu kullanım alanlarına bu konuda kullanım talimatları asılmalıdır.

Alaturka tuvaletlerde hijyen anlamında özel tedbirler alınmalı veya klozetlerle değiştirilmeli, bunlar yapılamıyorsa kullanıma kapatılmalıdır. Temizlik takibi için görevli belirlenmeli, takip kartları düzenlenerek işlemler kayıt altına alınmalıdır.

Yer sifonlarına sürekli su ilave edilmeli, süzgeçlerin kuru kalması engellenmelidir. İşlemin düzenli yapılması takibi için görevli belirlenmeli, takip kartları düzenlenerek işlemler kayıt altına alınmalıdır.

Bir çok yapı türünde yer alan idari birimler, yemekhane, kafeterya, asansör, çamaşırhane gibi alanlardaki pandemi önlemlerinde farklılık olmadığı için bu çalışmada bu alanlarla ilgili önlemlere yer verilmemiştir.



Bu çalışmada et kombinalarındaki özel alanlarla ilgili pandemi sistemi önerileri sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Kırmızı Et ve Et Ürünleri Üretim Tesislerinin Çalışma ve Denetleme Usul ve Esaslarına Dair Yönetmelik
- [2] Hayvansal Gıdalar için özel hijyen Yönetmeliği
Tarih:27-12-2011 sayı 28155
- [3] TMMOB Makina Mühendisleri Odası ,İklimlendirme Teknik Kurulu-Mevcut Yapılar Komisyonu Çalışması.

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır Erman YÜCE

1991 yılı Oltu doğumludur. 2012 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamış ve yine aynı birimde 2019 yılında doktora eğitimini tamamlamıştır. 2020 yılından bu yana Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmaktadır. 2021-2022 yılları arasında Danimarka Teknik Üniversitesi, International Centre for Indoor Environment and Energy'de TÜBİTAK 2219 bursiyeri olarak doktora sonrası araştırma faaliyetlerinde bulunmuştur. Havalandırma, ısı konfor, iç hava kalitesi ve iç ortam enfeksiyon riski konularında sayısal araştırmalar yürütmektedir.



COVID-19 SALGINI DÖNEMİNDE MEVCUT BİNALARDA İKLİMLENDİRME ve HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN İŞLETME VE BAKIMI YÖNÜNDEN ALINMASI GEREKEN GENEL TEDBİRLER

General Measures To Be Taken In Terms Of The Operation And Maintenance Of Air Conditioning And Ventilation Systems In Existing Buildings During The Covid-19 Outbreak

**Mükremin İlhan
Levent Bağan
Bilal Çetinkaya
M.Serdar Ulu**

ÖZET

Covid 19'un bulaşma yollarından birinin, havada asılı kalan damlacıkların dolaylı olarak solunması, yani koronavirüs taşıyan aerosollerin, iç mekanda, doğası gereği hava hareketi ve akımlara sebep olan havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ile uzaklara taşınması ve bu virüs içeren havanın solunması olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerini tamamen devre dışı bırakmak, virüsün dolaylı bulaşını azaltmak için tek başına bir önlem değildir.

Kaldı ki, iklimlendirme sistemleri tamamen devre dışı bırakılmış mekanlar, insanlarda termal strese neden olarak, doğrudan sağlığı tehdit edebilir ve/veya bağışıklık sisteminin zayıflamasına sebep olmak sureti ile enfeksiyona karşı direnci azaltabilir.

Bu çalışmada mevcut binalarda bulunan iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin salgın ortamına uygun hale getirilmesi, bulaş riskini en aza indirecek şekilde işletilmesi ve salgın şartlarında bakımlarının nasıl yapılacağı konusu vurgulanmıştır.

Önerilen tedbirler hazırlanan bu Bildiri ve ekinde sunulan Talimatlarda açıklanmıştır.

ABSTRACT

It is thought that one of the ways of transmission of Covid 19 is the indirect inhalation of droplets suspended in the air, that is, the transport of coronavirus-carrying aerosols indoors with ventilation and air conditioning systems that cause air movement and currents, and inhalation of air containing this virus.

In general, completely disabling ventilation and air conditioning systems is not a stand-alone measure to reduce indirect transmission of the virus.

Moreover, spaces where air conditioning systems are completely disabled can cause thermal stress in humans, directly threaten health and / or reduce resistance to infection by weakening the immune system.

In this study, the issue of adapting the air conditioning and ventilation systems in existing buildings to the epidemic environment, operating them to minimize the risk of contamination and how to maintain them under epidemic conditions was emphasized.

Suggested actions are explained in this declaration and the Instructions presented in its appendix.

1. GİRİŞ

AVM'ler, ofisler, plazalar, oteller, okullar vb. mevcut binalar salgın şartları düşünülerek tasarlanmamış ve salgına uygun mekanik tesisat ile donatılmamıştır. Salgın döneminde dahi kullanımı zorunlu olan bina ve tesislerde, havalandırma, iklimlendirme ve mekanik tesisat, salgının yayılımını önleyecek şekilde kullanılmalıdır.

Bina ve tesislerde, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri olarak aktif kullanılan Klima Santralleri, Fancoil, çatı tipi Rooftop, VRV-VRF, Split Klima, Isı Pompası vb. cihazların ve Sıhhi Tesisat ekipmanının maksimum verimlilik ve performansta kullanılması için sürdürülen mevcut bakım faaliyetleri ise, alınacak teknik ve ISG önlemleri ile, salgın senaryolarına uygun şekilde gerçekleştirilmelidir.

Bina ve tesislerin, salgın döneminde kullanımına mutlaka aşağıda belirttiğimiz önlemler uygulanarak izin verilmelidir.

Bu kapsamda salgına yönelik yayınlanan Ashrae, Rehva, WHO, OSHA, Sağlık Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Makina Mühendisleri Odası vb. kurumların yayınları ve 6331 Sayılı İş sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Yönetmelikleri gereğince ulusal ve uluslararası standartlara uygun teknik bilgiler ve yönlendirmeler doğrultusunda gerek işletmede ve gerekse bu sistemlerin bakımına yönelik ek tedbirler aşağıda ve ek dokümanlarda açıklanmıştır.

Alınacak tedbirler, önlemler, uygulamalar ve kontrollerin amacına uygun yönetilebilmesi için, ilgili bildirimler ve standartlar ile yönetmeliklere uygun hareket edilmeli ve güncellemelerin sürekli takibi sağlanmalıdır.

Bu önlemlerin İşletme ve Bakım faaliyeti sırasında uygulanmasından İşveren, İşletmeci, Bina Yöneticisi ve Bakım Firması, uygulandığının takibinden ilgili İşletme ve Bakım Yetkilileri sorumludur.

Bina Yönetimi ve İşverenler salgına karşı Acil Durum Eylem Planını, Risk Değerlendirmesi ve İş Güvenliği Talimatlarını esas alarak yapmalı, çalışanların ISG eğitimleri güncellenmeli ve salgının işyerine etkisi konusunda sorumlu çalışanlar ve sorumlulukları belirlenmelidir.

Bu kapsamda Bina veya Tesis Yönetiminin, salgın süresince Acil Durum Eylem Planı kapsamında yapılacak faaliyetlerin yönetilebilmesi amacıyla Pandemi Kurulu oluşturulması tavsiye edilir.

Kurulda mutlaka **pandemide teknik işletme ve bakım senaryosunun** yürütülmesini takip etmek üzere bina veya tesisin büyüklüğüne ve durumuna bağlı olarak, makina ile elektrik mühendisleri ve/veya mekanik tesisat ile elektrik tesisat teknik görevlileri, İşyeri Hekimi ve İş Güvenliği Uzmanı (ISG) bulunmalıdır.

Bina veya tesiste bu görevliler fiilen çalışmıyorsa dışarıdan görevlendirme yaparak hizmet alımı yapılmalıdır.

Var ise, iklimlendirme, havalandırma ve mekanik sistemlerin bakımını dışarıdan yapan bakım firmalarının da, **Pandemi Kurulu içerisine dâhil edilmesi ve alınacak önlemlere katılmaları sağlanmalıdır.**

Pandemi Kurulunda bulunanlar, yapılan işleri günlük olarak raporlamalı ve kayıt altına almalıdır.

2. İKLİMLENDİRME ve HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN İŞLETİMİ

Mevcut binalarda, minimum taze hava oranları temel bir gereklilik olarak her zaman mevcut olmalıdır. Havalandırma (dolaşım) oranının artırılması ise oda havasındaki kirleticilerin seyreltilmesine yardımcı olabilir ve potansiyel olarak enfeksiyon olasılığını azaltabilir.

Modülasyonlu taze hava sistemlerine sahip sistemlerde veya taze hava oranını ayarlamanın mümkün olduğu yerlerde, taze hava oranlarının artırılması gerekir. Bu aynı zamanda sistemin egzost hava hızının artırılmasını gerektirecek ve dolaşım esnasında havadaki kirleticileri seyreltmeye yardımcı olacaktır.

Havalandırma sistemi, bina kullanım süresinden en az 2 saat önce nominal hıza, bina kullanım süresinden 2 saat sonra düşük hıza geçirilmelidir.

Dış hava hızının ve / veya havalandırma oranının artırılması enerji kullanımının artmasına ve bazı durumlarda sistemde istenen iç sıcaklık ve nem koşullarını sürdürmede zorluklara yol açabileceğine dikkat edilmelidir.

Korona virüsün yayılma olasılığını azaltmak için basit veya kapsamlı havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin işletimine ilişkin, bir dizi pratik önlem vardır.

1. İklim koşullarına göre dışa açılan pencere varsa; pencere ve kapı açık olarak doğal havalandırma yapılmalıdır.
2. Açılabilir pencere yoksa havalandırma yönergeleri uygulanmalı veya iç ortamı 5 çevrim havalandıracak sayıda pencere açılır hale getirilmelidir. Açılabilir alan 1 m/s hava hızına göre hesaplanmalıdır.
3. Havalandırma tesisatlarında mümkün olduğunca hava türbülansının az olacağı çözümlere gidilmelidir. Mümkün ise üstten üfleme, yer seviyesine yakın yerlerden emiş yapılarak hava türbülansı önlenmelidir.
4. İç ortam nem seviyesi % 40 ile % 60 aralığında tutulmalıdır.
5. Ayrıca Fan-filtre üniteleri ya da taşınabilir HEPA filtreli hava temizleme cihazları kullanılarak ortamdaki olası virüs yüklü hava seyreltilmelidir.
6. Konvektör fanları kapatılmalıdır.
7. Bina Girişlerinde bulunan tüm hava perdeleri kapalı konumda tutulmalıdır.
8. Birden fazla kişinin kullandığı ofis alanlarında ayaklı, masa üstü, tavan, duvar vantilatörleri kullanılmamalıdır.
9. Tam taze hava kullanımına geçilmesi nedeniyle taze hava alış, egzost atış ağızları ve bağlantı kanalları boyutları kontrol edilerek düzenlenmelidir. Taze hava alış ağızına pandemi durumunda tam, normal zamanlarda ihtiyaca göre açılmak üzere yeni kapasiteye uygun motorlu damperler konulmalıdır. Eğer taze hava alış, egzost atış ağızları ve bağlantı kanalları tadilatlarının yapılması serpantin kapasiteleri zorluyorsa, kullanma şartları kontrol edilerek debinin düşürülmesi ama mutlaka karışım kısmı iptal edilerek %100 taze hava ile çalıştırılması değerlendirilebilir. Tüm egzost atış panjuru ile taze hava emiş panjurları arasında en az 10 m. mesafe olmalı ve/veya temiz ve kirli hava karışma riski olmayacak şekilde düzenlenmelidir.
10. Taze hava emiş kanalı ve taze hava panjuru gerekiyorsa % 100 taze hava ile çalışabilecek şekilde revize edilmelidir. Taze hava alış ve egzost atışları insanların yürüme ve bulunma ortamlarında uzaklaştırılmalı ve mümkünse farklı cephelerden olmalıdır. Bu şartın sağlanamaması durumunda egzost atış ağızında HEPA filtre ve/veya UV-C uygulanmalıdır.
11. Mevcut cihazların kapasitesi kontrol edilmeli, taze hava miktarı ve egzost havası miktarını artırma koşulları irdelenmelidir. İç mekanlara daha fazla taze hava verme ve egzost debilerini artırma şartları zorlanmalıdır.
12. Otoparklara verilen iç mahal egzost çıkışları var ise, bu atış hatları dış ortama kadar taşınmalıdır.
13. Yoğuşma tavalarında biriken suyun iç hava kalitesini oldukça olumsuz etkileyeceği göz önünde tutulmalı ve boşaltılmasına ilişkin gerekli tedbirler alınmalıdır.
14. Ofislerde bulunan Fan-coil, VRV - VRF, Isı Pompası iç üniteleri vb. gibi iç hava sirkülasyonu yapan cihazlar kapatılmalı veya **Madde 15 "Mevcut tüm iklimlendirme ve havalandırma cihaz ve sistemleri"** için anlatılan tedbirler alınarak çalıştırılmalıdır.



15. Mevcut tüm iklimlendirme ve havalandırma cihaz ve sistemlerde,
- HEPA filtre kullanılarak, hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek, bulaş riski minimum seviyede tutulacak şekilde kullanılmalıdır. HEPA filtre kullanılması durumunda fan basıncı kontrol edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca gürültü seviyesi gürültü yönetmeliği şartlarını sağlamalıdır.
 - Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;
 - ✓ Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
 - ✓ İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
 - ✓ Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
 - ✓ Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.
 - Mahal tipi hava temizleme cihazları ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmak ve virüsleri yok edecek şekilde filitasyon ve bu filitasyona uygun hava hızları uygulanmak koşulu ile hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek bulaş riskini minimum seviyede tutacak şekilde kullanılabilir. Hava temizleme cihazları, oda havasını saatte 5-6 çevrim filtre edecek ve homojen dağılım olacak sayıda seçilmelidir.
16. Server odası v.b. içeride çalışan bulunmayan mekanlardaki iç üniteler, çalıştırılmaya devam edilebilir.
17. Merkezi otomasyon sistemi takip ekranından CO₂, nem, sıcaklık, hava debisi ve hızı kontrol edilmeli, sesli ve ışıklı bir alarm sistemi yok ise tesis edilmeli ve alarmlar sürekli olarak otomasyon merkezinden izlenmeli ve kayıtları saklanmalıdır.

Salgında Mahal Şartları:

Sıcaklık ve Bağıl Nem Oranı;

Yaz Rejiminde: 26-30°C KT, % 40–% 60 RH önerilir.

(Hissedilen sıcaklık maksimum 30 °C'yi geçmemelidir.)

Kış Rejiminde: 18-20°C KT, % 40–% 60 RH önerilir.

Yukarıdaki maddelerde tanımlanmamış ortak alanlardaki kişi kapasitesi: % 50 azaltılmalıdır.

Ortak Alanlardaki Aydınlatma kapasitesi: % 50 azaltılmalıdır.

Pandemi sürecinde;

- Soğutma yapılırken; batarya kapasitesini artırmak amacıyla soğutma grubunun 7-12 °C yerine, 6-11 °C veya 5-10 °C vb. farklı çalışma rejimlerinde, üretici firmadan da bu konunun uygunluk teyidi alınarak kullanılması sağlanabilir.
- Isıtma yapılırken; 80/60°C veya 70-50°C vb. düşük sıcaklık rejiminde çalışan sistemler 90/70°C olarak çalıştırılarak ısıtma kapasitesinde kapasite artırımı sağlanabilir.

Sağlıklı İç Ortam ve Koronavirüs Etkisinin Azaltılmasında Nemlendirmenin Etkisi

Sağlıklı seviyedeki nemlendirme, COVID-19 (SARS Cov-2) ve H1N1 (İnfluenza A) gibi solunum sistemimizi enfekte eden virüslerin yayılmasını azaltmaya yardımcı olabilir. Hastaneler, klinikler, bakım evleri, okullar ve ofisler başta olmak üzere, tüm binalarda optimum nem seviyelerinin uygulanması büyük fayda sağlayacaktır.

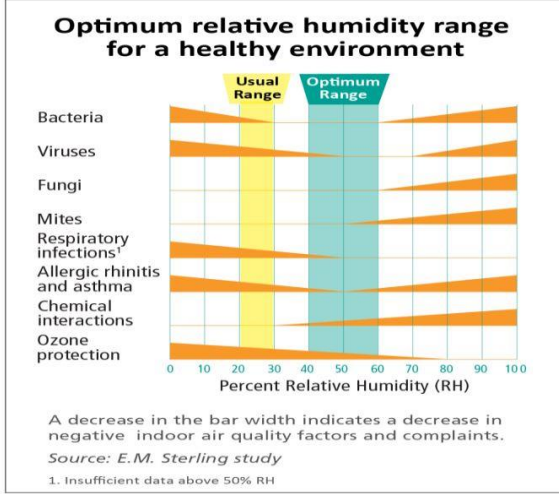
Dünya Sağlık Örgütü COVID-19'un bulaşmasını azaltmak için farmasötik olmayan çözümler çağrısında bulunmuştur. Nem kontrolü, çalışan personeli, hastaları, sakinleri, öğretmenleri ve öğrencileri virüsün etkisinden korumanın güvenli, verimli ve kolay bir yoldur.

Ancak mahal havasında bulunan çok fazla nemin de küf ve mantar oluşumu gibi sorunlara neden olabileceği iyi bilinmektedir. Dolayısı ile, bağıl nemin % 40 ın altına düşmesi veya % 60 ın üzerine çıkması sağlık açısından sorunlar yaratabilir.

Hassas kontrollü nemlendirmenin tüm iç mekân ortamlarına sağlayabileceği faydaları anlamak çok önemlidir. 1986'da yapılan önemli bir araştırmaya göre, insan sağlığı risklerini en aza indirmek için en

uygun koşulların, normal oda sıcaklıklarında % 40-60 bağıl nem (RH) arasında sağlandığını göstermiştir.

(Bu çalışma bugün hala HVAC uzmanları tarafından referans kabul edilmekte ve Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği (ASHRAE) tarafından sağlıklı binalar için belirlenen standartların temelini oluşturmaktadır.)



Bağıl nemin % 40-60 aralığında tutulması, çevrede bulunan virüslerin, bakterilerin ve alerjenlerin etkisini azaltırken cilt kuruluğunu ve göz tahrişini de önler.

Sterling Diyagramı, bağıl nemin etkilerini göstermektedir. Binalarda RH'nin % 40 - 60 aralığında kontrol edilmesi, virüslerin ve bakterilerin havadaki ve yüzeyler üzerindeki etkinliğini azaltmakla kalmaz, vücudumuzun hastalıklara karşı bariyerlerini de korur. Doğal antiviral savunmamız olan solunum sistemimizdeki hava yollarının kendini temizleme mekanizmasına yardımcı olur ve özellikle akciğerlerimizde uygun doku onarımı sağlar.

3. SALGIN SÜRESİNCE İŞLETMELERDE ALINACAK GENEL TEDBİRLER

A- İŞ YERLERİ GENEL TEDBİRLERİ

1. Ofis kapalı otoparklarında araç girişine, şartnamesine uygun olarak araç dezenfeksiyon havuzu tesis edilmelidir.
2. Kapalı otoparkta egzost aspiratörleri sürekli çalıştırılmalıdır.
3. Bina girişlerinde ve her katta uygun noktalarda ve uygun sayıda el dezenfektanları bulundurulmalıdır.
4. Fiziki mesafeye uygun olarak oturma alanları, mobilyalar ve çalışma alanları yeniden düzenlenmelidir.
5. Ofis alanlarında aynı anda çalışan sayısı en fazla 10m² de 1 kişi ile sınırlandırılmalıdır. Kişiyi özel odalarda bu kural geçerli değildir.
6. Ofis içerisinde döşemede halı kaplama var ise kolay temizlenebilir ve silinebilir parke/seramik vb malzemelerle değiştirilmesi önerilir.
7. Çalışanların mesai başlangıç saatleri, yemek saatleri farklı zamanlara planlanarak girişlerde ve asansörlerde yoğunluğun önüne geçilmelidir.
8. Pandemi döneminde ofislere ziyaretçi kabul edilmemeli, kesinlikle katlara ve ofis alanlarına ziyaretçi alınmamalıdır. Zorunlu hallerde Misafir kabul odasında kabul edilmelidir. Misafir kabul odası bina girişinde ve iyi havalandırılmış (sürekli havalandırılan) odalar olmalıdır. Misafirler için kullanılan geçiş kartları, yeni ziyaretçiye verilmeden önce dezenfekte edilmeli ya da tek kullanımlık kartlara geçilmelidir.

B- ZİYARETÇİLERİN OFİSLERE GELMESİ DURUMUNDA KULLANIMLAR

1. Özel ofis alanları bireysel kullanım olduğu için fan coil-VRV-VRF/Isı pompası vb. iç ünite cihazları çalıştırılabilir.
2. Odaya kullanıcısı dışında bir kişinin gelmesi durumunda iç ünite cihazı durdurulmalı, gelen kişinin ayrılmasından sonra, mahal havası en az 5 çevrim değişecek şekilde havalandırma yapıldıktan sonra yeniden çalıştırılmalıdır.
3. Mahal tipi hava temizleme cihazı kullanılması durumunda oda havasını saatte 5 çevrim filtreleyen tipte seçilerek sürekli çalıştırılacaktır. Cihaz ziyaretçi, gelmeden 1 saat önce çalıştırılmaya başlanmalı ve ziyaretçi gittikten 1 saat sonraya kadar çalıştırılmaya devam ettirilmelidir.
4. Pencereler açılıyorsa, ziyaretçi gelmeden 1 saat önce cam açılarak doğal havalandırma sağlanmalı, ziyaretçi gittikten sonra da en az 1 saat boyunca açık tutulmalıdır.



C- MUTFAKLAR

1. Egzost aspiratörlerinin çalışması esnasında, egzost debisinin % 80'i oranında taze hava takviyesi yapılmalıdır. Egzost aspiratörü ile taze hava vantilatörü eş zamanlı çalıştırılacak şekilde önlem alınmalıdır.
2. Mutfak klima santrali ayrı olarak planlanmış olmalıdır. %100 taze havalı olarak çalışacak bu klima santrali sürekli çalıştırılmalıdır.
3. Katlardaki küçük mutfak alanlarında egzost aspiratörü varsa sürekli çalıştırılmalı, %80 oranında taze hava beslemesi yapılmalıdır. Bu alanda bulunan iç ünitelerde, ofisler için tanımlanan yönergeler uygulanmalıdır.

D- KAFETERYA, YEMEKHANELER

1. Pandemi dönemde açık su servisi yapılmamalı, sebiller kullanım dışı bırakılmalıdır..
2. Yemekhanelerde hava kalitesini artırmak için aşağıdaki sistemlerden uygun olanı seçilmelidir. Cihazların gürültü seviyesi 48 dBA ve altı olmalıdır.
 - a. Yemekhanelerde filtreli ısı geri kazanımlı havalandırma cihazları kullanılması önerilir.
 - b. Hız anahtarlı, gerekiyorsa CO2 sensörlü çift fan sistemi ile % 100 taze hava ve % 100 bağımsız egzoz fanı ile cebri havalandırma yapılabilir. Taze hava girişine kış için G4 Filtre, kanallı tip fan ve elektrikli ısıtıcı tavsiye edilir.
 - c. Yukarıdakiler yapılamıyor ve dışa açılan pencereler var ise yapılabilecek en yüksek oranda doğal havalandırma yapılmalıdır.

E- WC- ABDESTHANELER

1. WC aspiratörleri 7/24 kesintisiz çalıştırılmalıdır. WC'lerde negatif basınç sağlanmalıdır. WC'lere mümkün olduğunca egzost havasının % 80'i kadar taze hava verilmelidir. WC egzost atışları kesinlikle taze hava emişine karışmamalıdır. Tercihen WC şaftlarında dikey atışlı fanlar kullanılmalıdır.
2. WC'lerde Lavabo bataryaları, pisuar muslukları, sıvı sabunluklar el değmeden (fotoselli, dizden, ayakla kumandalı olarak) çalışmalıdır. Kapılar el değmeden açılacak şekilde çalışır olmalıdır. Hava ile çalışan el kurutma sistemleri kapatılmalı ve kağıt havlular kullanılmalıdır. Klozetlerde tek kullanımlık klozet örtüleri kullanılmalıdır (Mümkünse el değmeden otomatik değişen tipler). WC kabinlerine mutlaka dezenfektan ve tuvalet kağıdı konulmalı ve sık sık kontrol edilmelidir.
3. WC'lerde, sifonu çekmeden önce klozet kapakları kapatılmalıdır. Klozet kapağı kapatılmadan sifonun çalışmayacağı bir düzenek yapılması tavsiye edilir.
4. Alaturka WC'lerde hijyen anlamında özel tedbir alınmalı veya kullanıma kapatılmalıdır.
5. Toplu kullanıma açık tuvaletlerde yer süzgeçleri ve lavabo sifonları kuru halde bırakılmamalıdır.
6. Bu amaçla bilgilendirme notları tuvaletlere asılmalıdır.
7. Tuvaletlerde jet fanlı el kurutma makinaları kullanılmamalıdır.
8. Abdest alma mahallerinde en büyük risk taşıyan alanlardır. Özel hijyen tedbirleri alınmalı aksi takdirde pandemi sürecinde kapalı tutulmalıdır.

4. İKLİMLENDİRME ve HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN BAKIMI

4.1 Bakıma Hazırlık

İşverenler ve Bina Yöneticileri Bakım konusunda bilgilendirilir.

Bakım ekibi, hizmet verilecek alana yönelik,

- İşletme ve Bakım Faaliyeti Risk Değerlendirmesi ve
- Salgın süresince Acil Durum Eylem Planı talimatlarına göre

işletme ekibi ile birlikte emniyet tedbirlerini alır.

Bina veya işletmeye yönelik İş Güvenliği ve Eğitimleri var ise, bakıma giriş öncesi alınmış olmalıdır.

Bakım faaliyetine başlamadan önce bakım faaliyeti için kullanılacak olan iş güvenliği ekipmanı, takım çantası (el aleti, avadanlık vb) içeriği ve ölçüm cihazlarının eksiksiz olarak var olup olmadığı kontrol edilir.

Kontrollerde kullanılacak tüm ölçüm cihazlarının kalibrasyonu ve bakımı yapılmış olmalıdır.

İlgili personelin cihaz kullanım konusunda bilgi ve tecrübesi olmalı ve ölçüm tekniği (hız, debi, nem, sıcaklık, ΔP , CO_2 , devir vb ISO7730 ve DIN1946) ve uygulamalarında dikkat edilmesi gerekenler hakkında bilgi sahibi olmalıdır.

4.2 İş Güvenliği Ekipmanları

Tesisat işletme ve bakım ekipleri enfeksiyona karşı koruyucu önlemler alınmadan klima cihazlarına ve diğer cihazlara yaklaştırılmamalı ve korunmalıdır.

Mevcut ISG ekipmanları yanı sıra salgın şartlarına uygun olarak aşağıda belirtilmiş KKD ler ile hizmet verilmesi ve hizmet sonrası atık yönetmeliğine uygun bertaraf edilmesi zorunludur.

Bakım hizmeti verecek personelin ISG eğitimleri ve KKD donanımı eksiksiz ve tam olmalıdır.

- Maske (N95 kalite filtrelili yüz maskeleri, minimum FFP3 kalite)
- Eldiven (vinil kauçuk veya nitril olabilir)
- Gözlük (yan siperlikli)
- Yüz siperi
- Kullan at tulum, kapüşonlu (Tulumlar tipik olarak 360 derece koruma sağlar, arka ve alt bacaklar ve bazen baş ve ayaklar da dahil olmak üzere tüm vücudu kaplayacak şekilde tasarlanmıştır)
- OSHA 3990-03 2020 / <https://www.osha.gov/>



Figure 9: Personal protection equipment for filter replacement

Not: Tüm KKD ler salgın şartlarında kullanım talimatlarına uygun kullanılmalı ve bertaraf edilmelidir. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/index.html>

4.3 Eğitim

Teknik işletme ve bakım personeline, genel İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği ve Yangın Eğitimleri dışında, corona virüs ile ilgili risk analizi yapılarak ortaya çıkan risklerin ağırlığına uygun yeterlilikte;

- Covid-19 ve genel korunma eğitimi
- İdarenin yayınladığı kılavuz ve genelgelerin eğitimi
- İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde yapılacak günlük işletme kuralları eğitimi



- İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde yapılacak bakımlara ilişkin kurallar eğitimi Verilmelidir.

4.4 İşletme ve Bakım Faaliyetinde Kullanılacak Kimyasal Dezenfektanlar

İş yeri temizliği günlük olarak yapılmalı ve işyeri havalandırılmalıdır. Sık kullanılan alanlar daha sık temizlenmeli ve havalandırılmalıdır.

İş yerlerinin temizliğinde özellikle sık dokunulan yüzeylerin (kapı kolları, masa yüzeyleri, merdiven trabzanları, v.b.) temizliğine dikkat edilmelidir.

Bu amaçla, su ve deterjanla temizlik sonrası dezenfeksiyon için 1/100 sulandırılmış (5 litre suya yarım küçük çay bardağı) sodyum hipoklorit içeren çamaşır suyu (Sodyum hipoklorit Cas No: 7681-52-9) kullanılabilir.

Tuvalet temizliği için 1/10 sulandırılmış çamaşır suyu (Sodyum hipoklorit Cas No: 7681-52-9) kullanılmalıdır.

Klor bileşiklerinin uygun olmadığı, ortak kullanılan ofis makinelerinin yüzeyleri %70'lik alkolle silinerek dezenfeksiyon sağlanmalıdır.

Çalışma tezgâhları düzenli olarak temizlenmeli ve %70'lik alkol ile dezenfekte edilmelidir.

Dezenfektan seçiminde üretici firma önerileri dikkate alınmalı, dezenfektan ile deterjan vb kimyasal maddeler birbiri ile karıştırılmamalıdır.

Otel odaları veya hastane odalarında, her hasta veya misafir çıktığında, oda dezenfekte edilmelidir.

Salgın süresince Bakım faaliyetleri kapsamında kullanılacak dezenfektanların Sağlık Bakanlığı tarafından onaylı ve ruhsatlı ürünler olmasına dikkat edilmelidir.

4.5 Bakım Faaliyeti (Salgın Senaryosuna Uygun)

Bakım faaliyetlerine başlamadan önce Makine ve ekipmanların, üretici tarafından teslim edilen kullanıcı kılavuzlarında tarif edilen şekilde devre dışı bırakılması ve çalışma güvenliğinin sağlanması gerekmektedir.

Hava kontrol ünitesi kapatıldıktan sonra, toz veya diğer parçacıkların havaya karışmasını önlemek için filtreler dikkatlice montaj yerlerinden çıkarılmalıdır. Daha sonra kirli filtreler torbalara konulmalı, bu torbaların ağız kısımları hava almayacak şekilde bağlanmalı ve uygun bir atık imha işlemi ile filtreler bertaraf edilmelidir. Klima santrali içerisinde kalan partikülleri gidermek için yüzeyler temizlenmelidir. Yıkanebilir hava filtrelerinin bakımında yine benzer onaylanmış prosedürler ve KKD kullanımı ile yapılmalıdır.

Bakım personelinin enfeksiyon riskini bertaraf etmek amacıyla bakım faaliyetlerine başlamadan önce iklimlendirme sisteminin bakım yapılacak alan ve ekipmanları ve özellikle filtre hücreleri dezenfekte edilmelidir.

Hastanelerde, HEPA filtre değişimlerinde negatif basınçlı hasta odalarında ve yoğun risk olasılıklarında güvenli değişim kabinleri kullanılmalıdır.

Bu amaçla kullanılan filtreleme sistemlerinde filtrelerin kritik tesislerde tam güvenli seviyede kullanılabilmesi ve değiştirilebilmesi için tasarlanmış modüler filtre hücrelerine Bag-in/Bag-out sistemi, Canister veya Güvenli Filtre Değişim kabini denir.



Resim 1. Canister genel görüntü



Resim 2. Canister filtre değişimi

Ancak AVM, Ofis ve Oteller gibi yerlerde ise KKD kullanılarak ve Hepa Filtrelere ön dezenfeksiyon yapılarak değişim yapılmalıdır.

Yapılan bakım sırasında kullanılan test ve ölçüm cihazları kullanma talimatlarına göre kullanılır. Ayrıca yapılacak olan testler ilgili mevzuat, standart ve yönetmelikte belirtilen koşullarda gerçekleştirilmelidir.

Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin bakım ve dezenfeksiyonu daha sık yapılmalıdır. Gerektiğinde, her gün sonunda filtrelerin tekniğine uygun olarak dezenfekte edilmesi tavsiye edilir (Özellikle otellerde her müşteri değişiminde yada personel giriş çıkışı söz konusu olduğunda).

Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanılan tüm filtreler ve değişim ihtiyacı olan parçalar, orijinal yedek parça olmalı ve kullanıldığı denetlenmelidir.

Havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ile ilgili ekipmanların üretici tavsiyesi ve fabrika ayarlarına uygun olarak belirlenmiş teknik özelliklere göre kullanılması sağlanmalıdır. Salgın süreci için önerilen yeni ayarların (sıcaklık ayarı, iç sirkülasyonun kapatılması, temiz havanın artırılması vs) Elektronik Kontrol Ünitesine işlenmesi teknik olarak mümkünse Yetkili Servis tarafından yapılmalı ve yapılan değişiklik kayıt altına alınmalıdır.

Bakım işlemi sonucunda ilgili mevzuat, yönetmelik, mevcut kayıtlar ve standartlara uygun olmayan durumlar Bakım Formuna kaydedilmeli ve düzeltici faaliyetler ile süratle giderilmelidir.

4.6 Bakım Sonrasında Yapılacaklar

KKD ekipmanları biyolojik risklere özel kapalı bir atık kutusuna atılmalıdır. Var ise, tekrar kullanılabilir ibaresi olan maskeler saklama ve temizlik şartlarını karşılayacak şekilde muhafaza edilmeli ve kullanım süresi dolanlar, biyolojik risklere özel kapalı bir atık kutusuna atılmalıdır.

Bakım işleri tamamlandığında bakım için kullanılan tüm alet ve ekipman özel olarak dezenfekte edilmelidir.

Bakım çalışmalarından sonra personel ellerini su ve sabunla yıkamalı veya alkol bazlı el dezenfektanı kullanmalı ve ilk fırsatta, komple kişisel temizlik yapmalıdır.

4.7 Atık Yönetimi

Maske, eldiven, siperlik gibi kişisel koruyucu ekipman ve bakım faaliyeti sonucu oluşan atıklarının yönetimi için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 07.04.2020 tarih ve 2020/12 sayılı genelgesi gereklilikleri doğrultusunda ve aşağıdaki bilgiler doğrultusunda düzenleme yapılmalıdır.



1. Filtreler:
 - a. Filtre üzerindeki virüs ömrü, sıcaklık ve bağıl nemin bir fonksiyonudur. Dolayısı ile, beklenenden daha uzun bir süre aktif kalabilir. Bu nedenle, değişim yapılan filtreler atılmadan önce uygun bir dezenfektanın hafifçe püskürtülmesi ile dezenfekte edilmelidir.
 - b. Değişim yapılan filtreler biyolojik risklere özel kapalı bir atık kutusunda toplanmalıdır.
 - c. Atık kutusunda toplanan filtrelere en kısa sürede yetkili kurumların ve yerel otoritelerin talimatlarına uygun bertaraf etme prosedürü uygulanmalıdır.
 - d. Yıkama yapılarak yeniden kullanılacak filtreler, tamamen kurumadan tekrar yerine takılmamalıdır.
 - e. Yıkama sonucu oluşan atık sular, atık yönetmeliğine uygun şekilde ortamdan uzaklaştırılmalıdır.
2. Kullanılmış maske ve eldivenler gri renkli atık kumbaralarına veya mümkünse değiştirilebilir çöp poşeti olan çöp kovalarına atılmalıdır. Unutulmamalıdır ki kullanım süresi boyunca maskelerin üzerine virüs bulaşma riski vardır. Atık Kumbarası yoksa, kullanılmış maske ve eldivenler çöp poşeti olmayan bir çöp kovasına atılacak ise bu ürünler mutlaka bir poşet içerisine konulmalı ve ağzı bağlanarak atılmalıdır. Bu sayede çöp kovalarını boşaltacak insanların sizin atıklarınızdan bulaşma ihtimali olan virüs ile teması engellenmiş olur.
3. Atık kumbarası içinde bulunan bu ürünler dokunulmadığı sürece bir sağlık tehdidi oluşturmaz. Ancak tedbir olarak çöpler çocukların ulaşamayacağı yerlerde tutulmalı, çöpleri atarken çöp ile direkt temas engellenmeli, çöp kovası daha sık deterjanlı su ile temizlenmeli, tüm bu işlemlerden sonra kişisel temizlik yapılmalıdır.
4. Kumbara işletme–temizlik görevlileri tarafından sürekli olarak kontrol edilmeli ve içerisinde $\frac{3}{4}$ oranında doluluk olduğunda ağzı sıkıca kapatılmalı ve tesisin kapalı alanında ya da açık alanda oluşturulacak olan geçici atık deposuna taşınmalıdır.
5. Geçici atık deposu kapalı bir alan ise mutlaka en az 10 değişim/saat esas alınarak cebri olarak veya oluşturulacak alt ve üst menfezlerle doğal olarak havalandırılmalıdır.
6. Bu atıklar geçici atık deposunda en az 72 saat ağzı sıkıca kapalı şekilde bekletilmeli ve daha sonra belediyelerin çöp alma hizmetlerine evsel atık kapsamında teslim edilir. Eğer geçici atık deposunda 72 saat bekletilemiyorsa tıbbi atık statüsünde uzaklaştırılmalıdır.
7. Sorumlu temizlik görevlileri kişisel koruyucu ekipman kullanmalıdır.
8. Atık kumbarası da her boşaltımdan sonra dezenfekte edilmelidir.
9. Atık yönetimi konusunda çöp alma işlemini gerçekleştiren kurum ve kuruluşlarla bu hususlarda iş birliği sağlanmalıdır.

5. RAPORLAMA

Bakım sonucunda, bakım ekibinin hazırladığı Bakım formu 3 suret olarak

- (1) İşverene, İşletmeciye, Bina yöneticisine,
- (2) Arşivlenmek üzere birim sorumlularına
- (3) Bakımı yapan ekibe teslim edilmek üzere hazırlanır.

Bu raporlarda minimum aşağıdaki bilgilerin bulunması gerekir:

- Mevcut kayıtlar, belgeler ve bakım sonuçları
- Bakım tarihi ve Numarası,
- Bakım yapılan cihazların; marka, tipi, seri numarası, kapasitesi, yapım yılı gibi temel bilgileri,
- Ekipman veya sistem üzerinde, yapıldı ise salgın senaryosuna yönelik teknik iyileştirmeler ve uygunluğu,
- Bakımın hangi mevzuat ve standartlara veya ilave şartlara göre yapıldığı,
- Yapılan kontroller, ölçümler hakkında bilgiler,
- Yapılan bakım işleminde kullanılan cihazların kayıt bilgileri,
- Saptanan uygunsuzluklar ve var ise yapılan düzeltici faaliyetler,
- Sonuç. (Bakım sonucunda cihaz veya sistemin son durumu)

6. EKLER

İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde salgın süresince alınması gereken önlemler aşağıda belirtilen başlıklarda bu bildirinin ekleri olarak verilmiştir.

- 1-Klima Santralleri
- 2-Fancoil
- 3-Çatı Tipi Paket Klima (Rooftop)
- 4-VRF
- 5-Split
- 6-Isı Pompaları
- 7-Sihhi Tesisat Sistemi

Faydalanılan kaynaklar;

- <https://www.mmo.org.tr/merkez/duyuru/coronavirus-ve-salgin-hastaliklarin-hvac-sistemleriyle-iliskisi>
<https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/dokumanyonetimi/113/20052020112631-1.pdf>
<https://muhendistan.com/isitma-havalandirma-ve-iklimlendirme-hvac-ve-korona-virusu/>
<https://eurovent.eu/?q=articles/covid-19-regular-and-correct-maintenance-ventilation-systems-gen-110500>
<https://www.daikinapplied.eu/news-center/good-practices-on-how-to-run-building-services-during-covid-19-emergency/>
<https://eurovent.eu/?q=content/eurovent-air-filters-guidebook-first-edition>
<https://eurovent.eu/?q=content/eurovent-air-handling-units-guidebook-first-edition>
<https://www.ashrae.org/technical-resources/resources>
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/index.html>
<https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/practical-guidance-for-epidemic-operation-of-ervs.pdf>
<https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA3990.pdf>
Resmi Gazete 20 Haziran 2012 tarihli 6331 nolu ISG kanunu
<http://mmoizmir.org/wp-content/uploads/2019/11/suluvrf.pdf>
<https://cygm.csb.gov.tr/genelgeler-i-442>
<https://www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic>
https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID19_guidance_document_Bibliography.pdf
https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_Literature_COVID19_guidance_document_ver2_20200402.pdf
<https://ttmd.org.tr/covid-19/ttmd-covid-19-gorus-metni>
https://ttmd.org.tr/TTMD_HVAC_COVID-19_Salgin_i_Onlemleri_/tesisatta_corona_virus_salginini_icin_alinabilecek_onlemler

ÖZGEÇMİŞ

Bilal ÇETİNKAYA

1976 yılında Adıyaman da doğdu. İlk orta lise öğrenimini burada tamamladı. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Doğalgaz ve Isıtma sistemleri bölümünden dereceyle mezun oldu. 2003 yılında aynı üniversiteden Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2016 yılında Bahçeşehir Üniv. İşletme Yüksek Lisansını tamamladı ve MBA derecesini aldı. 1999 yılında GMC gaz müh. şirketinde iş hayatına başladı. 2004 - 2010 yıllarında Akkor Müh, 2010 yılında Akım Müh, 2010 – 2012 yılında Hilton Bursa & Hampton otel Bursa şantiyesinde 2 yıl mekanik tesisat kontrol şefi, 2012 – 2016 arasında Crowne Plaza otelde teknik müdür olarak çalıştı. 2016 yılı sonu itibarıyla Sheraton Bursa & Aloft Bursa Otellerinde Complex Teknik Müdür olarak çalışmaya devam etmektedir. Bugüne kadar, Otel, AVM, yüksek katlı binalar, rezidanslar, iş merkezi, villa, konfor yapıları, fabrikalar vb. bir çok yapıda mekanik tesisat proje tasarımı, teklif hazırlama, saha mühendisi, şantiye şefi, mekanik tesisat kontrol şefi, proje müdürü ve teknik müdür olarak bir çok farklı görevde çalıştı.

Levent BAĞAN

1957 Eskişehir doğumludur. 1978 yılında İTÜ Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1978-1990 yılları arasında çeşitli büyüklükteki yük gemilerinde Uzakyol Baş Mühendisliği, 1990-1993 yılları arasında otel Teknik Müdürlüğü, 1993-1996 yılları arasında Elf Petrol firmasında Madeni Yağlar Uygulama ve Kalite Mühendisliği, 1996-1998 yılları arasında Bureau Veritas'ta Kalite ve ISM (International Safety Management) Code uzmanı, 1998-1999 yılları arasında YKS Tesis Yönetimi firmasında Kurucu Genel Müdür olarak görev yapmıştır. 1999 yılında kurucu ortak olarak TSP Tesis Yönetim firmasında göreve başlamış ve halen Yönetim Kurulu Üyesi olarak görevine devam etmektedir. Tesis Yönetimi ve İşletimi konusunda çalışmaktadır.

M.Serdar ULU

1957 İstanbul doğumludur. 1979 yılında Ankara Devlet Mimarlık Mühendislik Akademisinden Makina Mühendisi olarak mezun olmuştur. T.C.Karayolları Genel Müdürlüğü Tesisler Şube Müdürlüğü Ankara Proje-Yapım ve Kontrol-Hakediş Mühendisi olarak 1979-1986 yılları arasında, Metiş İnşaat Ltd.Şti.'nde Libya/Ankara Tesisat Şefi olarak 1987-1989 yılları arasında, Ego Genel Müdürlüğünde 1989 yılından sonra, yine 2013-2018 yılları arasında İş Güvenliği Uzmanı olarak görev yapmıştır. 2010-2016 yılları arasında MMO Ankara Şube Klima ve Havalandırma Sistemlerinin Periyodik Kontrolünü, Test ve Ölçümlerini yapmıştır. Halen MMO Ankara Şube Yönetim kurulundadır.

Mükremin İLHAN

1967 Ankara doğumludur.1991 yılında Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2000 Yılında İstanbul Üniversitesi İşletme Bölümünde MBA eğitimini, 2021 yılında İstanbul Üsküdar Üniversitesinde İş sağlığı ve Güvenliği üzerine Yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Yurt içi ve yurt dışında ki çeşitli sektör firmalarının, resmi kurumların, üniversitelerin ve sektör STK'larının düzenlediği yüz yüze veya sanal ortamda düzenlenen sertifikalı teknik eğitimlerine ve panellerine katılmış ve katılmaya da devam etmektedir. 1997 ile 2001 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Avcılar Meslek Yüksek Okulu İklimlendirme bölümünde sözleşmeli öğretim görevlisi olarak eğitim vermiş ülkemizin gençlerinin yetişmesinde katkı da bulunmuştur 1990 -1991 yılları arasında Kayseri Isısan A.Ş. Kazan ve LPG Üretim Fabrikasında Fabrika Mühendisi, 1991 – 1992 yılları arasında Ankara MEG Doğalgaz A.Ş. de kazan ve sanayi dönüşümlerinde Doğalgaz Yetkili Mühendisi, 1993 - 1996 yılları arasında İstanbul Teba, BOSAŞ A.Ş.'de Bölge Servis Şefi, 1996 – 2000 yılları arasında İstanbul Raks A.Ş.'de Servis Müdürü, 2001- 2004 yılları arasında İstanbul Anadolu Grubu Antor A.Ş.'de Servis Şefi, 2004 – 2006 yılları arasında İstanbul, Orhan Holding, Elta A.Ş.'de İstanbul, İzmir ,Antalya Satış Bölgeler Müdürü, 2006 - 2011 yılları arasında İstanbul Sanko Holding , Airfel A.Ş.'de Servis Müdürü, 2011 – 2014 yılları arasında İstanbul Daikin Türkiye A.Ş.'de Servis Müdürü, 2014 ten bu tarafa İstanbul Form Endüstri Ürünleri A.Ş.'de Merkezi havalandırma ve iklimlendirme ürünlerinde Satış Sonrası Hizmetlerden sorumlu Genel Müdür Yardımcısı olarak görevine devam etmektedir. Satış Sonrasında, yurt içi ve yurt dışı yetkili servis yönetimi, teknik eğitimler, yedek parça ve bakım yönetim faaliyetleri konusunda çalışmaktadır.

EK -1-

PANDEMİ DÖNEMİNDE KLİMA SANTRALLERİNİN KULLANIMI VE BAKIMLARI

GİRİŞ:

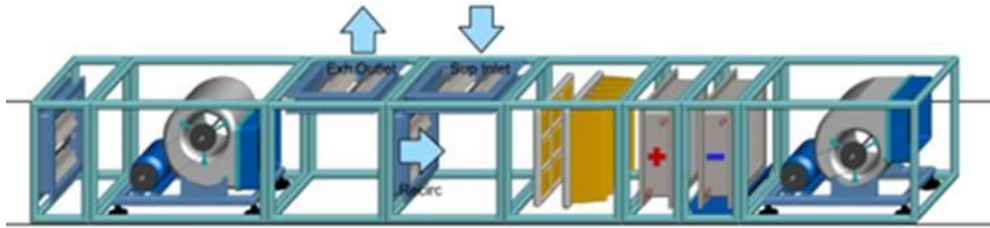
Bu yazıda AVM'lerde, Otellerde, Süpermarketlerde, Konferans Salonları, Sinemalar, Fabrikalar ve insanların aktif olarak kullandığı geniş hacimli mahallere hitap eden iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde Pandemi döneminde Covid-19 kapsamında yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

MERKEZİ İKLİMLENDİRME VE HAVALANDIRMA SİSTEMİ:

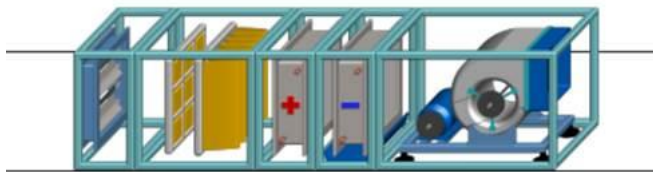
Alışveriş merkezlerinde havalandırma sistemi olarak iki farklı yapıda olabilir.

- Ortak Hacimlerin Havalandırılması: Karışım havalı sistem

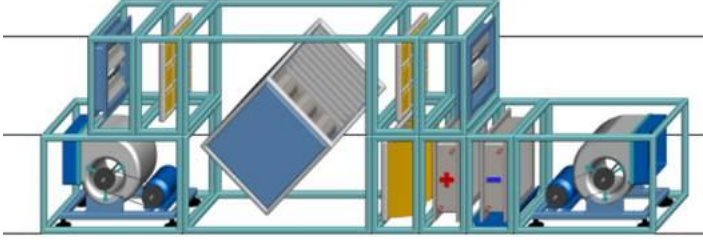


- Mağazaların Havalandırılması: %100 taze havalı sistem ve Fancoil veya benzeri iç havayı çevirerek tekrar ortama veren iç üniteler

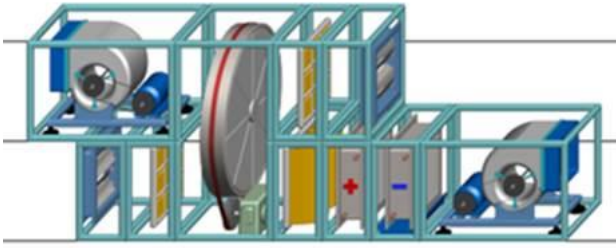
- %100 Taze Havalı Sistem



- %100 Taze Havalı Isı Geri Kazanımlı Sistem
 - %100 Taze Havalı Plakalı Isı Geri Kazanımlı Sistem



- %100 Taze Havalı Rotorlu Isı Geri Kazanımlı Sistem



ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ortak hacimlerin havalandırılmasında Klima Santrali veya Çatı Tipi Klimalar (Rooftop) ürünleri kullanılmaktadır.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için iç ortamların mümkün olan en üst seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan havalandırma sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedarigi için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Hava Debisinin Arttırılması	X	X	X
2	Damperlerin daha fazla taze hava alacak şekilde çalıştırılması	X	X	X
3	Isı Geri Kazanım ünitelerinin devre dışı bırakılması veya bypass edilmesi	X	X	X
4	Bağıl nemin %40-60 arasında tutulması	X		X
5	Havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması (24 saat)	X		

6	Filtre verimliğinin artırılması			X
7	UV lamba kullanılması	X	X	X
8	Taze ve egzost Hava pancuru mesafelerinin kontrolü en az 10 m olmalı			X
9	Taze hava alış ve egzoz atışları insanların yürüme ve bulunma ortamlarından uzaklaştırılması			X

1. HAVA DEBİSİNİN ARTTIRILMASI:

Hava debisi artırılarak ortamdaki hava değişim sayısını arttırmak, artan debi ile birlikte taze hava oranının da yükseltilmesi ile ortamın pozitif basınçta kalması esas alınabilir. Hava debisinin artırılması fan hızının artırılmasıyla sağlanabilir. Bunun için fan ve motor çalışma limitleri, filtre ve soğutucu batarya hava hızı limitleri gözönünde bulundurularak;

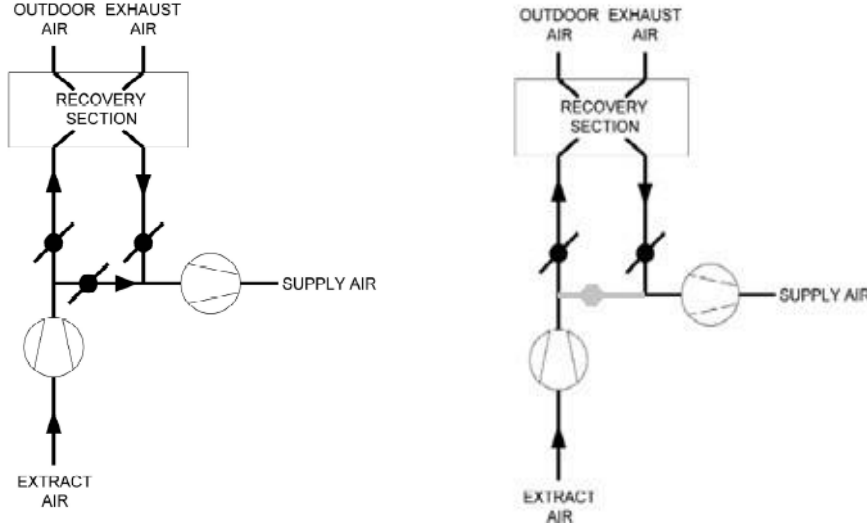
- Frekans inverterli fanlarda, frekans değerinin artırılması
- Kayış kasnaklı sistemlerde, kasnak çapının büyütülmesi vasıtasıyla sağlanabilir.
- Burada dikkat edilecek nokta yapılacak her bir bağımsız bölümde hava dengesinde değişiklik olmaması için, müdahalenin üfleme havası ve egzoz havası fanlarının ikisine birden yapılması gerekliliğidir. Eğer bir ortam pozitif basınçlı olarak çalışıyorsa yapılacak değişikliklerle bu durumun korunması sağlanmalıdır.
- Aspiratör ve Vantilatör için santral fiziksel yeri ve fan bir üst motor kapasitesini almaya uygunluğu kontrol edilip revizyon yapılabilir.

Klima sistemiyle filtre edilerek ortama verilen taze havaya ilave olarak havanın süpürülmesi de önemlidir. Mümkün olduğu miktarda karşılıklı esinti yapacak şekilde açıklıklardan (pencere, kapı vb) faydalanmak yöntemiyle havanın süpürülmesiyle havada asılı bulunan partiküllerin dışarıya atılması sağlanacaktır.

2. DAMPERLERİN %100 TAZE HAVA İLE ÇALIŞTIRILMASI

Varolan pozitif basınç şartlarını bozmayacak şekilde, sadece dış hava miktarını arttırmak için, resirkülasyon damperinin kapatılması ve eş zamanlı dış hava damperi ve egzoz havası damperlerinin açılması tavsiye edilir.

%100 taze hava ile çalışabilecek uygunlukta olarak tasarlanmış, örneğin serbest soğutma (Şekli1), sistemlerin karışım havası damperlerini kapatarak sadece dış hava ve egzoz havası damperlerini eş zamanlı çalıştırılması ile, sadece dış havanın ortama verilmesi temin edilmiş olur.



Şekil 1: %100 Taze hava ile çalışabilecek karışım havalı sistem (eski ve yeni halleri)

Serbest soğutma yeteneği olmayan sistemlerde de karışım havası damperlerinin kapatılması ve eş zamanlı olarak taze hava ve egzoz havası damperlerini çalıştırılması tavsiye edilir. Bu durumda fan debisi düşecektir ancak sadece dış hava taşıyacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta fan balansı yaratacak bir çalışma noktası seçilmemesidir. Böyle bir durumda fan hızı frekans inverteri üzerinden veya kayış kasnak ayarıyla düşürülmelidir.

Talep kontrollü ortamlarda CO₂ sensörünü normal çalışma değerlerinin altında daha düşük değerlere (Örneğin 400 ppm) ayarlamak gerekir. CO₂ sensörü ile damper kontrolü yapılan sistemlerde eğer %100 taze hava ile sistem çalıştırılıyor ise damper ayarı devre dışı bırakılmalıdır.

3. ISI GERİ KAZANIM ÜNİTELERİNİN DEVRE DIŞI BIRAKILMASI VEYA BYPASS EDİLMESİ

Genel temayül, rotorlu ısı değiştiricilerin, herhangi bir kontamine hava geçişini engellemek amacıyla kesinlikle çalıştırılmamalıdır. Olası bir yeniden çalıştırılma durumunda da tamburun mutlaka dezenfekte edildikten sonra çalıştırılması tavsiye edilir.

Ancak ısı geri kazanım sistemlerinin çalıştırılmaması sonucunda oluşacak enerji maliyetleri göz önüne alındığında, bununla birlikte iklimlendirmeden kaynaklı bina trafolarına gelecek ilave elektrik tüketim yükleri göz önüne alındığında, ayrıca istenilen asgari konfor şartlarının da sağlanmadığı durumlarda UV-c v.b. alternatif destek çözümler ile ısı geri kazanım sistemleri kullanılabilir.

Aynı sebepten ötürü herhangi bir tip entalpi ısı değiştiricide bypass edilmelidir.

Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde ise taze hava miktarını arttırabilmek amacıyla eşanjörün bypass hattı kullanılması değerlendirilmelidir. Bypass hattı üzerinde ısı değiştiricinin hemen hemen yarattığı kadar basınç kaybı yaratabilecek bir damper varsa bu damper, motorun izin verilen maksimum motor güç girişini aşmayacak şekilde açılmalıdır ve sızdırmazlık kontrolü yapılarak çalıştırılmalıdır.

Taze hava ve egzoz havasını %100 ayıran çift bataryalı ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaya devam edilebilir.

4. BAĞIL NEMİN %40-%60 ARASINDA TUTULMASI

Düşük nem, mukoza membranlarını kurutarak virüslere karşı yerine getirdiği bariyer görevinin zayıflatılmasına veya ortadan kalkmasına sebep olur.

Bu sebeple, kış çalışma döneminde, nem oranları %40-60 olarak sağlanması temin edilmelidir. Eğer nemlendirme ihtiyacı var ve merkezi sistem tarafında bir nemlendirici yoksa lokal olarak nemlendirici temini ile sorun çözülmelidir.

Yaz döneminde düşük nem sorunuyla karşılaşma olasılığı daha zordur. Genel olarak sulu sistemlerde soğutucu akışkanlı soğutma ünitelerinde uygun set sıcaklığını ayarlamak mümkündür. Direkt genleşmeli sistemlerde ise evaporasyon sıcaklığını uygun şekilde ayarlanmalıdır.

5. HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SÜREKLİ ÇALIŞTIRILMASI (24 SAAT)

AVM'lerin kapalı olduğu saatlerde havalandırma sisteminin çalıştırılmasının virüs üremesini engellediği yönünde bir kanıt olmamasına rağmen önleyici tedbir olarak tavsiye edilmektedir. Devamlı çalışma içeriye sürekli taze hava sağlanması sebebiyle havanın seyreltilmesine imkan tanımaktadır.

Havalandırma sistemini bina kullanım süresinden en az 2 saat önce nominal hızda başlatmak için sistem zamanlayıcılarının saat zamanlarını değiştirilmesi ve bina kullanım süresinden 2 saat sonra daha düşük hızda sürekli olarak devam etmesi tavsiye edilmektedir.

Talep kontrollü havalandırma sistemlerinde, nominal hızda çalışmasını sağlamak için CO₂ set noktasını 400 ppm değerine düşürün. Havalandırmayı, insanlar yokken düşük (ama kapalı değil) havalandırma miktarları ile 7/24 açık tutun.

Genel tavsiye, mümkün olduğunca taze hava sağlamaktır. Kilit nokta, kişi başına sağlanan temiz hava miktarıdır. Akıllı çalışmadan faydalanma nedeniyle, çalışan sayısı azalır, geri kalan çalışanları daha küçük alanlara yoğunlaştırmayın, ancak havalandırmanın temizleme etkisini artırmak için aralarındaki sosyal mesafeyi (kişiler arasında en az 2-3 m fiziksel mesafe) koruyun veya genişletin.

Tuvaletlerin egzoz havalandırma sistemleri her zaman 7/24 açık tutulmalı ve özellikle dışkı kaynaklı yayılımdan kaçınmak için düşük basınç oluşturulduğundan emin olunmalıdır.

6. FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Daha verimli filtre sınıflarının kullanılması iç hava kalitesini arttıracaktır. Fakat filtre sınıfları arttıkça basınç kayıpları artırılabacağı için sistemin bu basınç kayıplarının karşılayıp karşılayamayacağı mutlaka uygulamadan önce kontrol edilmelidir.

Mevcut cihaz ve sistemlerde HEPA veya Ulpa gibi Filtre kullanılarak, hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek, bulaş riski minimum seviyede tutulacak şekilde bu cihazlar kullanılabilir. HEPA veya Ulpa filtre kullanılması durumunda fan basıncı kontrol edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca gürültü seviyesi gürültü yönetmeliği şartlarını sağlamalıdır.

7. UV-C LAMBA UYGULAMASI

- a) Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;
- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
 - İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
 - Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
 - Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.
UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;
 - Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
 - Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

BAKIM VE ÇALIşTIRMA TALİMATLARI

1. Genel

- Klima santrali panellerinin yerinde, hasarsız olduğunu kontrol edin.

2. Gövde Panelleri

2.1. Dahili Montaj (İç ortam)

a) Panel ve tüm kuru kısımların içten muayenesi

- Kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.
- Boya son katlarındaki hasarları gerekirse pası temizledikten sonra, pas önleyici astar üzerine bir kat kaliteli boya vurmak suretiyle rötuş yapınız.

b) Kaplamanın dıştan muayenesi

- Boyada hasar görüldüğü takdirde, gerekirse pasını söküp bilahare kaliteli aşındırma önleyici astar ve son kat boya ile rötuş yapınız.

2.2. Harici Montaj (Dış ortam)

- Dış ortam klima santrallerinde sızdırmazlığı kontrol edip gerekirse UV dayanımlı ve boyanabilir malzeme kullanarak sızdırmazlığı sağlayınız.
- Hasarları dahili montaj için ilgili bölümde belirtilen şekilde gideriniz.

3. Kapı ve Erişim Kapakları

- Tüm kapı ve erişim kapakları üzerindeki kilitleri ve menteşeleri kontrol ediniz. Hasarlı olanları onarınız veya yenisi ile değiştiriniz. Sızdırmazlık için gerekli tedbirleri alınız.

4. Esnek Bağlantılar

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

5. Topraklama

- Ünitenin topraklanmasının ve kurulumunun düzgün şekilde yapıldığından emin olunuz.

6. Damperler

- Aşırı miktardaki kir birikimlerini temizleyiniz.
- Damper güvenlik ekipmanlarının görevini yerine getirip getirmediğini kontrol ediniz. Ekipmanlar görevini yerine getirmiyorsa yenisi ile değiştiriniz.
- Alüminyum kısımları sulu banyo sabunu çözeltisi ile temizleyiniz.
- Civata ve bağlamaları kontrol ediniz, gerekiyorsa sıkınız.
- Damper kanatlarının gövdeye, esnek bağlantıya ve kanal bağlantılarına temas etmeksizin serbestçe çalışmasını gözlemleyiniz.
- Bina otomasyon üzerinden damperlerin açma kapama fonksiyonlarını tam olarak yerine getirdiğini doğrulayınız.

7. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.
- Dış hava girişlerinin egzoz havası atışlarına yakın olup olmadığını, diğer cihazlardan atılan çeşitli gazların bu girişlerden emilip emilmeyeceğini hakim rüzgar yönlerini düşünerek kontrol edin. Gerekiyorsa tedbir alın.
- Klima santrali egzoz atış panjuru ile taze hava emiş panjuru arasında en az 10 m. mesafe olmalı ve/veya karışma riski olmayacak şekilde düzenlenmelidir. Taze hava emiş kanalı ve taze hava panjuru gerekiyorsa %100 taze hava ile çalışabilecek şekilde revize edilmelidir. Taze hava alış ve egzoz atışları insanların yürüme ve bulunma ortamlarında uzaklaştırılmalı ve mümkünse farklı cephelerden olmalıdır.

8. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrelerin temizliğini sağlayın.
- Fark basınç sensörlerini kontrol edin çok eskimiş, içi su almış paslanmış ise yenisi ile değiştirin.

- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtrlere mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

9. Isıtıcılar

9.1. Su, glikol ve buhar bataryaları

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlilik kontrolü yapın. Gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kaçak kontrolü yapınız.
- Donmaya karşı koruma termostatının düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol edip, termostat harekete geçtiğinde doğru kontrol sekansını izleyip izlemediğine bakınız.
- Yılda en az bir kez glikollü ısıtma ve soğutma bataryalarında sudaki fiili glikol yüzdeleri tespit ve kontrol edin.

9.2. Elektrikli ısıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

10. Soğutucular

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse hava akımının aksi yönde basınçlı hava verilerek uygun kimyasal sıvılar kullanılmak suretiyle yıkanarak ya da elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Giriş ve çıkış bağlantılarını ve vanalarını dışarıdan kontrol edin, fonksiyonlarını yerine getirdiğinden emin olun.
- Soğutucunun ardına bağlı eliminatör kaseti sökün. Kaçak kontrolü yapınız.
- Eliminatör kanatlarını kontrol ediniz.
- Sifonu temizleyip düzgün çalıştığından emin olunuz.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.

11. Isı geri kazanım tamburu

- Rotorlu ısı geri kazanım ünitesinin çalıştırılmadığını teyid ediniz.

12. Plakalı ısı geri kazanımı

- Plakalı ısı eşanjörünü üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenmelere karşı elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Damper kullanılıyorsa, "Damperler" kısmında yer alan talimatlara uygun olarak tarif edilenleri yapınız.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp, gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız

13. Nemlendirici

- Hazır buhar kullanan nemlendirme sistemlerinde kontrol valfinin buhar tedarik hattındaki filtreyi üretici tavsiyesine uygun periyotlarda temizleyiniz.
- Eğer bir filtre takılıysa, aynı zamanda yoğuşma drenaj vanasını ve yoğuşma tavasının iç kesimlerini de temizleyiniz.
- Kontrol valfini, yoğuşma tahliye kanalını ve dağıtan kutusunu Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kontrol ediniz.
- Negatif basınç sistemlerine bağlı buhar tahliye borularının bulunduğu düzenlerde (hava tarafına takılır), aşırı su birikmesi olabilir zira yoğuşma buhar tahliye borusundan drenaj edilmez. Bazı marka ürünlerde bu amaca özel olarak çekvalfli bir sifon temin edilmektedir. Bu valfin çalışmasını Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kontrol ediniz.
- Buharlı nemlendirici üzerinde yapılan periyodik kontroller sırasında, nemlendiricinin ardındaki gövde bölümleri nemlendirme seviyesinin tespiti ve kontrolüne imkan verdiğini teyid edin.
- Hava debisi yönünde bakıldığında, buharlı nemlendirme bölümü ucunda herhangi bir buhar birikmesi olmadığını teyid edin.
- Elektrikli nemlendirici kapasitesi buhar tankında kireç oluşmasından, elektrotlarının aşınmasından ve kirlenmesinden etkilenir. Bu durum LED ile gösterilir. Gerekirse buhar tankını veya elektrotları temizleyiniz veya değiştiriniz.
- Buharlı nemlendiricinin çalıştırılması ve bakımı hakkında daha detaylı bilgi için üretici tarafından temin edilen dokümantasyonuna bakınız.

14. Sulu Nemlendirici

- Sulu nemlendiricinin bakım detayları için üretici tarafından verilen dokümantasyonuna bakınız.

15. Fan

15.1. Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Plug Fan'lı ürünlerde fanın fan çarkı ile çerçeve arasındaki bollağın tüm çevre boyunca aynı olduğunu kontrol edin.
- Kayış cinsi, kayış gerginliği, adedi ile kayışların bağlandığı kasnakların ölçüleri ve cinsi gibi bilgileri kontrol ediniz.
- Motor kablo bağlantılarının yapıldığı terminal kutusunun izolasyonunu kontrol ediniz. Kutunun içinde nem olmalıdır.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa balans yaptırınız.
- Fana ait yatakları ses, titreşim ve ısı yönünden inceleyiniz.
- Fanlara ait esnek bağlantıları kaçak, yırtık vb. için kontrol ediniz, elektrikli süpürge ile temizliğini yapınız.
- Fanın güvenlik ekipmanlarını çalışma kontrollerini yapınız, görevini tam olarak yerine getirmeyen ekipmanı yenisi ile değiştiriniz.

15.2. Yataklar

- Ufak tip fanların yatakları kapalı tip olup, yağlama gerektirmez. Yağlama isteyen cinsten daha büyük fanların kullanılması halinde, bunların üretici tavsiyesine uygun periyotlarda yağlanmasını sağlayın.

15.3. Güç iletimi

- Üniteyi devreye aldıktan veya kayışları değiştirdikten sonra, kayış gerginlikleri bir hafta içerisinde ve bilahare iki haftada bir kontrol edilmeli, gerekirse tekrar gerin.
- Bunun ardından kayış gerginlikleri ve kayışlarda genel durum kontrolleri üç ayda bir tekrarlayın.

Yeni kayış takılmasından sonra;

- Kasnakların düzgün imzalandıklarından emin olunuz. Gerekirse hizalama yapınız.
- Tüm kayışları kasnaklar üzerine gevşek vaziyette getirip, kasnaklar üzerinden gergin kayışları çekmeyiniz.
- Kayışları gerip, gerginliklerini kontrol ediniz.
- Hizalamayı tekrar kontrol ediniz.

15.4. Motor

- Motoru kirlilik, hasar, korozyon, gövde bağlantıları, rahat çalışma, sıcaklık seviyesi ve dönüş yönü kontrolünü sağlayın.
- Motor yataklarını ses, sıcaklık ve ses yönünden gözden geçirin.

16. Susturucu

- Susturucuları olası hasar ve gevşek elyaf elemanlara karşı üretici tavsiyesine uygun periyotlarda paslanma, yıpranma, kirliliğe karşı kontrol ediniz, gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyiniz.

14. Pandemi Seneryosunda Kullanım/ Otomasyon

- Klima Santrali otomasyona bağlı ise bağlantıları ve haberleşmeyi kontrol et,
- Klima Santrali pandemi döneminde aktif kullanılıp kullanılmadığını kontrol et
- Fan hızı minimum seviyede olacak şekilde ayarla, otomasyon üzerinden kontrol et

17. UV Lamba

- UV lamba kullanımını için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin
- Lamba ekipman ve güç bağlantılarını kontrol edin

18. Fark basınç su ve hava tarafında kontrol edilmeli

EK-2-

PANDEMİ DÖNEMİNDE FANCOIL KULLANIMI VE BAKIM YÖNTEMLERİ

Bu yazıda AVM'lerde, Otellerde, Süpermarketlerde, Konferans Salonları, Sinemalar, Fabrikalar ve insanların aktif olarak kullandığı mahallere hitap eden Fancoil ürünleri için Pandemi döneminde Covid-19 kapsamında kullanım şekli, yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

FANCOİL

1- FAN COIL CİHAZLARI

Fan coil cihazları klima sistemlerinde iç havalı olarak tasarlanan ve kullanılan ısıtma ve soğutma cihazlarıdır. Benzeri iç havanın dolaşımı yolu ile çalışan ürünlerde de olduğu gibi bu ürünlerde de cihazın kullanımı esnasında mahalde mevcut olabilecek zararlı organizmaların çevrimi riski mevcuttur.

Fan coil cihazlarını ve kullandıkları sistemleri göz önüne alarak farklı şekillerde değerlendirebiliriz.

1.1 Fancoil Kullanım Tipleri

- Asma tavan içerisinde gizli olarak tesis edilmiş, kısa da olsa kanal ile mahalle bağlantısı yapılmış ürünler.
- Tavan da mahal içerisinde kalacak şekilde montajı yapılan kendinden kabinli Ürünler.
- Tavan da Bir kısmı mahal içerisinde kalan bir kısmı da asma tavan arasında kalan, 4 veya 2 yöne üfleme (kaset tipi) ürünler.
- Yer seviyesinde mahal içerisinde kalacak şekilde montajı yapılan kendinden kabinli Ürünler.
- Yer seviyesinde gizli olarak tesis edilmiş, kısa da olsa kanal ile mahalle bağlantısı yapılmış ürünler.
- İnsan seviyesinin üzerinde duvara asılı olarak, mahal içerisinde kalacak şekilde montajı yapılan kendinden kabinli Ürünler. (Hi-wall)

1.2 Fancoil Taze hava bağlantısı:

- Taze havanın fan coil emişine serbest şekilde bırakıldığı primer hava + fancoil sistemleri
- Taze havanın, fan coil cihazından bağımsız olarak mahalle verildiği primer hava + fancoil sistemleri
- Taze hava kullanılmayan fancoil sistemleri.

Not: Geçmiş yıllardan kalan taze havanın fan coil ünitesinin kendisi tarafından alındığı sistemler de mevcut olabilir ancak cihazın yapısı gereği uzun yıllardır kullanılmamaktadır.

2- ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ortak hacimlerin havalandırılmasında primer hava + fancoil sistemi kullanılabilir.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için % 100 dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan havalandırma sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedarigi için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Hava Debisinin Arttırılması	X	X	X
2	Daha fazla taze hava alacak şekilde çalıştırılması	X	X	X
3	Bağıl nemin %40- 60 arasında turulması	X		X
4	Havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması (24 saat)	X		
5	Filtre verimliğinin arttırılması			X
6	UV lamba uygulaması	X	X	X
7	Döşeme tip Fancoil cihazların kullanımı	X	X	X
8	Kaset tip 4 yöne / 2 yöne üfleli fancoil cihazların kullanımı	X	X	X
9	Otel ve Hasta Odalarında müşteri/hasta değişiminde Fancoil cihazların dezenfekte edilmesi	X	X	X

2.1.HAVA DEBİSİNİN ARTIRILMASI:

Hava debisinin artırılması fan hızının artırılmasıyla sağlanabilir. Bunun için fan ve motor çalışma limitleri, filtre ve soğutucu batarya hava hızı limitleri göz önünde bulundurulur;

- Motor tipine bağlı olarak motor devir hızları sargı bağlantıları üzerinden değiştirilerek sağlanabilir.

Fancoil sistemiyle filtre edilerek ortama verilen taze havaya ilave olarak havanın süpürülmesi de önemlidir. Mümkün olduğu miktarda karşılıklı esinti yapacak şekilde açıklıklardan (pencere, kapı vb) faydalanmak yöntemiyle havanın süpürülmesiyle havada asılı bulunan partiküllerin dışarıya atılması sağlanacaktır.

2.2.TAZE HAVA

Primer Hava + Fancoil sistemlerinde taze hava oranı kontrol edilmeli , primer havanın doğru sağlandığından emin olunmalıdır.

Taze hava sistemleri ile birlikte kullanılan fancoil sistemlerinde mümkün olduğunca fancoilleri çalıştırılmaksızın ısıtma ve soğutma amaçları için taze hava sistemlerinin kullanımı uygun olacaktır. Bu uygulama için taze hava sistemlerine ait gerekli bakım ve tedbirlerin alındığından emin olunmalıdır.

Eğer taze hava iç ortama fancoil cihazından bağımsız direk veriliyor ise kanal tadilatı/ilavesi yapılarak taze havanın fancoil cihazı üzerinden geçirilerek ve fancoil cihazları düşük devirde çalıştırılarak taze havanın mahale fancoil cihazlarının serpantinlerinden faydalanılarak soğutup/ısıtılıp kullanılması uygundur. Bu durumda oluşacak ısıtma/soğutma kapasite kaybı ve konforsuzluk oluşacak olmasına rağmen bu şekilde yapılan uygulamada taşınabilir partiküllerin miktarının seviyesinin azaltılması ve mahal içerisinde oluşan hava hareketlerinin düşük seviyede kalması sağlanabilir.

Taze hava uygulaması olmayan sistemlerde mahallerin sık sık havalandırılması gerekir. Bu durumda fancoillerin tedbir alınmadan çalıştırılmaması gerekir.

2.3.BAĞIL NEMİN %40-%60 ARASINDA TUTULMASI

Düşük nem, mukoza membranlarını kurutarak virüslere karşı yerine getirdiği bariyer görevinin zayıflatılmasına veya ortadan kalkmasına sebep olur.

Oda havasının **22-30 °C** ve bağıl nemin de **%40-60** Aralığında kalması virüs yayılımının düşük seviyede kalması için önemlidir. Ayrıca bu şartların dışında kalan değerler insan vücut direncinin zayıflamasına neden olacaktır.

Taze hava uygulaması olmayan sistemlerde mahallerin sık sık havalandırılması gerekir ve önemlidir.

2.4.HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SÜREKLİ ÇALIŞTIRILMASI (24 SAAT)

İşletmenin kapalı olduğu saatlerde havalandırma sisteminin çalıştırılmasının virüs üremesini engellediği yönünde bir kanıt olmamasına rağmen önleyici tedbir olarak tavsiye edilmektedir. Devamlı çalışma içeriye sürekli taze hava sağlanması sebebiyle havanın seyreltilmesine imkan tanımaktadır.

Havalandırma sistemini bina kullanım süresinden en az 2 saat önce nominal hızda başlatmak için sistem zamanlayıcılarının saat zamanlarını değiştirilmesi ve bina kullanım süresinden 2 saat sonra daha düşük hıza sürekli olarak devam etmesi tavsiye edilmektedir.

Eğer mümkünse uygun zamanlarda ve belirli aralıklarla fancoil serpantinlerinden 60 °C ve üzerinde su dolaştırılarak virüsün etkisizleştirilmesi sağlanabilir. Uygulaması teknik olarak güç bir öneri olduğu göz önüne alınmalıdır.

2.5.FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Fancoil cihazlarında filtreler ağırlıklı olarak küçük boyutlardaki partiküller tutma yönünde tesis edilmiş filtreler değildir. Amacı fana zarar verecek boyutta veya sürekli kullanımda bataryaların tıkanmasına sebebiyet verecek boyutta kaba toz partiküllerin tutulması yönünde filtreler kullanılmaktadır.

Bu filtreler kesinlikle virüs boyutundaki partiküllerin yakalanması amacına hizmet edemez. Bu amaç ile kullanılacak Hepa kalite sınıfındaki filtreler ise Fan coil fanlarının yenmesi mümkün olmayan boyutlarda hava tarafı dirençler oluşturduğundan bu cihazlarda kullanımı çok mümkün değildir.

Ancak gizli tavan tipi fancoil cihazlarının emişine seri bağlı olarak bağlanacak basınçlandırma fanı yardımıyla Hepa kalite sınıfında filtreleme yapmak mümkündür.

Hava akışı üzerinde Kimyasal filtreleme sistemleri (dezenfektasyon) kullanımının insan sağlığına olacak muhtemel kötü etkilerinden kaynaklı olarak uygun değildir. Bu tarz dezenfektasyonların ancak hava akışı olmadan ve insanların olmadığı dönemlerde yapılması ve yeterli sürelerde beklendikten sonra kullanılması gerekmektedir.

2.6.UV-C lamba uygulaması

- a) Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;
 - Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
 - İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
 - Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
 - Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.

UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;

- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

2.7.Döşeme tip Fancoil cihazların kullanımı

Bireysel kullanım için çalıştırılabilir, ancak ortak mahallerde kullanılmamalıdır. Çok ciddi farklar yaratmamak ile birlikte yer seviyesinde yerleşik olan fan coiller pozisyon itibarı ile daha riskli durumdadır. Bunun nedeni hava emişlerinin yer seviyesinde olması ve insan hareketleri ile oluşan tozular da fan coil tarafından bu partikülleri fan coile ulaşması ve dolayısı ile mahalle dağılımı daha yoğun bir şekilde yaşanabilir. Bununla birlikte bu tiplerin üstünde bulunan hava yönlendirme menfezlerinin/ızgaralarının dikey pozisyona getirilmesi önerilmektedir.

2.8.Kaset tip 4 yöne / 2 yöne üfleli fancoil cihazlarının kullanımı

Bireysel kullanım için çalıştırılabilir, ancak ortak mahallerde kullanılmamalıdır. Bu tür fancoil cihazları kanal bağlantısı yapılmasına, dolayısıyla taze hava bağlantısı, yüksek verimli filtre uygulaması, UV lamba uygulaması gibi tedbirlerin uygulamasına genelde uygun değildir. Bu tür fancoil cihazlarının bireysel kullanımı odalarda kullanılmasında bir sakınca yoktur.

2.9. Otel ve Hasta Odalarında müşteri/hasta değişiminden önce Fancoil cihazlarının dezenfekte edilmesi

Otel ve Hasta Odalarında müşteri/hasta değişiminden önce Fancoil cihazları filtre, fan, serpantin ve yoğuşma tavelarının sprey veya püskürtme yöntemi ile dezenfekte edildikten sonra, fancoil düşük fan modunda çalıştırılmalıdır. Dezenfeksiyon işleminden sonra yeni müşteri/hasta yerleşmeden önce, oda 2 saat boyunca pencere açılarak havalandırılmalıdır.

3.Bakım

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

Fancoil cihazlarında özellikle gizli tip modellerde bakım kapakları önemli bir gerekliliktir. Tavanda veya duvarda fancoil ürününe rahatça ulaşarak gerekli bakımların yapılabileceği müdahale kapaklarının bulunması gereklidir. Ulaşım ne kadar kolay ise bakımlar ve denetim o kadar kolay ve sağlıklı yapılabilecektir.

3.1. Genel

- Fancoil panellerinin yerinde, hasarsız olduğunu kontrol edin.

3.2. Gövde Panelleri

a) Panel ve tüm kuru kısımların içten muayenesi

- Kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.
- Boya son katlarındaki hasarları gerekirse pası temizledikten sonra, pas önleyici astar üzerine bir kat kaliteli boya vurmak suretiyle rötuş yapınız.

b) Kaplamanın dıştan muayenesi

- Boyada hasar görüldüğü takdirde, gerekirse pasını söküp bilahare kaliteli aşındırma önleyici astar ve son kat boya ile rötuş yapınız.

3.3. Kapak ve Erişim Kapakları

- Tüm kapak ve erişim kapakları üzerindeki kilitleri ve menteşeleri kontrol ediniz. Hasarlı olanları onarınız veya yenisi ile değiştiriniz. Sızdırmazlık için gerekli tedbirleri alınız.

3.4. Esnek Bağlantılar

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

3.5. Topraklama

- Ünitenin topraklanmasının ve kurulumunun düzgün şekilde yapıldığından emin olunuz.

3.6. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.

3.7. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru ittirilmiş olmasını temin ediniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrelerin temizliğini sağlayın.

- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtrlere mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

3.8. Isıtıcılar

3.8.1. Elektrikli ısıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

3.9. Soğutma ve ısıtma bataryaları

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın
- Giriş ve çıkış bağlantılarını ve vanalarını dışarıdan kontrol edin, fonksiyonlarını yerine getirdiğinden emin olun.
- Sifonu temizleyip düzgün çalıştığından emin olunuz.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp, gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız

3.10. Fan

3.10.1. Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Motor kablo bağlantılarının yapıldığı terminal kutusunun izolasyonunu kontrol ediniz. Kutunun içinde nem olmamalıdır.
- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa balans yaptırınız.
- Fana ait yatakları ses, titreşim ve ısı yönünden inceleyiniz.
- Fanlara ait esnek bağlantıları kaçak, yırtık vb. için kontrol ediniz, elektrikli süpürge ile temizliğini yapınız.

- Fanın güvenlik ekipmanlarını çalışma kontrollerini yapınız, görevini tam olarak yerine getirmeyen ekipmanı yenisi ile değiştiriniz.
- Fan davlumbazlarının hasar, korozyon ve kirlenme kontrolünü yapıp gerekirse temizleyiniz.

3.11. Güç iletimi

- Üniteyi devreye aldıktan veya kayışları değiştirdikten sonra, kayış gerginlikleri bir hafta içerisinde ve bilahare iki haftada bir kontrol edilmeli, gerekirse tekrar gerilmeli.
- Bunun ardından kayış gerginlikleri ve kayışlarda genel durum kontrolleri üç ayda bir tekrarlayın.

3.12. Motor

- Motoru kirlilik, hasar, korozyon, gövde bağlantıları, rahat çalışma, sıcaklık seviyesi ve dönüş yönü kontrolünü sağlayın.
- Motor yataklarını ses, sıcaklık ve ses yönünden gözden geçirin.

3.13. UV Lamba

- UV lamba kullanımı için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin
- Lamba ekipman ve güç bağlantılarını kontrol edin

3.14. Pandemi Senaryosunda Kullanım/ Otomasyon

- Fancoil otomasyona bağlı ise bağlantıları ve haberleşmeyi kontrol et,
- Fancoil pandemi döneminde aktif kullanılıp kullanılmadığını kontrol et
- Fan hızı minimum seviyede olacak şekilde ayarla, otomasyon üzerinden kontrol et

EK -3-

PANDEMİ DÖNEMİNDE ÇATI TİPİ PAKET KLİMALAR (ROOFTOPLAR) KULLANIMI VE BAKIM YÖNTEMLERİ

GİRİŞ:

Bu yazıda AVM'lerde, Otellerde, Süpermarketlerde, Konferans Salonları, Sinemalar, Fabrikalar ve insanların aktif olarak kullandığı geniş hacimli mahallere hitap eden Çatı Tipi Paket Klimalar (Rooftoplar) ürünleri için Pandemi döneminde Covid-19 kapsamında kullanım şekli, yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

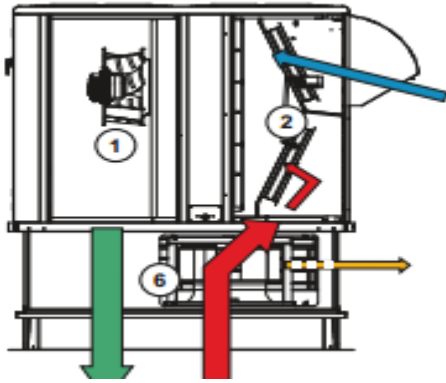
Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

ÇATI TİPİ PAKET KLİMA (ROOFTOP):

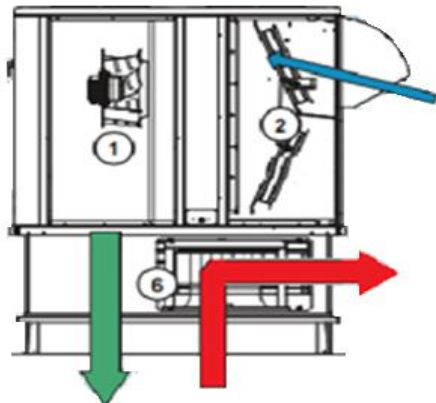
Çatı Tipi Paket Klimalar (Rooftoplar) ısıtma, soğutma ve havalandırma işlemlerinin tümünü tek bir gövde içerisinde konfor şartlandırmasını yapabilen paket tip cihazlardır. Yaklaşım olarak klima santrali ile birlikte kullanılan soğutma grubu ve kazan grubunun birleşmiş halidir. Karışım havalı veya %100 taze hava ile çalışma olanağı vardır.

KULLANIM ŞEKİLLERİ:

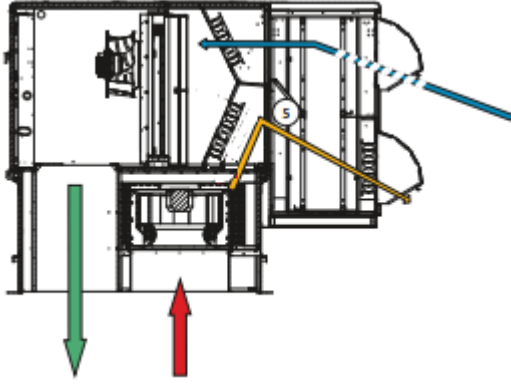
- Mahallerin Havalandırılması: Karışım havalı sistem



- Mahallerin Havalandırılması: %100 taze havalı sistem



- %100 Taze Havalı Isı Geri Kazanımlı Sistem



MAHALLERİN HAVALANDIRILMASI:

Mahallerin ısıtma, soğutma ve havalandırmasında Çatı Tipi Klimalar (Rooftop) ürünleri kullanılmaktadır.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için iç ortamların mümkün olan en üst seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan havalandırma sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedarigi için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Hava Debisinin Arttırılması	X	X	X
2	Damperlerin daha fazla taze hava alacak şekilde çalıştırılması , serbest soğutma(free-cooling) set değerlerinin ayarlanması	X	X	X
3	Isı Geri Kazanım ünitelerinin kullanılma durumu	X	X	X
4	Kış şartlarında ihtiyaç duyulması durumunda ilave ısıtıcı opsiyonlarının (doğalgaz modülü, sıcak su bataryası, elektrikli ısıtıcı) eklenmesi	X	X	X
5	Havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması (24 saat)	X		
6	Filtre verimliğinin arttırılması	X	X	X
7	UV lamba kullanılması	X	X	X

1. HAVA DEBİSİNİN ARTTIRILMASI:

Hava debisinin artırılması fan hızının artırılmasıyla sağlanabilir. Bunun için fan ve motor çalışma limitleri, filtre, soğutucu batarya hava hızı limitleri ve mutlaka soğutucu gaz devresi limitleri göz önünde bulundurularak;

- EC tip fanlarda, frekans değerinin artırılması
- Frekans inverterli fanlarda, frekans değerinin artırılması
- Kayış kasnaklı sistemlerde, kasnak çapının büyütülmesi vasıtasıyla sağlanabilir.

2. DAMPERLERİN %100 TAZE HAVA ALACAK ŞEKİLDE ÇALIŞTIRILMASI, SERBEST SOĞUTMA (FREE-COOLING)

Çatı Tipi Paket Klima (Rooftop) cihazları kendi yazılım ve kontrol kumanda sistemine sahiptir. Çeşitli çalışma senaryoları bu kumanda sistemi üzerinden ayarlanır ve set edilebilir ve hatta uzaktan BMS sistemine bağlanarak izleme ve kontrol edilebilir.

Bu şartlarda %100 taze hava ile çalışabilmesi için set edildiğinde, re sirkülasyon damperinin kapatılması ve eş zamanlı dış hava damperi ve egzoz havası damperlerinin açılması sağlanmış olur. Kontrol sistemi ile istenildiğinde gaz devresi çalışması (soğutma/ısıtma) aktif ve ya pasif hale getirilebilir.

%100 taze hava ile çalışabilecek uygunlukta olarak tasarlanmış, örneğin serbest soğutma sistemlerin karışım havası damperlerini kapatarak sadece dış hava ve egzoz havası damperlerini eş zamanlı çalıştırılması ile sadece dış havanın ortama verilmesi cihaz kumanda sistemi üzerinden set edilerek temin edilmiş olur.

Bu ayarlar yapılırken çatı tipi paket klima cihazının izin verilen minimum ve maksimum hava debisi değerleri dikkate alınmalıdır.

Talep kontrollü ortamlarda CO₂ sensörünü normal çalışma değerlerinin altında daha düşük değerlere (Örneğin 400 ppm) ayarlamak gerekir. CO₂ sensörü ile damper kontrolü yapılan sistemlerde eğer %100 taze hava ile sistem çalıştırılıyor ise damper ayarı devre dışı bırakılmalı veya CO₂ sensörü iptal edilmelidir.

Bu ayarlar bina işletme teknik ekibi ve/veya cihaz yetkili servislerince yapılmalıdır.

Damper kontrollerinin cihaz yazılımı ve kumanda sistemi ile yönetilmeyen cihazlar var ise bu ayarların bina işletme teknik ekibi ve/veya cihaz yetkili servislerince manuel olarak ayarlanmalıdır.

3. ISI GERİ KAZANIM ÜNİTELERİNİN KULLANILMA DURUMU

Genel temayül, rotorlu ısı değiştiricilerin, herhangi bir kontamine hava geçişini engellemek amacıyla kesinlikle çalıştırılmamalıdır.

Aynı sebepten ötürü herhangi bir tip entalpi ısı değiştiricide bypass edilmelidir.

Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde ise taze hava miktarını arttırabilmek amacıyla eşanjörün bypass hattı kullanılması değerlendirilmelidir. Bypass hattı üzerinde ısı değiştiricinin hemen

hemen yarattığı kadar basınç kaybı yaratabilecek bir damper varsa bu damper, motorun izin veirlen maksimum motor güç girişini aşmayacak şekilde, açılmalıdır.

Ancak ısı geri kazanım sistemlerinin çalıştırılmaması sonucunda oluşacak enerji maliyetleri göz önüne alındığında, bununla bitlikte iklimlendirmeden kaynaklı bina trafolarına gelecek ilave elektrik tüketim yükleri göz önüne alındığında, ayrıca istenilen asgari konfor şartlarının da sağlanamadığı durumlarda UV-c v.b. alternatif destek çözümler ile ısı geri kazanım sistemleri kullanılabilir.

4. KIŞ AYLARINDA İHTİYAÇ DUYULMASI DURUMUNDA İLAVE ISITICI OPSİYONLARININ(DOĞALGAZ MODÜLÜ, SICAK SU BATARYASI,ELEKTRİKLİ ISITICI)EKLENMESİ

Kış aylarında %100 taze hava ile çalışma durumunda konfor şartlarındaki kayıpların bertaraf edilebilmesi için Çatı Tipi Paket Klima cihazlarına doğalgaz modülü, sıcak su bataryası, elektrikli ısıtıcı opsiyonlarından uygun olanı seçilerek kullanılabilir. Bu opsiyonların cihaz tedarikçi yetkili teknik servisleri tarafından yapılması gereklidir.

5. HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SÜREKLİ ÇALIŞTIRILMASI (24 SAAT)

AVM'lerin, süpermarketlerin, diğer ticari binaların, fabrikaların, vb kapalı olduğu saatlerde havalandırma sisteminin çalıştırılmasının virüs üremesini engellediği yönünde bir kanıt olmamasına rağmen önleyici tedbir olarak tavsiye edilmektedir. Devamlı çalışma içeriye sürekli taze hava sağlanması sebebiyle havanın seyreltilmesine imkan tanımaktadır.

Havalandırma sistemini bina kullanım süresinden en az 2 saat önce nominal hızda başlatmak için sistem zamanlayıcılarının saat zamanlarını değiştirilmesi ve bina kullanım süresinden 2 saat sonra daha düşük hıza sürekli olarak devam etmesi tavsiye edilmektedir.

Havalandırmayı, insanlar yokken düşük (ama kapalı değil) havalandırma miktarları ile 7/24 açık tutun.

Genel tavsiye, mümkün olduğunca taze hava sağlamaktır. Kilit nokta, kişi başına sağlanan temiz hava miktarıdır. Akıllı çalışmadan faydalanma nedeniyle, çalışan sayısı azalırsa, geri kalan çalışanları daha küçük alanlara yoğunlaştırmayın, ancak havalandırmanın temizleme etkisini artırmak için aralarındaki sosyal mesafeyi (kişiler arasında en az 2-3 m fiziksel mesafe) koruyun veya genişletin.

6. FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Daha verimli filtre sınıflarının kullanılması iç hava kalitesini arttıracaktır. Fakat filtre sınıfları arttıkça basınç kayıpları arttıracığı için sistemin bu basınç kayıplarının karşılayıp karşılayamayacağı mutlaka uygulamadan önce kontrol edilmelidir.

7. UV-C LAMBA UYGULAMASI

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
- İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
- Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.

- Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır. UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;
- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

1. Genel

- Çatı Tipi Paket Klima(Rooftop) cihazlarının göz ile genel durumunu kontrol edin.

2. Gövde Panelleri

2.1.Panel ve tüm kuru kısımların içten muayenesi

- Gövde üzerinde sızdırmazlığı(conta, silikon ve izolasyon) kontrol edip gerekirse malzeme kullanarak sızdırmazlığı sağlayınız.

2.2. Kapı ve Erişim Kapakları

- Tüm kapı ve erişim kapakları üzerindeki kilitleri ve menteşeleri kontrol ediniz. Hasarlı olanları onarınız veya yenisi ile değiştiriniz.

2.3. Esnek Bağlantılar

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

3. Topraklama

- Ünitenin topraklanmasının ve kurulumunun düzgün şekilde yapıldığından emin olunuz.

4. Damperler

- Aşırı miktardaki kir birikimlerini temizleyiniz.
- Damper güvenlik ekipmanlarının görevini yerine getirip getirmediğini kontrol ediniz. Ekipmanlar görevini yerine getirmiyorsa yenisi ile değiştiriniz.
- Cıvata ve bağlamaları kontrol ediniz, gerekiyorsa sıkınız.
- Damper kanatlarının gövdeye, esnek bağlantıya ve kanal bağlantılarına temas etmeksizin serbestçe çalışmasını gözlemleyiniz.
- Bina otomasyon üzerinden damperlerin açma kapama fonksiyonlarını tam olarak yerine getirdiğini doğrulayınız.

5. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.
- Diğer cihazlardan atılan çeşitli egzoz havası ve atık gazların bu girişlerden emilip emilmeyeceğini hâkim rüzgâr yönlerini düşünerek kontrol edin. Gerekiyorsa tedbir alın.

6. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızıkların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrelerin temizliğini sağlayın.
- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtreleri mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

7. Isıtıcılar

7.1. Sıcak Su Bataryası

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlilik kontrolü yapın. Gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kaçak kontrolü yapınız.
- Donmaya karşı koruma termostatının düzgün çalışıp çalışmadığını kontrol edip, termostat harekete geçtiğinde doğru kontrol sekansını izleyip izlemediğine bakınız.
- Yılda en az bir kez glikollü ısıtma bataryalarında sudaki fiili glikol yüzdeleri tespit ve kontrol edin.

7.2. Elektrikli ısıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları ve güç bağlantılarını kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

7.3. Doğalgaz Modülü (Sadece cihaz yetkili servisi tarafından müdahale edilmelidir)

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse basınçlı hava ve harbileme yöntemi ile temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları, kontrol kartları ve güç bağlantılarını kontrol ediniz.
- Doğalgaz tesisatı sızdırmazlık kontrolünü yapın
- Doğalgaz tesisat hattı gaz basınç kontrolü yapın, gerekirse regülatör kontrolü ve ayarı yapılmalıdır.

8. Evaporatör (Buharlaştırıcı)

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse hava akımının aksi yönde basınçlı hava verilerek uygun kimyasal sıvılar kullanılmak suretiyle yıkanarak temizleyin. Kimyasal yıkama sonrası mutlaka durulama işlemi yapılmalıdır.
- Sifonu temizleyip düzgün çalıştığından emin olunuz.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.

9. Kondanser (Yoğuşturucu)

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse hava akımının aksi yönde basınçlı hava verilerek uygun kimyasal sıvılar kullanılmak suretiyle yıkanarak temizleyin. Kimyasal yıkama sonrası mutlaka durulama işlemi yapılmalıdır.

10. Isı geri kazanım tamburu

- Rotorlu ısı geri kazanım ünitesinin çalıştırılmadığını teyid ediniz.

11. Plakalı ısı geri kazanımı

- Plakalı ısı eşanjörünü üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenmelere karşı elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Damper kullanılıyorsa, "Damperler" kısmında yer alan talimatlara uygun olarak tarif edilenleri yapınız.
- Aşınma, sızıntı, vb ihtimallere karşı gözle muayene yapınız.

12. Fan

12.1. Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Plug Fan'lı ürünlerde fanın fan çarkı ile çerçeve arasındaki bollağın tüm çevre boyunca aynı olduğunu kontrol edin.
- Kayış cinsi, kayış gerginliği, adedi ile kayışların bağlandığı kasnakların ölçüleri ve cinsi gibi bilgileri kontrol ediniz.

- Motor kablo bağlantılarının yapıldığı terminal kutusunun izolasyonunu kontrol ediniz. Kutunun içinde nem olmalıdır.
- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa balans yaptırınız.
- Fana ait yatakları ses, titreşim ve ısı yönünden inceleyiniz.
- Fanlara ait esnek bağlantıları kaçak, yırtık vb. için kontrol ediniz, uygun bir şekilde temizliğini yapınız.
- Fanın güvenlik ekipmanlarını çalışma kontrollerini yapınız, görevini tam olarak yerine getirmeyen ekipmanı yenisi ile değiştiriniz.

12.2. Yataklar

- Ufak tip fanların yatakları kapalı tip olup, yağlama gerektirmez. Yağlama isteyen cinsten daha büyük fanların kullanılması halinde, bunların üretici tavsiyesine uygun periyotlarda yağlanmasını sağlayın.

12.3. Güç iletimi(kayış-kasnaklı fanlar için)

- Üniteyi devreye aldıktan veya kayışları değiştirdikten sonra, kayış gerginlikleri bir hafta içerisinde ve bilahare iki haftada bir kontrol edilmeli, gerekirse tekrar gerilmeli.
- Bunun ardından kayış gerginlikleri ve kayışlarda genel durum kontrolleri üç ayda bir tekrarlayın.

Yeni kayış takılmasından sonra;

- Kasnakların düzgün imzalandıklarından emin olunuz. Gerekirse hizalama yapınız.
- Tüm kayışları kasnaklar üzerine gevşek vaziyette getirip, kasnaklar üzerinden gergin kayışları çekmeyiniz.
- Kayışları gerip, gerginliklerini kontrol ediniz.
- Hizalamayı tekrar kontrol ediniz.

12.4. Motor

- Motoru kirlilik, hasar, korozyon, gövde bağlantıları, rahat çalışma, sıcaklık seviyesi ve dönüş yönü kontrolünü sağlayın.
- Motor yataklarını ses, sıcaklık ve ses yönünden gözden geçirin.
- Motor enerji bağlantılarını ve güç kontaktörlerini kontrol ediniz.

13. UV Lamba

- UV lamba kullanımı için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı

- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin
- Lamba ekipman ve güç bağlantılarını kontrol edin

14. Pandemi Seneryosunda Kullanım/ Otomasyon

- Çatı Tipi Paket Klima (Rooftop) otomasyona bağlı ise bağlantıları ve haberleşmeyi kontrol et,
- Çatı Tipi Paket Klima (Rooftop) pandemi döneminde aktif kullanılıp kullanılmadığını kontrol et
- Fan hızı minimum seviyede olacak şekilde ayarla, otomasyon üzerinden kontrol et

15. Fark basınç su ve hava tarafında kontrol edilmeli

EK -4-

PANDEMİ DÖNEMİNDE VRF/VRV SİSTEM CİHAZLARIN KULLANIMI VE BAKIM YÖNTEMLERİ

GİRİŞ:

Bu yazıda orta büyüklükteki mahallerin ısıtma ve soğutma gereksinimini karşılamak için kullanılan ve özel bireysel iklimlendirme taleplerine hitap eden split klima ürünleri için, pandemi döneminde Covid-19 kapsamında kullanım şekli, yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

VRV/VRV İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

VRV/VRV sistemleri Bağımsız İklimlendirme sistemlerindedir.

VRV; Variable Refrigerant Volume kelimelerinin baş harflerinden oluşan VRV; değişken soğutucu akışkan hacimli klima sistemi olarak Türkçe'ye çevrilebilir.

VRV; Variable Refrigerant Flow kelimelerinin baş harflerinden oluşan VRF; değişken debili soğutucu akışkan klima sistemi olarak Türkçe'ye çevrilebilir.

Sektörde tanımları farklı olmakla birlikte sistem kurulum ve çalışma mantıkları benzerdir.

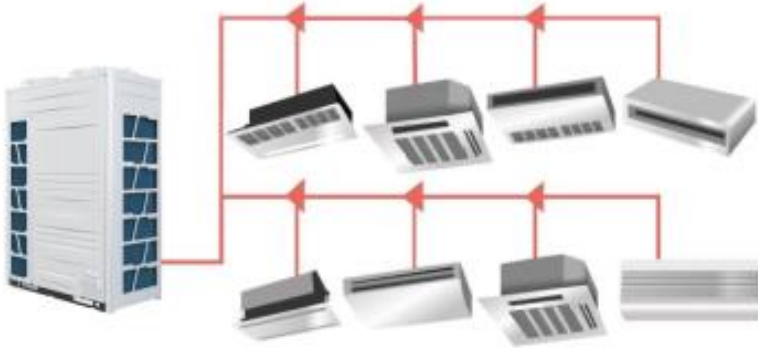
Uygulama alanları geniştir.

Ofis, Otel, Okul, Mağaza, Restaurant, Alış Veriş Merkezleri ,Hastaneler ve Fabrikalar vb her alanda uygulanabilmektedir

VRV/VRV SİSTEMLERİN ÇALIŞMA ŞEKLİ

VRV/VRV Klima Sistemi; Bir dış ünite ile, gaz akış dağıtıcıları yardımıyla birden çok iç ünitenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği direkt genleşmeli klima sistemleri. Gerektiği kadar soğutucu akışkan doğru faz ve doğru zamanda ihtiyaç duyulan iç üniteye sevk edilerek ısıtma ve soğutmada kullanılması sağlanır.

İç ve dış ünite arasındaki soğutucu akışkan dolaşımı, izoleli bakır borularla sağlanır. Bu sistemlerde esnek ve uzun mesafelerde (dikey ve yatay hatlarda) borulama imkanları bulunmaktadır



Farklı kapasite ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla Dış ünite kombinasyonları modüler bağlanarak kullanma imkanı bulunmaktadır.

Dış ve iç üniteler farklı tipte kombinasyonlarda kullanılabilir.



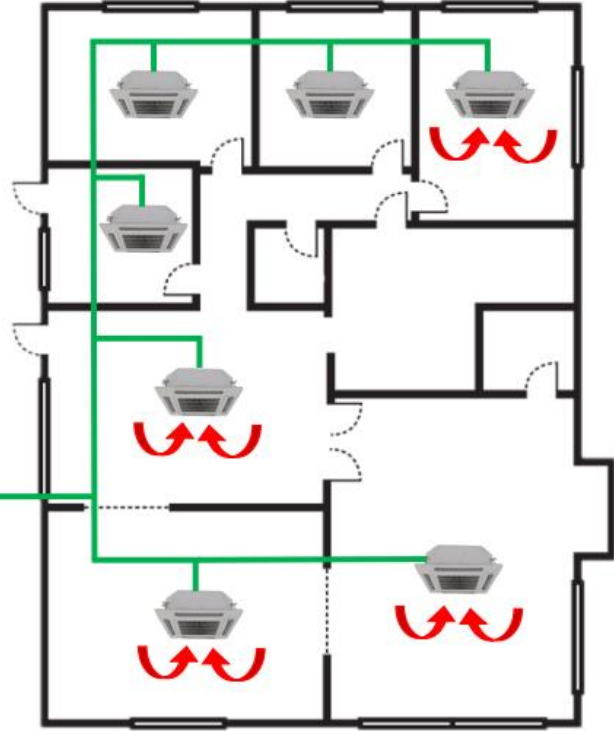
VRV/VRF Sistemlerinde Kullanılan İç Üniteler

VRF/VRV sistemler dış ünite kondenslerinin soğutulma şekline göre Hava ve Su soğutmalı olarak iki gruba ayrılır

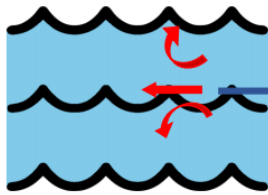
Hava Soğutmalı Sistemler



Hava soğutmalı VRF dış ünitelerde soğutucu akışkandan dış havaya ısı transferi boru kanatçık tipi ısı değiştirgeçleri vasıtasıyla yapılır.



Su soğutmalı sistemler

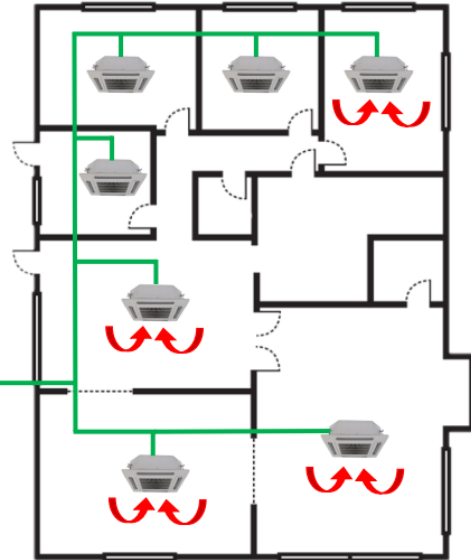


H₂O



R410a

Su soğutmalı VRF dış ünitelerde soğutucu akışkandan suya ısı transferi plakalı tip ısı değiştirgeçleri vasıtasıyla yapılır.

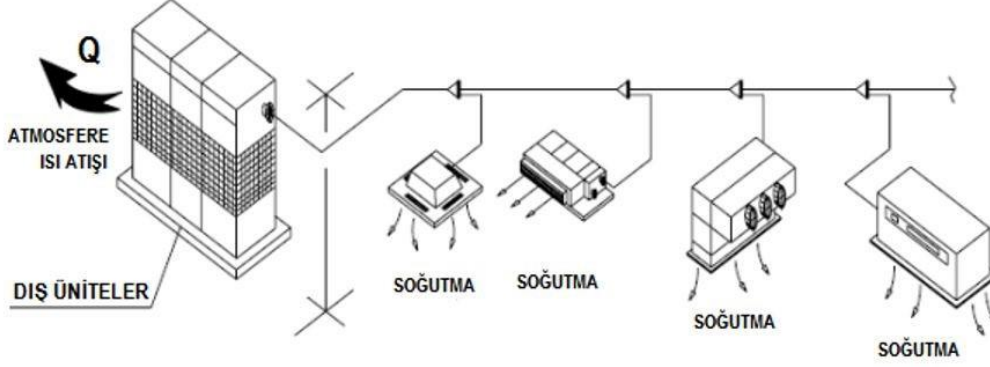


VRF Klima Sistemlerinin Heat Pump ve Heat Recovery olmak üzere 2 farklı çeşidi vardır.

Heat Pump Sistemleri 2 borulu VRF sistemleri olarak ta bilinir ve iç ünitelerde aynı anda sadece soğutma veya sadece ısıtma yapılabilir.

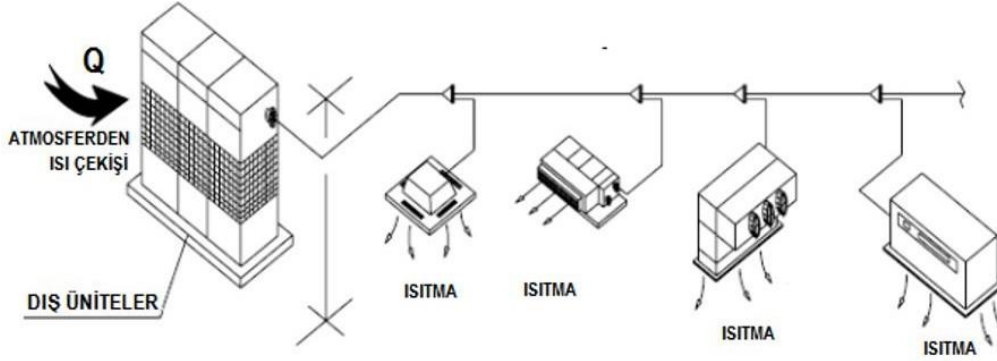
Heat Recovery sistemleri ise aynı zamanda 3 borulu VRF sistemleri olarak bilinir ve iç üniteler aynı anda hem soğutma hem de ısıtma yapılabilmektedir.

İki Borulu Heat Pump Sistemler Soğutma Çalışması



Hava soğutmalı VRV/ VRF Sisteminin YAZ Çalışması

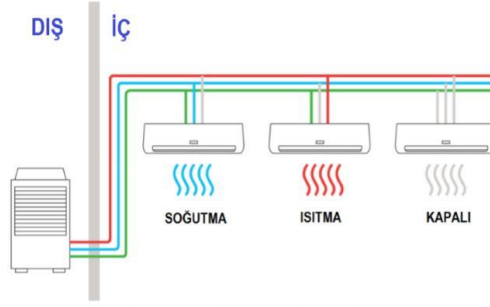
İki Borulu Heat Pump Sistemler Isıtma Çalışması



Hava soğutmalı VRV/ VRF Sisteminin KIŞ Çalışması

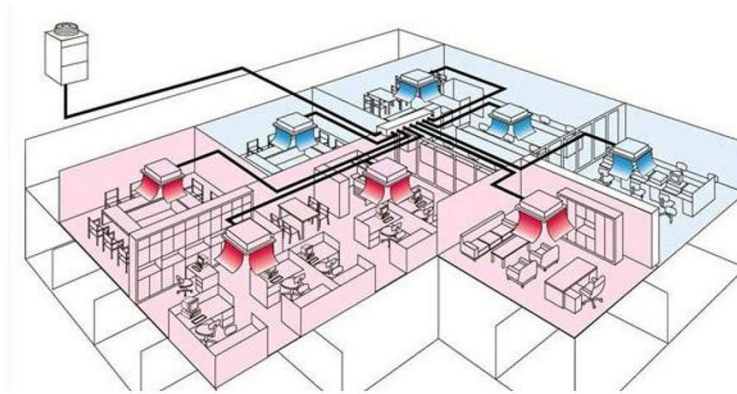
HEAT RECOVERY (ISI KAZANIMLI) VRF/VRV KLİMA SİSTEMLERİ

Üç borulu sistemlerde iç üniteler eş zamanlı olarak ısıtma ve soğutmada birbirlerinden bağımsız olarak çalışırlar.



Heat-Recovery Sistem Çalışma Şeması

Üç Borulu sistemler ile aynı yapı içerisindeki değişik mahallerde, birbirinden bağımsız iklimlendirme (aynı anda ısıtma ve soğutma) yapılabilinmektedir.



VRV/VRF Sistemi Aynı Anda Isıtma ve Soğutma Yapan Uygulama (Heat-Recovery)

1. Bireysel veya İnsan Bulunmayan Mahallerde Kullanım

- a. **Kişiyeye özel ofis alanları ve konutlar bireysel kullanım olduğu için VRF/VRV sistemler iklimlendirme için çalıştırılabilir.**

Ziyaretçi gelmesi durumunda iç ünite cihazı durdurulmalıdır. Pencere açılırsa ziyaretçi gelmeden önce cam açılarak doğal havalandırma sağlanmalıdır. Ziyaretçinin ayrılmasını takiben, mahal havası **en az 5 çevrim** değişecek şekilde doğal havalandırma yapıldıktan sonra yeniden çalıştırılmalıdır.

Mahal tipi hava temizleme cihazı kullanılması durumunda oda havasını **saatte 5 çevrim** filtreleyen tipte seçilerek sürekli çalıştırılacaktır.

- b. **Otel Odalarında bireysel veya birlikte yaşayan kişiler tarafından kullanım** söz konusu olduğu için, VRF/VRV, misafir kabulü öncesinde uygun şekilde dezenfeksiyon işlemi yapılarak çalıştırılabilir.

Dezenfeksiyon işlemi her müşteri değiştirmede tüm oda ve cihazlar için yapılmalıdır.

Otel odasını kullananlar dışında, housekeeping, oda servisi, teknik servis vb. kişilerin odaya girmesi durumunda müşteri değiştirmede yapıldığı gibi dezenfeksiyon işlemi mutlaka yeniden yapılmalıdır.

- c. **Server odası, v.b.** içeride çalışan bulunmayan mekanlardaki i üniteler, çalıştırılmaya devam edilebilir.

2. Birden Fazla Kişinin Bulunduğu Mahallerde Kullanım

- a. İş yerleri, ofisler, mağazalar, marketler, kuaförler, spor salonları, otel ve gösteri mekanlarının ortak alanları, banka şubeleri, v.b. **birden fazla kişinin bulunduğu veya kalabalık mahallerde VRF/VRV alıştırılmamalıdır.**

ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ev veya ticari ortamlarda bireysel olarak kullanılan i niteler Pandem senaryosu kapsamında kullanılabilir.

Kanallı tip i niteler Ortak hacimlerin havalandırılmasında primer hava desteği ile kullanılabilir. Primer hava desteği olmayan ve Ortak hacimlerin klimatizasyonunda kullanılan i ünitelerin kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için i ortamların mümkün olan en st seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan i ünite sistemlerinde i ortamlara maksimum dış hava tedariki için bazı yönetimsel mdahaler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Filtre verimliliğinin arttırılması			X
2	UV lamba kullanılması	X	X	X

1. FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

İ nite filtreleri ağırlıklı olarak küçük boyutlardaki partiküller tutma yönünde tesis edilmiş filtreler değildir. Amacı fana zarar verecek boyutta veya sürekli kullanımda bataryaların tıkanmasına sebebiyet verecek boyutta kaba toz partiküllerin tutulması yönünde filtreler kullanılmaktadır.

Bu filtreler kesinlikle virüs boyutundaki partiküllerin yakalanması amacına hizmet edemez. Bu amaç ile kullanılabilir Hepa, kalite sınıfındaki filtreler ise VRV/VRF fanlarının yenmesi mümkün olmayan boyutlarda hava tarafı dirençler oluşturduğundan bu cihazlarda kullanımı çok mümkün değildir.

Bazı iç ünitelerde toz filtreler ile birlikte aktif Karbon filtre, flash stream veya plazma tip filtreler kullanılmaktadır.

Daha verimli filtre sınıflarının kullanılması iç hava kalitesini arttıracaktır. Fakat filtre sınıfları arttıkça basınç kayıpları arttırılacağı için sistemin bu basınç kayıplarının karşılayıp karşılayamayacağı mutlaka uygulamadan önce kontrol edilmelidir.

2. UV-C lamba

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
- İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
- Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
- Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.

UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;

- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

1. Genel

- İç ve dış ünitenin hasarsız olduğunu kontrol edin.
- Gaz bağlantı hattı ve izolasyonlarını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Drenaj hattını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Elektrik tesisatı ve bağlantılarını kontrol edin
- Topraklama bağlantılarını kontrol edin

2. İç Ünite

2.1. Flap kısımlarının muayenesi

- kirlenme kontrolü yapıp gerekirse kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.

2.2. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.

2.3. Fan

2.3.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

2.10. İç ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

2.10. Yoğuşma (Drenaj) Tavası

- Yoğuşma tavasında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız
- Drenaj hattının temizliği kontrol edilmelidir. Tıkanıklık varsa açılmalıdır. Eğer drenaj pompası varsa pompanın temizliği de ihmal edilmemelidir.

Kanallı tip iç ünite

2.4. Esnek Bağlantılar (Kanallı içi üniteler)

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

2.7. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.

- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrlerin temizliğini sağlayın.
- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtreleri mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

2.9. Isıtıcılar (Kanallı tip)

2.9.2. Elektrikli ısıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

2.10. UV Lamba

- UV lamba kullanımı için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin

3. Dış Ünite

3.1. Fan

3.1.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

3.2. Dış ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

EK -5-

PANDEMİ DÖNEMİNDE SPLIT KLİMALAR KULLANIMI VE BAKIM YÖNTEMLERİ

GİRİŞ:

Bu yazıda küçük ve orta büyüklükteki mahallerin ısıtma ve soğutma gereksinimini karşılamak ve özel bireysel iklimlendirme taleplerine hitap eden split klima ürünleri için, pandemi döneminde Covid-19 kapsamında kullanım şekli, yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

SPLIT KLİMALAR

Split klimalar Bağımsız İklimlendirme sistemlerindedir.

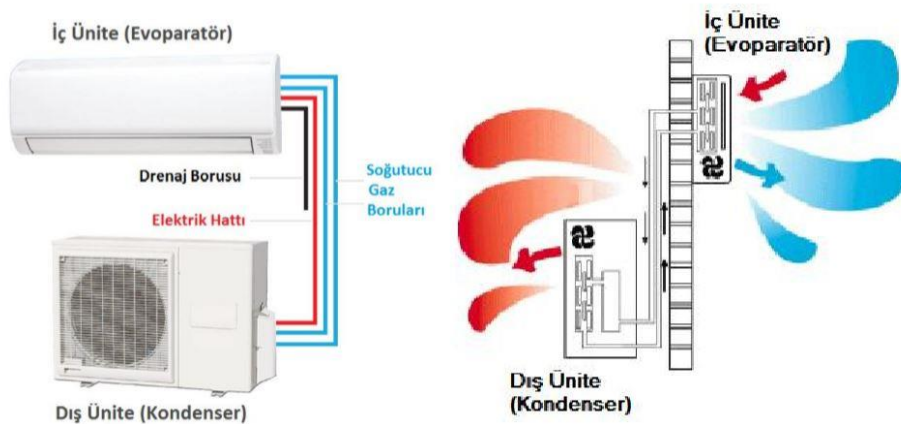
Bu sistemlerde soğutma / ısıtma işlemini yapan tüm donanım paket cihaz içerisinde yer almakta, ilave bir ekipman (sirkülasyon pompası, fan, klima santrali, v.b.) gerektirmeden bağımsız olarak iklimlendirme işlemini yapabilmektedir. Genellikle küçük ısıtma ve soğutma gereksinimi olan mekanlarda, mağazalar, oteller, restoranlar, ofisler, banka şubeleri, marketler vb ve bireysel kullanımlara hizmet etmektedirler.

Split klimalar iç ve dış ünite olmak üzere iki üniteden meydana gelir. (Split=ayrılmış, adının verilmesi, iklimlendirme işlevini yerine getirecek donanımın dış ve iç ünite olmak üzere iki üniteye ayrılmış olmasıdır.) Dış ünite kompresör ve kondanser, iç ünite de evaporatörden meydana gelmiştir. (Pencere tipi klimaların ikiye ayrılmış hali olarak düşünebiliriz.)

İç ve dış ünite arasındaki soğutucu akışkan dolaşımı, izoleli bakır borularla sağlanır.

Split klima sistemi tasarımının ve kullanımının nedeni, kompresör ve kondanser fanını dış ortama yerleştirerek, mahaldeki gürültü düzeyini minimuma indirmek, mahal içinden alınan ısı enerjisini atmosfere kolaylıkla atabilmek, iç ünitenin yerleşiminde yer kazanmak ve mahalın estetik özelliklerinin korunmasını sağlamaktır.

SPLIT KLİMALARIN ÇALIŞMA ŞEKLİ

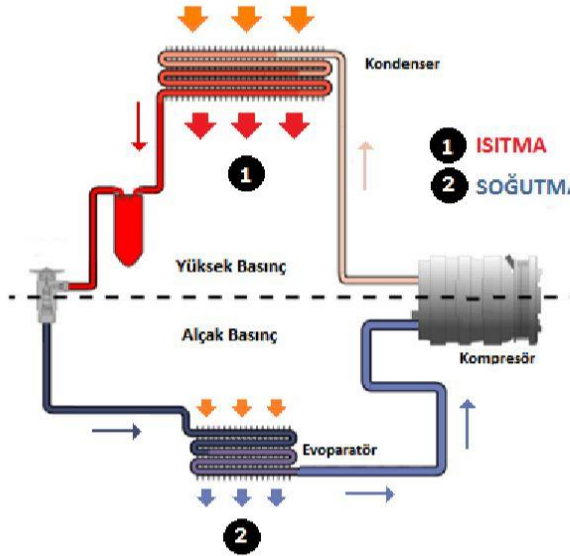


Split Klima Donanımları ve Çalışma Şekli

Split Klimalar, buldukları mahalin iç ortam havasının sirkülasyonu ile çalışır.

İç ünite fanı yardımıyla mahalden emilen hava, evaporatör eşanjöründen geçerken soğur ve gene aynı fan vasıtası ile mahale basılır. Bu cihazların pratik olarak küçük parçacıkları filtrelemeyen ancak yine de parçacıkları toplayabilen kaba filtreleri vardır.

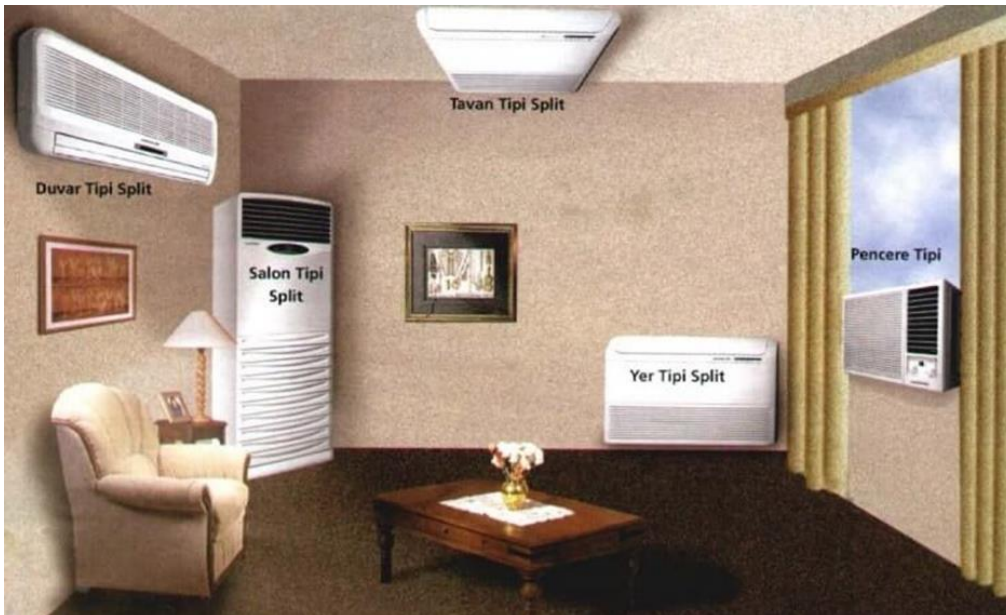
Split klimaların başlıca özellikleri her mekana uygun model sağlayabilmeleri ve sessiz olmalarıdır. Bazı modellerde uzaktan kumanda, zaman ayarı, programlanabilme, nem alma, kapasite kontrolü v.b. ilave fonksiyonlar da mevcuttur.



Heat-Pump Prensi (Hem Isıtma ve Hem Soğutma Yapan)

Split klimaların (Yalnız Soğutma) işlevli olmalarının yanında; ısıtma seçeneğini (Isı Pompası ve/veya Elektrikli Isıtıcı) de içeren tipleri vardır. Bu tür split klimalar ile; soğutmanın yanı sıra, çok soğuk hava sıcaklığı olmayan zaman ve bölgelerde, ısıtma yapabilmek de mümkündür.

SPLIT KLİMALARIN ÇEŞİTLERİ



1) Mono Split Klimalar

Bir iç ve bir dış üniteden oluşan bu klimalar oldukça düşük ses seviyesinde çalışırlar. İç ünitelerle dış ünite arasında bakır boru, elektrik kablosu, drenaj hortumundan oluşan bağlantı sayesinde, mahalden aldığı ısı enerjisini, dış ünite kondenseri aracılığı ile atmosfere verirler.

a) Salon Tipi Split Klimalar

Özellikle mağaza ve toplantı salonu gibi insan sirkülasyonunun fazla olduğu geniş mekanlar için idealdir. Yüksek hızlı ve güçlü fan sistemleri ile homojen hava dağılımını sağlarlar. Standart olarak ek ısıtıcı takviyelidirler. Bu sayede heat pump ısıtma sistemini destekleyerek düşük dış ortam sıcaklıklarında da sorunsuz çalışırlar.

b) Tavan Tipi (Kaset) Split Klimalar

Otel lobisi ofis restaurant, toplantı odası gibi yüksek kapasite talep eden mekanlar için ideal çözümlerdir. Asma tavanı olan geniş mekanlara uygulanır. Bu tipteki klimalar ile dışa bağlantı yapılarak temiz hava alınabilir. Taze hava kasetli klimanın iç ünitesinin arkasından dışarıya bağlantılı bir hava kanalı ile alınır ve dönüş havası ile karıştırılarak sisteme gönderilir. İki yöne dört yöne üfleme özellikleri sayesinde ortamı homojen olarak havalandırır. Ayrıca büyük bir kısmı tavana gömüldüğü için oldukça estetikdir.

c) Gizli Tavan Tipi Klimalar

Cihaz tavanda bir boşluğa tümüyle gizlenebilir. Duvara, yere yada tavana yerleştirilen dağıtıcılar, sıcak yada soğuk havayı odaya düzenli bir şekilde yayar. Projenin ihtiyaçları doğrultusunda taze hava bağlantısı yapmak mümkündür.

d) Duvar Tipi Split Klimalar

Genellikle, konutlarda, küçük otellerde, küçük ofislerde tavana yakın bölgelere monte edilmek sureti ile, çok fazla yer kaplamadan kullanılırlar.

e) Yer ve Tavan Tipi Klimalar

Hem tavan hem de yere monte edilebilme özellikleri ile bu klimalar mağaza, ofis gibi mekanlar için en ideal montaj ve estetik olanaklarını sunmaktadırlar. Salon tipi klimalarda olduğu gibi yer tipi klimalarda da ek ısıtıcı takviyesi vardır. Uzaktan kumandalı modelleri mevcuttur. Özellikle asma tavanın olmadığı mekanlarda tavana montaj kolaylığı ile hacim ferahlığı sağlar. Mekanın koşullarına göre yerleştirilme imkanı vardır. Estetik ve güçlü üfleme olanaklarıyla ortamın havasını homojen olarak iklimlendirir.

f) Pencere Tipi Klimalar

Tek bir üniteden oluşan ve dış ortamla direk temasta olan, duvara veya pencereye monte edilen klima türüdür. Sistemini oluşturan donanımın (Kompresör, Evaporatör, Fan ve Motor, Kondanser ve Kılcal boruların) hepsi bir ünite içerisindedir. Tarih içerisinde, ilk oluşturulan klima tipi olarak göze çarpmaktadır. Zaman içerisinde geliştirilerek şu an mevcut pencere tipi klima tipine ulaşmıştır.

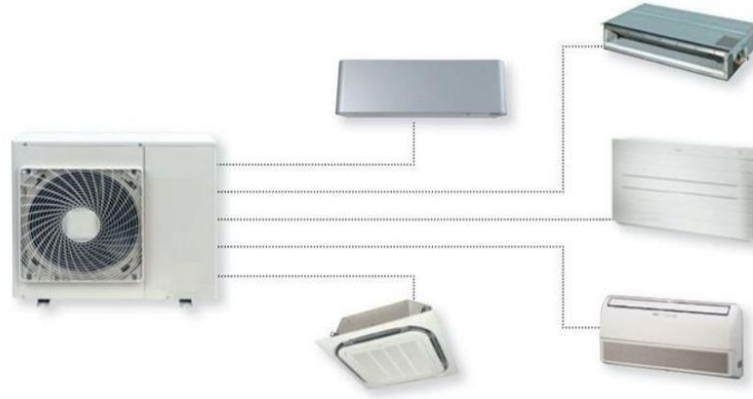
Pencere tipi klima, arzuya göre pencerede yada duvarda bir delik açılarak askı parçaları yardımıyla monte edilir. Klima montajı ideal yüksekliği 1.50 ila 2.00 metre arasındadır. Dış ortam ile direkt temas halinde olduğu için, oda içerisine ihtiyaç duyulduğu zaman taze hava sağlama özelliğine sahip tipleri vardır. Pencere tipi klimalar "Yalnız Soğutma" işlevli olmalarının

yanında ısıtma seçeneği; “Isı Pompası (Heat-Pump) ve/veya “Elektrikli Isıtıcı” olarak temin edilebilmektedir.

2) Multi Split Klimalar

Multi split klima sistemlerinde, bir dış üniteye bağlı birden fazla iç ünite bulunur. Böylelikle bir kompresör ve kondenser, birden fazla mahal için hizmet verir.

Birbirinden bağımsız birden fazla mahalın iklimlendirme ihtiyacının olduğu ve yük ihtiyacının sürekli değiştiği otel, hastane, ofis, restoran, mağaza, tiyatro, sinema gibi yapılar, cam giydirme cephe binalar, mimari unsurların ön planda olduğu yada dış cephesinde deformasyon istenmeyen tarihi yapılarda tercih edilirler.



Bina içinde soğutucu gaz borularına göre çok büyük yer kaplayan hava kanallarının geçirilmesinin zor olduğu yapılarda, mekanik tesisat için yeterince yer ayrılamayan, kondenser ve kompresörün açık havaya (çatı, bahçe v.b.) konulması gereken yapılarda, her noktasında konfor istenen villalar ve ayrı bölümlerindeki kiracı gruplarının kendilerine özel iklimlendirme faturası istediği iş merkezi ve küçük ölçekli plazalarda, işletme maliyetinin düşük olmasının istendiği tüm projelerde Multi split klima sistemleri kullanılabilir.

3) Portatif (Mobil) Klimalar

Portatif klimanın çalışması; pratik olarak tasarlanmış ve taşınabilme özelliğinden dolayı klimanın sabit bir yerde soğutma yapması zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Portatif klimalar bir odadan diğerine tekerlekli yapısı sayesinde kolaylıkla taşınabileceği gibi oda içinde de esnek ve bükülebilen hortumlarının müsaade ettiği ölçüde hareket ettirilebilirler. Portatif klimaların üç tipi mevcuttur:

a) Mono blok portatif klimalar

Mono blok portatif klimalarda ısının içerden dışarıya taşınabilmesi için yaklaşık 100 mm çapında spiral borunun ağzının pencere, duvar veya bacadan dışarıya çıkartılması gereklidir. Soğutma esnasında açığa çıkan nem cihaz içindeki su toplama tankında toplanır. Tankın doldurulması ile cihaz kendiliğinden durur. Cihazın tekrar çalışabilmesi için, bu suyun boşaltılıp tankın yerine takılması gerekir. Bu tiplerde kondanseri, evaporatör, kompresör bir ünite içindedir.

b) Kondanseri ayrılabilen tip portatif klimalar

Kondanseri ayrılabilen tip portatif klimalar da, split klimalar da olduğu gibi iç ve dış olmak üzere iki ünite vardır ve bu üniteler birbirlerine kıvrılabilen bir boru demeti ile bağlıdır. Bu tiplerde

kondansör ayrılarak dış mekana asılır. İç ünite de kompresör ve evaporatör aynı gövdeye monte edilmiştir.

c) Portatif split klimalar

Portatif split klimalar da diğer split klimalar gibi kompresör ve kondansör dışı üniteyi evaporatör de iç üniteyi oluşturur. bu cihazların tek farklılıkları gaz borularının takılıp sökülebilir olmaları ve bu işlem için herhangi bir takıma ve teknisyene gerek olmamasıdır. Mono blok ve kondanseri ayrı tip portatif klimalar kompresörün iç ünite de olmasından dolayı aynı güçteki split cihazlardan biraz daha sesli çalışırlar.

PANDEMİ ŞARTLARINDA SPLIT KLİMALARIN KULLANIMI

Split klimalar, mahal içinden aldığı havayı iklimlendirerek gene aynı mahal içine geri verdiği için, var ise mahal havası içinde mevcut virüslerin askıda kalmasına ve hava sirkülasyonu ile, mahal içinde dolaşmasına sebep olurlar.

Split klimalar kapatıldıklarında, mahal içindeki virüsler yere çökse dahi, tekrar çalıştırıldıklarında virüsler, klima hava fanının yarattığı hava akımları ile yerden kalkıp mahal içinde dolaşmaya başlarlar.

Bu da virüsün, mahal içindeki kişilere ulaşmasına ve bulaşma neden olur.

Split klimaların, Covid-19 Pandemi şartlarında yaz mevsiminde soğutma ve kış mevsiminde ısıtma amacı ile çalıştırılmaları, **kullanım yerlerine** bağlı olarak ele alınmalıdır.

3. Bireysel veya İnsan Bulunmayan Mahallerde Kullanım

d. Kişiyeye özel ofis alanları ve konutlar bireysel kullanım olduğu için split klimalar iklimlendirme için çalıştırılabilir.

Ziyaretçi gelmesi durumunda iç ünite cihazı durdurulmalıdır. Pencereler açılıyorsa ziyaretçi gelmeden önce cam açılarak doğal havalandırma sağlanmalıdır. Ziyaretçinin ayrılmasını takiben, mahal havası **en az 5 çevrim** değişecek şekilde doğal havalandırma yapıldıktan sonra yeniden çalıştırılmalıdır.

Mahal tipi hava temizleme cihazı kullanılması durumunda oda havasını **saatte 5 çevrim** filtreleyen tipte seçilerek sürekli çalıştırılacaktır.

e. Otel Odalarında bireysel veya birlikte yaşayan kişiler tarafından kullanım sözü konusu olduğu için, split klimalar, misafir kabulü öncesinde uygun şekilde dezenfeksiyon işlemi yapılarak çalıştırılabilir.

Dezenfeksiyon işlemi her müşteri değiştirmede tüm oda ve cihazlar için yapılmalıdır.

Otel odasını kullananlar dışında, housekeeping, oda servisi, teknik servis vb. kişilerin odaya girmesi durumunda müşteri değiştirmede yapıldığı gibi dezenfeksiyon işlemi mutlaka yeniden yapılmalıdır.

f. Server odası, UPS odası, IT bilgi işlem odaları, asansör odaları, baz istasyonları elektrik dağıtım odası ve panoları v.b. içeride çalışan bulunmayan mekanlardaki iç üniteler, çalıştırılmaya devam edilebilir.

4. Birden Fazla Kişinin Bulunduğu Mahallerde Kullanım

- b. İş yerleri, ofisler, mağazalar, marketler, kuaförler, spor salonları, otel ve gösteri mekanlarının ortak alanları, banka şubeleri, v.b. **birden fazla kişinin bulunduğu veya kalabalık mahallerde split klimalar çalıştırılmamalıdır.**

ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ev veya ticari ortamlarda bireysel olarak kullanılan iç üniteler Pandem senaryosu kapsamında kullanılabilir.

Salon tip ürünlerin fan kama atış mesafeleri yüksek olması ve yatay olarak üfleme yapmalarından dolayı kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Kanallı tip iç üniteler Ortak hacimlerin havalandırılmasında primer hava desteği ile kullanılabilir. Primer hava desteği olmayan ve Ortak hacimlerin klimatizasyonunda kullanılan iç ünitelerin kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için iç ortamların mümkün olan en üst seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan iç ünite sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedarigi için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Filtre verimliliğinin artırılması			X
2	UV lamba kullanılması	X	X	X

3. FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

İç ünite filtreleri ağırlıklı olarak küçük boyutlardaki partiküller tutma yönünde tesis edilmiş filtreler değildir. Amacı fana zarar verecek boyutta veya sürekli kullanımda bataryaların tıkanmasına sebebiyet verecek boyutta kaba toz partiküllerin tutulması yönünde filtreler kullanılmaktadır.

Bu filtreler kesinlikle virüs boyutundaki partiküllerin yakalanması amacına hizmet edemez. Bu amaç ile kullanılacak Hepa, Ulpal kalite sınıftaki filtreler ise Fan coil fanlarının yenmesi mümkün olmayan boyutlarda hava tarafı dirençler oluşturduğundan bu cihazlarda kullanımı çok mümkün değildir.

Bazı iç ünitelerde toz filtreler ile birlikte aktif Karbon filtre, flash stream veya plazma tip filtreler kullanılmaktadır.

Daha verimli filtre sınıflarının kullanılması iç hava kalitesini arttıracaktır. Fakat filtre sınıfları arttıkça basınç kayıpları arttırılacağı için sistemin bu basınç kayıplarının karşılayıp karşılayamayacağı mutlaka uygulamadan önce kontrol edilmelidir.

4. UV-C LAMBA

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
- İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
- Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
- Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.

UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;

- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

Bakım

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

1. Genel

- İç ve dış ünitenin hasarsız olduğunu kontrol edin.
- Gaz bağlantı hattı ve izolasyonlarını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Drenaj hattını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Elektrik tesisatı ve bağlantılarını kontrol edin
- Topraklama bağlantılarını kontrol edin

2. İç Ünite

2.1. Flap kısımlarının muayenesi

- kirlenme kontrolü yapıp gerekirse kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.

2.2. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.

2.3. Fan

2.3.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

2.10. İç ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirlı durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

2.10. Yoğuşma (Drenaj) Tavası

- Yoğuşma tavasında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız
- Drenaj hattının temizliği kontrol edilmelidir. Tıkanıklık varsa açılmalıdır. Eğer drenaj pompası varsa pompanın temizliği de ihmal edilmemelidir.

Kanallı tip iç ünite

2.4. Esnek Bağlantılar (Kanallı içi üniteler)

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

2.7. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrlerin temizliğini sağlayın.
- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtreleri mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

2.9. Isıtıcılar (Kanallı tip)

2.9.2. Elektrikli Isıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

2.10. UV Lamba

- UV lamba kullanımı için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - o Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - o Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin

3. Dış Ünite

3.1. Fan

3.1.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

3.2. Dış ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

EK -5-

PANDEMİ DÖNEMİNDE SPLIT KLİMALAR KULLANIMI VE BAKIM YÖNTEMLERİ

GİRİŞ:

Bu yazıda küçük ve orta büyüklükteki mahallerin ısıtma ve soğutma gereksinimini karşılamak ve özel bireysel iklimlendirme taleplerine hitap eden split klima ürünleri için, pandemi döneminde Covid-19 kapsamında kullanım şekli, yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

SPLIT KLİMALAR

Split klimalar Bağımsız İklimlendirme sistemlerindedir.

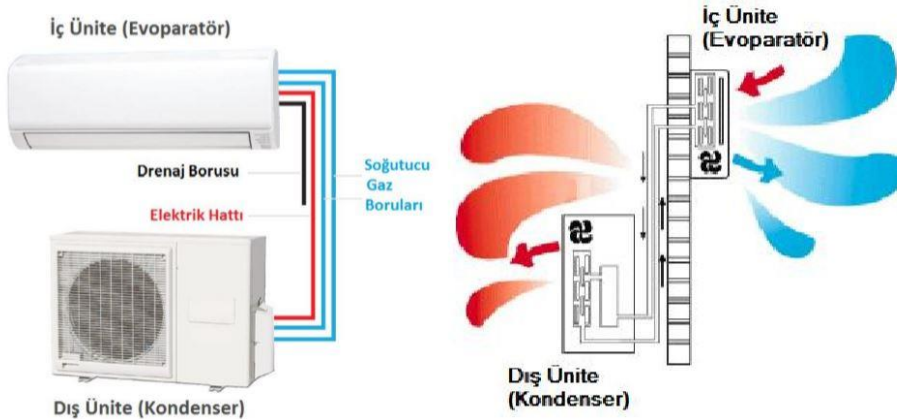
Bu sistemlerde soğutma / ısıtma işlemini yapan tüm donanım paket cihaz içerisinde yer almakta, ilave bir ekipman (sirkülasyon pompası, fan, klima santrali, v.b.) gerektirmeden bağımsız olarak iklimlendirme işlemini yapabilmektedir. Genellikle küçük ısıtma ve soğutma gereksinimi olan mekanlarda, mağazalar, oteller, restoranlar, ofisler, banka şubeleri, marketler vb ve bireysel kullanımlara hizmet etmektedirler.

Split klimalar iç ve dış ünite olmak üzere iki üniteden meydana gelir. (Split=ayrılmış, adının verilmesi, iklimlendirme işlevini yerine getirecek donanımın dış ve iç ünite olmak üzere iki üniteye ayrılmış olmasıdır.) Dış ünite kompresör ve kondanser, iç ünite de evaporatörden meydana gelmiştir. (Pencere tipi klimaların ikiye ayrılmış hali olarak düşünebiliriz.)

İç ve dış ünite arasındaki soğutucu akışkan dolaşımı, izoleli bakır borularla sağlanır.

Split klima sistemi tasarımının ve kullanımının nedeni, kompresör ve kondanser fanını dış ortama yerleştirerek, mahaldeki gürültü düzeyini minimuma indirmek, mahal içinden alınan ısı enerjisini atmosfere kolaylıkla atabilmek, iç ünitenin yerleşiminde yer kazanmak ve mahalın estetik özelliklerinin korunmasını sağlamaktır.

SPLIT KLİMALARIN ÇALIŞMA ŞEKLİ

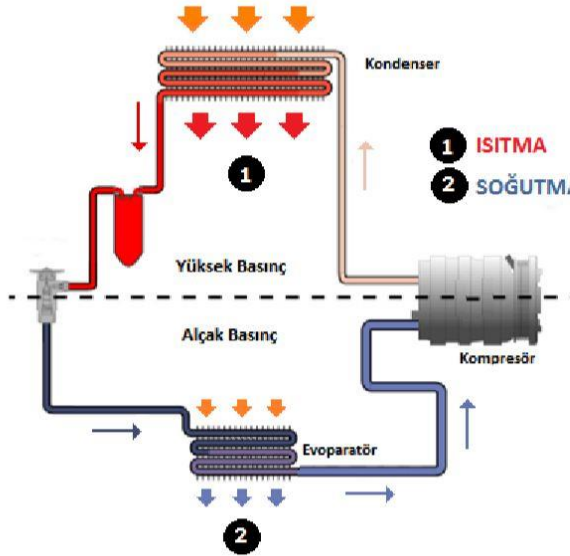


Split Klima Donanımları ve Çalışma Şekli

Split Klimalar, buldukları mahalin iç ortam havasının sirkülasyonu ile çalışır.

İç ünite fanı yardımıyla mahalden emilen hava, evaporatör eşanjöründen geçerken soğur ve gene aynı fan vasıtası ile mahale basılır. Bu cihazların pratik olarak küçük parçacıkları filtrelemeyen ancak yine de parçacıkları toplayabilen kaba filtreleri vardır.

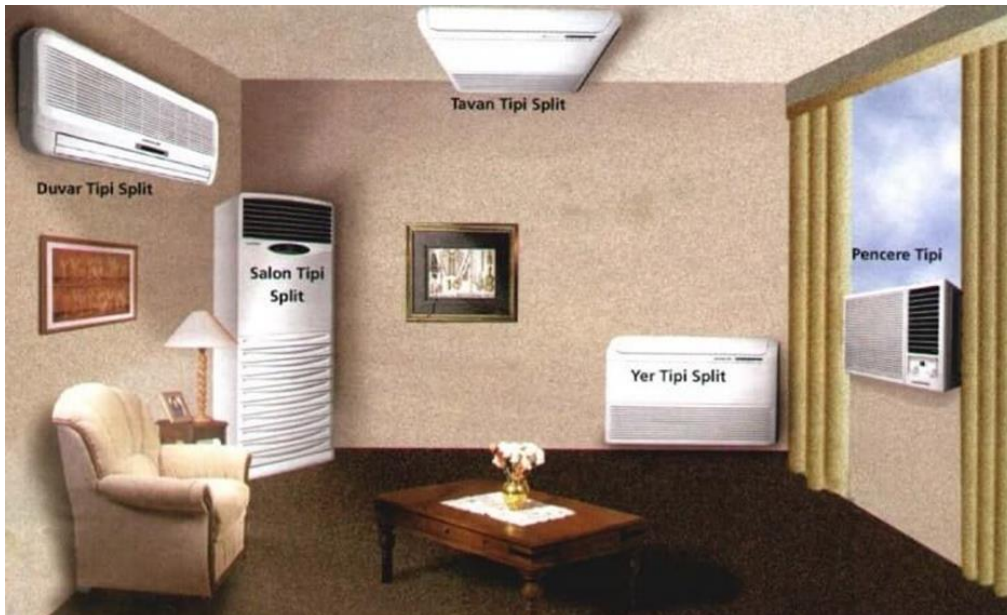
Split klimaların başlıca özellikleri her mekana uygun model sağlayabilmeleri ve sessiz olmalarıdır. Bazı modellerde uzaktan kumanda, zaman ayarı, programlanabilme, nem alma, kapasite kontrolü v.b. ilave fonksiyonlar da mevcuttur.



Heat-Pump Prensipli (Hem Isıtma ve Hem Soğutma Yapan)

Split klimaların (Yalnız Soğutma) işlevli olmalarının yanında; ısıtma seçeneğini (Isı Pompası ve/veya Elektrikli Isıtıcı) de içeren tipleri vardır. Bu tür split klimalar ile; soğutmanın yanı sıra, çok soğuk hava sıcaklığı olmayan zaman ve bölgelerde, ısıtma yapabilmek de mümkündür.

SPLIT KLİMALARIN ÇEŞİTLERİ



1) Mono Split Klimalar

Bir iç ve bir dış üniteden oluşan bu klimalar oldukça düşük ses seviyesinde çalışırlar. İç ünitelerle dış ünite arasında bakır boru, elektrik kablosu, drenaj hortumundan oluşan bağlantı sayesinde, mahalden aldığı ısı enerjisini, dış ünite kondenseri aracılığı ile atmosfere verirler.

a) Salon Tipi Split Klimalar

Özellikle mağaza ve toplantı salonu gibi insan sirkülasyonunun fazla olduğu geniş mekanlar için idealdir. Yüksek hızlı ve güçlü fan sistemleri ile homojen hava dağılımını sağlarlar. Standart olarak ek ısıtıcı takviyelidirler. Bu sayede heat pump ısıtma sistemini destekleyerek düşük dış ortam sıcaklıklarında da sorunsuz çalışırlar.

b) Tavan Tipi (Kaset) Split Klimalar

Otel lobisi ofis restaurant, toplantı odası gibi yüksek kapasite talep eden mekanlar için ideal çözümlerdir. Asma tavanı olan geniş mekanlara uygulanır. Bu tipteki klimalar ile dışa bağlantı yapılarak temiz hava alınabilir. Taze hava kasetli klimanın iç ünitesinin arkasından dışarıya bağlantılı bir hava kanalı ile alınır ve dönüş havası ile karıştırılarak sisteme gönderilir. İki yöne dört yöne üfleme özellikleri sayesinde ortamı homojen olarak havalandırır. Ayrıca büyük bir kısmı tavana gömüldüğü için oldukça estetikdir.

c) Gizli Tavan Tipi Klimalar

Cihaz tavanda bir boşluğa tümüyle gizlenebilir. Duvara, yere yada tavana yerleştirilen dağıtıcılar, sıcak yada soğuk havayı odaya düzenli bir şekilde yayar. Projenin ihtiyaçları doğrultusunda taze hava bağlantısı yapmak mümkündür.

d) Duvar Tipi Split Klimalar

Genellikle, konutlarda, küçük otellerde, küçük ofislerde tavana yakın bölgelere monte edilmek sureti ile, çok fazla yer kaplamadan kullanılırlar.

e) Yer ve Tavan Tipi Klimalar

Hem tavan hem de yere monte edilebilme özellikleri ile bu klimalar mağaza, ofis gibi mekanlar için en ideal montaj ve estetik olanaklarını sunmaktadırlar. Salon tipi klimalarda olduğu gibi yer tipi klimalarda da ek ısıtıcı takviyesi vardır. Uzaktan kumandalı modelleri mevcuttur. Özellikle asma tavanın olmadığı mekanlarda tavana montaj kolaylığı ile hacim ferahlığı sağlar. Mekanın koşullarına göre yerleştirilme imkanı vardır. Estetik ve güçlü üfleme olanaklarıyla ortamın havasını homojen olarak iklimlendirir.

f) Pencere Tipi Klimalar

Tek bir üniteden oluşan ve dış ortamla direk temasta olan, duvara veya pencereye monte edilen klima türüdür. Sistemini oluşturan donanımın (Kompresör, Evaporatör, Fan ve Motor, Kondanser ve Kılcal boruların) hepsi bir ünite içerisindedir. Tarih içerisinde, ilk oluşturulan klima tipi olarak göze çarpmaktadır. Zaman içerisinde geliştirilerek şu an mevcut pencere tipi klima tipine ulaşmıştır.

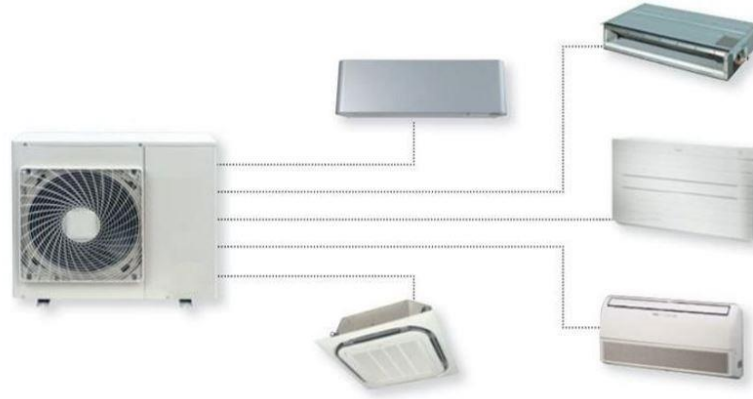
Pencere tipi klima, arzuya göre pencerede yada duvarda bir delik açılarak askı parçaları yardımıyla monte edilir. Klima montajı ideal yüksekliği 1.50 ila 2.00 metre arasındadır. Dış ortam ile direkt temas halinde olduğu için, oda içerisine ihtiyaç duyulduğu zaman taze hava sağlama özelliğine sahip tipleri vardır. Pencere tipi klimalar "Yalnız Soğutma" işlevli olmalarının

yanında ısıtma seçeneği; “Isı Pompası (Heat-Pump) ve/veya “Elektrikli Isıtıcı” olarak temin edilebilmektedir.

2) Multi Split Klimalar

Multi split klima sistemlerinde, bir dış üniteye bağlı birden fazla iç ünite bulunur. Böylelikle bir kompresör ve kondenser, birden fazla mahal için hizmet verir.

Birbirinden bağımsız birden fazla mahalın iklimlendirme ihtiyacının olduğu ve yük ihtiyacının sürekli değiştiği otel, hastane, ofis, restoran, mağaza, tiyatro, sinema gibi yapılar, cam giydirme cephe binalar, mimari unsurların ön planda olduğu yada dış cephesinde deformasyon istenmeyen tarihi yapılarda tercih edilirler.



Bina içinde soğutucu gaz borularına göre çok büyük yer kaplayan hava kanallarının geçirilmesinin zor olduğu yapılarda, mekanik tesisat için yeterince yer ayrılamayan, kondenser ve kompresörün açık havaya (çatı, bahçe v.b.) konulması gereken yapılarda, her noktasında konfor istenen villalar ve ayrı bölümlerindeki kiracı gruplarının kendilerine özel iklimlendirme faturası istediği iş merkezi ve küçük ölçekli plazalarda, işletme maliyetinin düşük olmasının istendiği tüm projelerde Multi split klima sistemleri kullanılabilir.

3) Portatif (Mobil) Klimalar

Portatif klimanın çalışması; pratik olarak tasarlanmış ve taşınabilme özelliğinden dolayı klimanın sabit bir yerde soğutma yapması zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Portatif klimalar bir odadan diğerine tekerlekli yapısı sayesinde kolaylıkla taşınabileceği gibi oda içinde de esnek ve bükülebilen hortumlarının müsaade ettiği ölçüde hareket ettirilebilirler. Portatif klimaların üç tipi mevcuttur:

a) Mono blok portatif klimalar

Mono blok portatif klimalarda ısının içerden dışarıya taşınabilmesi için yaklaşık 100 mm çapında spiral borunun ağzının pencere, duvar veya bacadan dışarıya çıkartılması gereklidir. Soğutma esnasında açığa çıkan nem cihaz içindeki su toplama tankında toplanır. Tankın doldurulması ile cihaz kendiliğinden durur. Cihazın tekrar çalışabilmesi için, bu suyun boşaltılıp tankın yerine takılması gerekir. Bu tiplerde kondanseri, evaporatör, kompresör bir ünite içindedir.

b) Kondanseri ayrılabilen tip portatif klimalar

Kondanseri ayrılabilen tip portatif klimalar da, split klimalar da olduğu gibi iç ve dış olmak üzere iki ünite vardır ve bu üniteler birbirlerine kıvrılabilen bir boru demeti ile bağlıdır. Bu tiplerde

kondansör ayrılarak dış mekana asılır. İç ünite de kompresör ve evaporatör aynı gövdeye monte edilmiştir.

c) Portatif split klimalar

Portatif split klimalar da diğer split klimalar gibi kompresör ve kondansör dışı üniteyi evaporatör de iç üniteyi oluşturur. bu cihazların tek farklılıkları gaz borularının takılıp sökülebilir olmaları ve bu işlem için herhangi bir takıma ve teknisyene gerek olmamasıdır. Mono blok ve kondanseri ayrı tip portatif klimalar kompresörün iç ünite de olmasından dolayı aynı güçteki split cihazlardan biraz daha sesli çalışırlar.

PANDEMİ ŞARTLARINDA SPLIT KLİMALARIN KULLANIMI

Split klimalar, mahal içinden aldığı havayı iklimlendirerek gene aynı mahal içine geri verdiği için, var ise mahal havası içinde mevcut virüslerin askıda kalmasına ve hava sirkülasyonu ile, mahal içinde dolaşmasına sebep olurlar.

Split klimalar kapatıldıklarında, mahal içindeki virüsler yere çökse dahi, tekrar çalıştırıldıklarında virüsler, klima hava fanının yarattığı hava akımları ile yerden kalkıp mahal içinde dolaşmaya başlarlar.

Bu da virüsün, mahal içindeki kişilere ulaşmasına ve bulaşma neden olur.

Split klimaların, Covid-19 Pandemi şartlarında yaz mevsiminde soğutma ve kış mevsiminde ısıtma amacı ile çalıştırılmaları, **kullanım yerlerine** bağlı olarak ele alınmalıdır.

1. Bireysel veya İnsan Bulunmayan Mahallerde Kullanım

a. Kişiyeye özel ofis alanları ve konutlar bireysel kullanım olduğu için split klimalar iklimlendirme için çalıştırılabilir.

Ziyaretçi gelmesi durumunda iç ünite cihazı durdurulmalıdır. Pencereler açılıyorsa ziyaretçi gelmeden önce cam açılarak doğal havalandırma sağlanmalıdır. Ziyaretçinin ayrılmasını takiben, mahal havası **en az 5 çevrim** değişecek şekilde doğal havalandırma yapıldıktan sonra yeniden çalıştırılmalıdır.

Mahal tipi hava temizleme cihazı kullanılması durumunda oda havasını **saatte 5 çevrim** filtreleyen tipte seçilerek sürekli çalıştırılacaktır.

b. Otel Odalarında bireysel veya birlikte yaşayan kişiler tarafından kullanım söz konusu olduğu için, split klimalar, misafir kabulü öncesinde uygun şekilde dezenfeksiyon işlemi yapılarak çalıştırılabilir.

Dezenfeksiyon işlemi her müşteri değiştirmede tüm oda ve cihazlar için yapılmalıdır.

Otel odasını kullananlar dışında, housekeeping, oda servisi, teknik servis vb. kişilerin odaya girmesi durumunda müşteri değiştirmede yapıldığı gibi dezenfeksiyon işlemi mutlaka yeniden yapılmalıdır.

c. Server odası, UPS odası, IT bilgi işlem odaları, asansör odaları, baz istasyonları elektrik dağıtım odası ve panoları v.b. içeride çalışan bulunmayan mekanlardaki iç üniteler, çalıştırılmaya devam edilebilir.

2. Birden Fazla Kişinin Bulunduğu Mahallerde Kullanım

- a. İş yerleri, ofisler, mağazalar, marketler, kuaförler, spor salonları, otel ve gösteri mekanlarının ortak alanları, banka şubeleri, v.b. **birden fazla kişinin bulunduğu veya kalabalık mahallerde split klimalar çalıştırılmamalıdır.**

ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ev veya ticari ortamlarda bireysel olarak kullanılan iç üniteler Pandem senaryosu kapsamında kullanılabilir.

Salon tip ürünlerin fan kama atış mesafeleri yüksek olması ve yatay olarak üfleme yapmalarından dolayı kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Kanallı tip iç üniteler Ortak hacimlerin havalandırılmasında primer hava desteği ile kullanılabilir. Primer hava desteği olmayan ve Ortak hacimlerin klimatizasyonunda kullanılan iç ünitelerin kullanılmaması tavsiye edilmektedir.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için iç ortamların mümkün olan en üst seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan iç ünite sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedariği için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Filtre verimliliğinin artırılması			X
2	UV lamba kullanılması	X	X	X

1. FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

İç ünite filtreleri ağırlıklı olarak küçük boyutlardaki partiküller tutma yönünde tesis edilmiş filtreler değildir. Amacı fana zarar verecek boyutta veya sürekli kullanımda bataryaların tıkanmasına sebebiyet verecek boyutta kaba toz partiküllerin tutulması yönünde filtreler kullanılmaktadır.

Bu filtreler kesinlikle virüs boyutundaki partiküllerin yakalanması amacına hizmet edemez. Bu amaç ile kullanılacak Hepa, Ulpal kalite sınıftaki filtreler ise Fan coil fanlarının yenmesi mümkün olmayan boyutlarda hava tarafı dirençler oluşturduğundan bu cihazlarda kullanımı çok mümkün değildir.

Bazı iç ünitelerde toz filtreler ile birlikte aktif Karbon filtre, flash stream veya plazma tip filtreler kullanılmaktadır.

Daha verimli filtre sınıflarının kullanılması iç hava kalitesini arttıracaktır. Fakat filtre sınıfları arttıkça basınç kayıpları arttırılacağı için sistemin bu basınç kayıplarının karşılayıp karşılayamayacağı mutlaka uygulamadan önce kontrol edilmelidir.

2. UV-C LAMBA

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
- İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
- Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.
- Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.

UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;

- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

Bakım

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

1. Genel

- İç ve dış ünitenin hasarsız olduğunu kontrol edin.
- Gaz bağlantı hattı ve izolasyonlarını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Drenaj hattını (ezik, yırtık, aşınma vb) kontrol edin
- Elektrik tesisatı ve bağlantılarını kontrol edin
- Topraklama bağlantılarını kontrol edin

2. İç Ünite

2.1. Flap kısımlarının muayenesi

- kirlenme kontrolü yapıp gerekirse kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.

2.2. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.

2.3. Fan

2.3.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

2.10. İç ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

2.10. Yoğuşma (Drenaj) Tavası

- Yoğuşma tavasında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız
- Drenaj hattının temizliği kontrol edilmelidir. Tıkanıklık varsa açılmalıdır. Eğer drenaj pompası varsa pompanın temizliği de ihmal edilmemelidir.

Kanallı tip iç ünite

2.4. Esnek Bağlantılar (Kanallı içi üniteler)

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

2.7. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrelerin temizliğini sağlayın.
- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtreleri mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

2.9. Isıtıcılar (Kanallı tip)

2.9.2. Elektrikli Isıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

2.10. UV Lamba

- UV lamba kullanımını için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - o Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - o Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin

3. Dış Ünite

3.1. Fan

3.1.1 Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balansızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa değiştiriniz.

3.2. Dış ünite Serpantin

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın

EK -6-

PANDEMİ DÖNEMİNDE SU KAYNAKLI ISI POMPASI CİHAZLARIN KULLANIMI VE BAKIMLARI

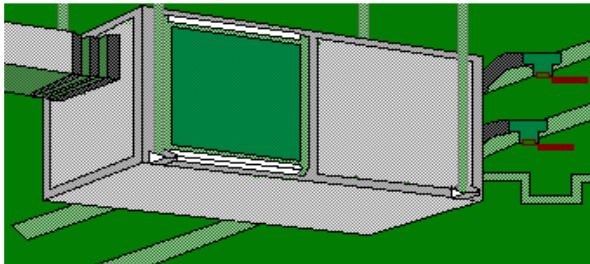
GİRİŞ:

Bu yazıda AVM'lerde, Ofislerde, daha çok Shell&Core binalarda kullanılan mağaza, ofis ve bazı yerlerde koridor ve genel hacimlere hitap eden Su Kaynaklı Isı Pompası'nın Pandemi döneminde Covid-19 kapsamında yapılması gereken değişiklikler, işletme ve bakım gereksinimleri üzerinde durulacaktır.

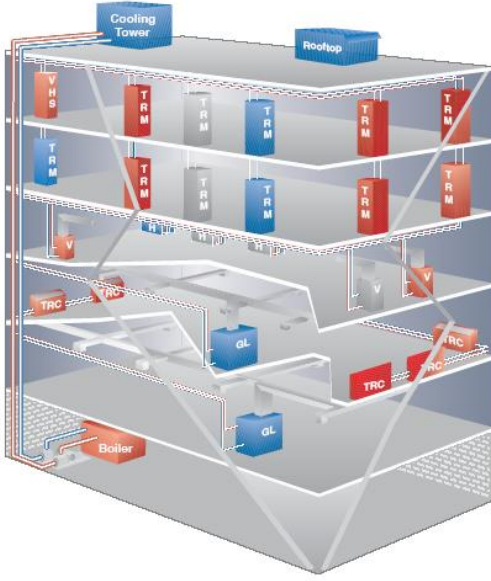
Bu işletme ve bakım talimatı, Mevcut Binalarda İklimlendirme Sistemleri İşletme ve Bakım Prosedürü'ndeki açıklamalar ile birlikte değerlendirilmelidir.

SU KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİ:

Su kaynaklı Isı pompaları evaporatörü, fanı, kompresörü, 4 yollu gaz çevrim vanası, elektrik panosu, hava filtresi ve su soğutmalı kondenseri olan paket cihazdır. Her bir ünite bağlı olduğu termostattan aldığı ısıtma ya da soğutma isteğine göre çalışarak, mahalde istenilen soğutma veya ısıtmayı gerçekleştirir.



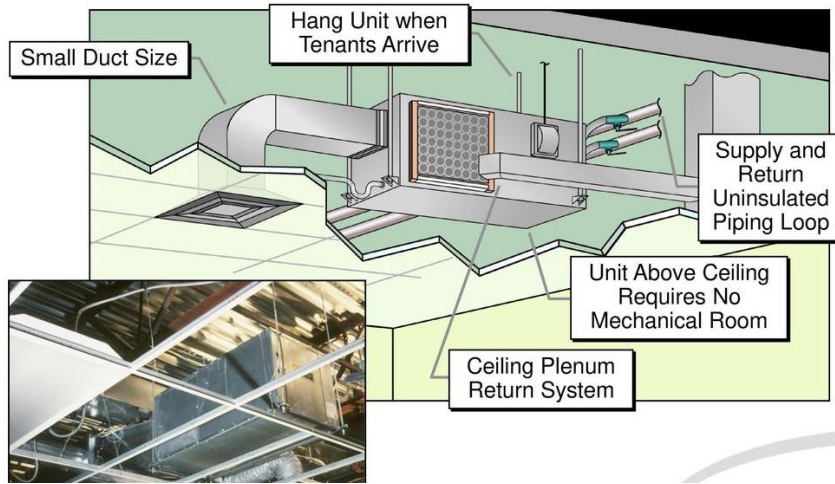
Soğutma ve ısıtma esnasındaki ısı alışverişi cihazın kondenslerinden geçen suya aktarılır. Kapalı çevrim (loop) hattındaki su belli bir denge sıcaklık aralığında tutulmakta (örn; 20-30°C), (30°C) üzerine çıktığında soğutma kulesi, kışın ise (20°C) altına düştüğünde kazan devreye girerek denge sıcaklığına ulaşmasını sağlamaktadır. AVM /Ofis gibi aynı anda ısıtma soğutma ihtiyacı olan yerlerde, wshp cihazlar loop üzerinde enerji paylaşımı yaparak ısı geri kazanım yapar ve çevrim sıcaklığı 20-30°C arasında kalır, bu zamanlarda kule/kazan devreye girmez.



▪ Mahallerin İklimlendirilmesi

Su Kaynaklı Isı Pompaları iç havayı çevirerek tekrar ortama veren dönüş havasıyla çalışan ve iç ortamda kullanılan ünitelerdir. Merkezi taze hava santralinden veya rooftop ünitelerden gelen taze hava, ısı pompalarının dönüş havası aldığı kısma verilerek, dönüş havasıyla karıştırılarak mahale gönderilmektedir.

Taze hava oranı genel olarak ısı pompası hava debisinin %25-30'i mertebelerindedir.



ORTAK HACİMLERİN HAVALANDIRILMASI:

Ortak hacimlerin havalandırılmasında primer hava + su kaynaklı ısı pompası sistemi kullanılabilir.

Bir çok kuruluş tarafından Covid-19 riskini minimuma indirmek için iç ortamların mümkün olan en üst seviyede dış ortam havası ile havalandırılması tavsiye edilmektedir.

Bu noktadan hareketle sadece camı açarak yapılacak havalandırma sistemine göre, mekanik havalandırma ve hava koşullandırma sistemleri dış ortam havasını aynı zamanda filtre ettikleri için çok daha verimli sonuç vereceklerdir.

Bu bağlamda varolan havalandırma sistemlerinde iç ortamlara maksimum dış hava tedarigi için bazı yönetsel müdahaleler yapmak gerekmektedir.

No	Açıklama	Kontrol Sistemi	Bakım Ekibi	Fiziki Değişiklikler
1	Hava Debisinin Arttırılması	X	X	X
2	Daha fazla taze hava alacak şekilde çalıştırılması	X	X	X
3	Bağıl nemin %40- 60 arasında tutulması	X		X
4	Havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması (24 saat)	X		
5	Filtre verimliğinin arttırılması			X
6	UV lamba uygulaması	X	X	X

1.HAVA DEBİSİNİN ARTIRILMASI:

Hava debisinin arttırılması fan hızının arttırılmasıyla sağlanabilir. Bunun için fan ve motor çalışma limitleri, filtre ve soğutucu batarya hava hızı limitleri göz önünde bulundurularak;

- Motor tipine bağlı olarak motor devir hızları sargı bağlantıları üzerinden değiştirilerek sağlanabilir.

Su Kaynaklı Isı Pompası sistemiyle filtre edilerek ortama verilen taze havaya ilave olarak havanın süpürülmesi de önemlidir. Mümkün olduğu miktarda karşılıklı esinti yapacak şekilde açıklıklardan (pencere, kapı vb) faydalanmak yöntemiyle havanın süpürülmesiyle havada asılı bulunan partiküllerin dışarıya atılması sağlanacaktır.

2.TAZE HAVA

Primer Hava + Su Kaynaklı Isı Pompası sistemlerinde taze hava oranı kontrol edilmeli , primer havanın doğru sağlandığından emin olunmalıdır.

Taze hava uygulaması olmayan sistemlerde mahallerin sık sık havalandırılması gerekir. Bu durumda Su Kaynaklı Isı Pompalarının tedbir alınmadan çalıştırılmaması gerekir.

Isı pompasının konulacağı yerde taze hava emiş imkânı varsa dönüş havası kanalına taze hava bağlantısı yapılabilir.

Free cooling modüllü ısı pompalarında cihazın çalışma limitleri aralığında taze hava damperi en yüksek seviye kadar açılmalıdır.

3.BAĞIL NEMİN %40-%60 ARASINDA TUTULMASI

Düşük nem, mukoza membranlarını kurutarak virüslere karşı yerine getirdiği bariyer görevinin zayıflatılmasına veya ortadan kalkmasına sebep olur.

Oda havasının **22-30 °C** ve bağıl nemin de **%40-60** Aralığında kalması virüs yayılımının düşük seviyede kalması için önemlidir. Ayrıca bu şartların dışında kalan değerler insan vücut direncinin zayıflamasına neden olacaktır.

Taze hava uygulaması olmayan sistemlerde mahallerin sık sık havalandırılması gerekir ve önemlidir.

4.HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN SÜREKLİ ÇALIŞTIRILMASI (24 SAAT)

İşletmenin kapalı olduğu saatlerde, havada asılı kalan bulaşın seyreltilmesi amacı ile havalandırma sisteminin sürekli çalıştırılması tavsiye edilir.

Havalandırma sisteminin 24 saat çalıştıramadığı durumlarda ise, bina kullanım süresinden en az 2 saat önce nominal hızda su kaynaklı ısı pompalarını başlatmak için sistem zamanlayıcılarının saat zamanlarının değiştirilmesi ve bina kullanım süresinden 2 saat sonra en düşük fan devrinde sürekli olarak çalıştırılması tavsiye edilir.

5.FİLTRE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Su Kaynaklı Isı Pompası cihazlarında filtreler ağırlıklı olarak küçük boyutlardaki partiküller tutma yönünde tesis edilmiş filtreler değildir. Amacı fana zarar (balans vb) verecek boyutta veya sürekli kullanımda bataryaların tıkanmasına sebebiyet verecek boyutta kaba toz partiküllerin tutulması yönünde filtreler kullanılmaktadır.

Mevcut cihaz ve sistemlerde HEPA Filtre kullanılarak, hava sirkülasyon yönleri kontrol edilerek, bulaş riski minimum seviyede tutulacak şekilde bu cihazlar kullanılabilir. HEPA filtre kullanılması durumunda fan basıncı kontrol edilmeli ve gerekli önlemler alınmalıdır. Ayrıca gürültü seviyesi gürültü yönetmeliği şartlarını sağlamalıdır.

6. UV-C LAMBA UYGULAMASI

Sistemlerde UV-C lambalar aşağıdaki koşulların tamamı sağlanarak kullanılabilir;

- Ulusal ve uluslararası standartlara uygun olmalıdır.
- İnsan sağlığına zarar vermeyecek şekilde tedbirler alınmış olmalıdır.
- Virüsleri yok edecek şekilde gerekli süre ve şiddette uygulanmalıdır.

- Kullanılacak lambaların ışınım maruziyet şiddeti ve maruziyet süresi konusunda yapılan bilimsel çalışmaların takibi sonrası belgelenmiş olmalıdır.
UV-C lambalar kullanıldığı takdirde aşağıdaki kurallara uyulmalıdır;
- Üretici firmanın önerdiği lamba etkin kullanım ömrü için takip prosedürü oluşturulmalıdır.
- Lamba ömrü zaman saati ile izlenmeli, etkinlik süresi dolanlar değiştirilmeli ve atık prosedürüne uygun olarak uzaklaştırılmalıdır.

Bakım

BAKIM VE ÇALIŞTIRMA TALİMATLARI

WSHP cihazlarında özellikle gizli tip modellerde bakım kapakları önemli bir gerekliliktir. Tavanda veya duvarda fancoil ürününe rahatça ulaşarak gerekli bakımların yapılabileceği müdahale kapaklarının bulunması gereklidir. Ulaşım ne kadar kolay ise bakımlar ve denetim o kadar kolay ve sağlıklı yapılabilecektir.

1. Genel

- WSHP panellerinin yerinde, hasarsız olduğunu kontrol edin.

2. Gövde Panelleri

a) Panel ve tüm kuru kısımların içten muayenesi

- Kirleri sulu banyo sabun çözeltisi kullanarak temizleyiniz ve durulmasını sağlayınız.
- Boya son katlarındaki hasarları gerekirse pası temizledikten sonra, pas önleyici astar üzerine bir kat kaliteli boya vurmak suretiyle rötuş yapınız.

b) Kaplamanın dıştan muayenesi

- Boyada hasar görüldüğü takdirde, gerekirse pasını söküp bilahare kaliteli aşındırma önleyici astar ve son kat boya ile rötuş yapınız.

3. Kapak ve Erişim Kapakları

- Tüm kapak ve erişim kapakları üzerindeki kilitleri ve menteşeleri kontrol ediniz. Hasarlı olanları onarınız veya yenisi ile değiştiriniz. Sızdırmazlık için gerekli tedbirleri alınız.

4. Esnek Bağlantılar

- Esnek bağlantılarda hasar kontrolü yapınız. Kopmuş, yıpranmış veya yırtıldığı için hava sızdıran bağlantıları yenisi ile değiştirin.

5. Topraklama

- Ünitenin topraklanmasının ve kurulumunun düzgün şekilde yapıldığından emin olunuz.

6. Dış Hava Girişi

- Dış hava giriş bölümünü iyice temizleyip, varsa tespit edeceğiniz hasarları gideriniz.

7. Hava Filtreleri

- Filtrelerin yerleşimlerini, kızakların pas, kirlilik ve hasar durumlarının kontrollerini yapınız.
- Yandan sürme filtreler takılıysa, bunların doğru şekilde yerleştirilip iyice oturacak şekilde birbirlerine doğru itirilmiş olmasını temin ediniz.
- Önden sürme filtreleri değiştirirken filtrenin contasına iyice oturtulması ve filtrenin sızıntıya izin vermeyecek şekilde sıkıştırılması gerekir.
- En az üretici tarafından verilen periyotlarda filtreleri temizleyiniz. Temizlik takvimi kullanılan filtrenin cinsine, niteliğine ve ortam havasının kirlilik düzeyine bağlı olarak üreticinin tavsiyesinden farklılık gösterebilir. Bu durumda kendi takviminizi oluşturun.
- Kirlenmiş filtre üzerindeki basınç kaybı, bir basınç farkı göstergesi yardımıyla ölçülebilir. Bina Otomasyon Sistemi veya fark basınç göstergesi verilerine bakarak filtrelerin temizliğini sağlayın.
- Artık görevini yerine getiremeyen patlak, yırtık filtreleri mutlaka uygun sınıfta bir filtre ile değiştirin.

8. Isıtıcılar

8.1. Elektrikli Isıtıcılar

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürgeyle yapı içerisindeki kir çekilmek suretiyle temizleyin.
- Kumanda kutusu içi bağlantıları kontrol ediniz.
- Termostatın çalışmasını kontrol ediniz.

9. Soğutma ve Isıtma bataryaları

- Üretici tavsiyesine uygun periyotlarda kirlenme kontrolü yapın ve gerekirse elektrikli süpürge kullanılarak temizleyin.
- Serpantin yüzeyleri aşırı kirli durumlarda uygun kimyasallar ile yıkama ve durulama işlemini yapın
- Giriş ve çıkış bağlantılarını ve vanalarını dışarıdan kontrol edin, fonksiyonlarını yerine getirdiğinden emin olun.
- Sifonu temizleyip düzgün çalıştığından emin olunuz.
- Yoğuşma tavaında kirlenme kontrolü yapıp gerekirse temizleyiniz.
- Aşınma ve sızdırmazlık kontrolünü yapınız
- Drenaj hattının temizliği kontrol edilmelidir. Tıkanıklık varsa açılmalıdır. Eğer drenaj pompası varsa pompanın temizliği de ihmal edilmemelidir.
- Cihazın su girişindeki pislik tutucu filtre sökülüp temizlenmelidir. Cihazın eşanjöründe oluşabilecek çamurlaşmaya karşı tersten su boşaltılmalıdır.

10. Fan

10.1. Genel

Uyarı

Hava akımı sabit kısımların hareket etmesine sebebiyet verebilir (fan kapalı olsa bile).

Uyarı

Fan üzerinde çalışma yapıldığı sırada enerjinin kesildiğinden emin olunuz.

- Motor kablo bağlantılarının yapıldığı terminal kutusunun izolasyonunu kontrol ediniz. Kutunun içinde nem olmamalıdır.
- Fanın kirlilik, hasar, korozyon veya bağlantıları kontrol ediniz.
- Fan çarkına balanssızlık, titreşim kontrolü yapınız, gerekiyorsa balans yaptırınız.
- Fana ait yatakları ses, titreşim ve ısı yönünden inceleyiniz.
- Fanlara ait esnek bağlantıları kaçak, yırtık vb. için kontrol ediniz, elektrikli süpürge ile temizliğini yapınız.
- Fanın güvenlik ekipmanlarını çalışma kontrollerini yapınız, görevini tam olarak yerine getirmeyen ekipmanı yenisi ile değiştiriniz.
- Fan davlumbazlarının hasar, korozyon ve kirlenme kontrolünü yapıp gerekirse temizleyiniz.

11. Güç iletimi

- Üniteyi devreye aldıktan veya kayışları değiştirdikten sonra, kayış gerginlikleri bir hafta içerisinde ve bilahare iki haftada bir kontrol edin, gerekirse tekrar gerin.
- Bunun ardından kayış gerginlikleri ve kayışlarda genel durum kontrolleri üç ayda bir tekrarlayın.

12. Motor

- Motoru kirlilik, hasar, korozyon, gövde bağlantıları, rahat çalışma, sıcaklık seviyesi ve dönüş yönü kontrolünü sağlayın.
- Motor yataklarını ses, sıcaklık ve ses yönünden gözden geçirin.

13. UV Lamba

- UV lamba kullanımı için emniyet tedbirleri alınmış mı
 - Lamba hücresi güç kesici emniyet şalteri aktif mi
 - Sızdırmazlığı kontrol et, dışarıya herhangi bir ışık sızması varmı
- Lambalar sağlam mı, kırık veya çatlak varmı
- Lamba/lambalar üzerinde kirlilik var mı, var ise üretici firma tavsiyeleri doğrultusunda yada alkollü bezle temizleyin
- Lamba ekipman ve güç bağlantılarını kontrol edin

14. Pandemi Seneryosunda Kullanım/ Otomasyon

- WSHP otomasyona bağlı ise bağlantıları ve haberleşmeyi kontrol et,
- WSHP pandemi döneminde aktif kullanılıp kullanılmadığını kontrol et
- Fan hızı minimum seviyede olacak şekilde ayarla, otomasyon üzerinden kontrol et

15 Fark basınç su ve hava tarafında kontrol edilmeli

EK-7

BINALAR İÇİN SIHHİ TESİSAT KONTROL TABLOSU:			
		EVET	HAYIR
	WC BÖLÜMÜ		
1	LAVABOLAR *1		
1.1.	FOTOSELLİ Mİ ÇALIŞIYOR MU		
1.2.	AYAK KUMANDALI MI ÇALIŞIYOR MU		
1.3	DİZ KUMANDALI MI ÇALIŞIYOR MU		
2	FOTOSELLİ DETERJAN HAZNESİ DOLU MU ÇALIŞIYOR MU		
3	KÂĞIT HAVLULUK DOLU MU ÇALIŞIYOR MU *2		
4	FOTOSELLİ DEZENFEKSİYON CİHAZI DOLU MU ÇALIŞIYOR MU		
5	AYAKLI DEZENFEKSİYON CİHAZI DOLU MU ÇALIŞIYOR MU		
6	ATIK KUTULARI, SIZDIRMAZ KAPAKLI (pandemi atıkları)		
7	YER IZGARLARI VE SÜZGEÇLERİNDE SU DOLU MU *3		
8	WC OTOMATİK KAPISI ÇALIŞIYOR MU *4		
9	WC EGZOS FANI ÇALIŞIYOR MU *5		
10	ALATURKA TUVALETLER UYGUN HALE GETİRİLMİŞ Mİ (Kullanılıyorsa) *6		
11	ALAFRANGA TUVALETLER UYGUN HALE GETİRİLMİŞ Mİ *7		
	YEMEK ALANLARI:		
1	MUTFAKLAR – HER GİRİŞ KISMINDA EL YIKAMA EVİYESİ VAR MI ÇALIŞIYOR MU		
2	ÇÖP ÇIKIŞ NOKTALARINDA EL YIKAMA EVİYESİ VAR MI ÇALIŞIYOR MU		
3	KAPI GENİŞLİĞİNDE YER IZGARASINDA DEZENFEKTAN + SU DOLU MU		
4	DAVLUMBAZ HAVALANDIRMASI ÇALIŞIYOR MU *8		
5	MUTFAK GİRİŞLERİNDE HİJYENİK PAS PAS KONULMUŞ MU *9		

*1 WC'lerde Lavabo bataryaları, pisuar muslukları, sıvı sabunluklar el değmeden (fotoselli, dizden, ayakla kumandalı) çalışmalıdır.

*2 Hava ile çalışan el kurutma sistemler kapatılacak ve kullan at kağıt havlular kullanılacaktır.

*3 Yer sifonlarına sürekli su ilave edilmeli, süzgeçlerin kuru kalması engellenmelidir. Su tutmayan sifonlar kapatılmalıdır.

*4 Kapılar el değmeden açılacak şekilde çalışacaktır

*5 WC aspiratörleri 7/24 kesintisiz çalıştırılmalıdır. WC'lerde negatif basınç sağlanmalıdır

*6 Alaturka WC'lerde hijyen anlamında özel tedbir alınmalı veya kullanıma kapatılmalıdır.

*7 Alatfranga WC'lerde, sifonu çekmeden önce klozet kapakları kapatılmalıdır. Klozet kapağı kapatılmadan sifonun çalışmayacağı bir düzenek yapılması tavsiye edilir.

*8 Pişirme ünitelerinin üzerindeki davlumbazlar her gün kullanımı bittikten sonra ilgili bakanlık pandemi yönergelerine göre dezenfekte edilmelidir.

*9 Mutfak girişinde hijyenik paspas oluşturulmalıdır.



YAPI KABUĞU BİD – YKBİD

Building Enclosure (Envelope) Commissioning - BECx

Azemet Candemir

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; özellikle ülkemiz inşaat sektöründe, yapılarda “Commissioning – Cx” olarak bilinen ve bu bildiriye Türkçe “Belgeleme, İletişim, Doğrulama - BİD” olarak atıfta bulunulacak prosesin aslen önemli bir bacağı olan fakat, genel olarak tesisat (mekanik ve elektrik) işleri ve sistemleri kapsamında değerlendirilmediği için yaygın olarak uygulanmayan yapı kabuğu BİD (commissioning) işleri hakkında genel bir bilgilendirme yapmak ve tüm ilgili sektör paydaşlarının bu kapsamla ilgili bilinçlendirilmesinde katkı sağlamaktır.

1. TERİMLER VE KISALTMALAR

Bu bildiriye kullanılan bazı teknik terimlerin Türkçe karşılıklarının seçiminde, TTMD (Türk Tesisat Mühendisleri Derneği) tarafından 15-16 Kasım 2019 tarihlerinde düzenlenen Cx “Commissioning” Çalıştayı süreci ve sonrasında yapılan değerlendirmeler neticesinde Kasım 2020’de yayınlanan sonuç bildirisinde belirtilen tanımlamalar referans olarak kullanılmıştır. Terimlerin Uluslararası platformda yaygın kullanılan İngilizce karşılıkları da ayrıca belirtilmiştir.

BİD : Belgeleme, İletişim, Doğrulama (ENG: Commissioning – Cx)

YKBİD : Yapı Kabuğu Belgeleme, İletişim, Doğrulama (ENG: Building Enclosure (Envelope) Commissioning – BECx)

TT : Tasarım Temelleri (ENG: Basis of design – BoD)

İPİ : İşveren Proje İstekleri (ENG: Owner’s Project Requirements - OPR)

PT : Performans Testi (ENG: Functional Performance Test – FPT veya Functional Test - FT)

2. YAPI (BİNA) KABUĞU NEDİR?

Genel olarak yapıların iklimlendirilmiş ve şartlandırılmış iç mahalleri ile dış ortamı ayıran, toprak altı ve üstü dahil aşağıda listelenen yatay ve dikeyde teşkil edilen her türlü bariyer ve kontrol katmanları yapı kabuğu olarak nitelendirilmektedir:

- Su, hava, nem bariyer ve kontrol katmanları
- Termal bariyer ve kontrol katmanları
- Gün ışığı, optik, solar, radyasyon bariyer ve kontrol katmanları
- Akustik, ses, gürültü, titreşim bariyer ve kontrol katmanları
- Yangın dayanımı bariyer ve kontrol katmanları
- Güvenlik, patlamaya karşı dayanıklılık sağlayan bariyer ve kontrol katmanları

Bu performans kriterlerinin özelliklerine göre bazı durumlarda yapısal elemanlar da yapı kabuğu kapsamında değerlendirilmektedir. Bu çalışmada YKBİD kapsamında referans olarak kabul edilen tüm kılavuz ve standartlar ağırlıklı olarak yukarıda listelenen ilk iki başlıkta belirtilen kriterlerin (su, hava, nem, termal) kontrolü üzerinde yoğunlaşmıştır.

Yapı Kabuğu terimi, IECC (International Energy Conservation Code) kapsamında tarif edilen “Bina Termal Kabuğu” (Building Thermal Envelope) ile karıştırılmamalıdır fakat IECC tarafından tarif edilen termal kabuk tanımını da kapsamaktadır.

3. YAPI KABUĞU NEDEN ÖNEMLİDİR?

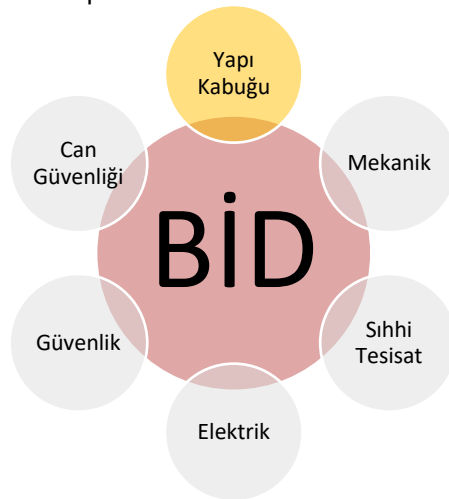
Gelişen inşaat teknolojisi ve günümüz mimari trendler doğrultusunda yapıların kabuğunu etkileyen karmaşık ve zor yapısal, cephe ve çatı tasarımları ile karşı karşıya geliyoruz. Bu durum da beraberinde bazı yeni riskler getirmektedir.

İnşaat sektörü geçmişinde hak ettiği önemi maalesef bulamayan yapı kabuğu uygulamalarında yapılan tasarım ve uygulama hataları ile yanlış/eksik malzeme seçimleri sonucunda karşı karşıya kalınabilecek temel sorunlar aşağıda listelenmiştir:

- Bina kullanımı ve işletmesi sırasında yaşanacak fonksiyonel bazı zorluklar.
- Bakım ve işletme maliyetlerin aşırı artması.
- Bina ömrünün azalması
- Bina kullanıcılarının konfor (sıcaklık kontrolü, gürültü vs) şartlarının olumsuz etkilenmesi.
- Bazı durumlarda bina kullanıcılarının sağlığını olumsuz etkileyebilecek durumların oluşması.
- Çevre sağlığı ve enerji tasarrufu konusunda olumsuz etkiler, düşük enerji verimlilikleri.
- Güvenlik zafiyetleri
- Estetik ve görsel unsurlarda yaşanan olumsuzluklar
- Yapılan hataların tamirat ve geri dönüşlerinin oldukça maliyetli olması, bazı durumlarda telafisi mümkün olmayan hatalı uygulamalarla yaşamak zorunda kalmak.
- Tüm bu olumsuzlukların beraberinde getireceği potansiyel hukuki davalar ve yaşanacak mağduriyetler.

4. YKBİD (BECX) NEDİR?

YKBİD, yapı kabuğu ile ilgili İşveren Proje İstekleri (İPİ) hazırlığı ile başlayıp, devamında yapı kabuğu ile ilgili tüm uygulamaların İşveren Proje İstekleri (İPİ) ve Tasarım Temelleri (TT) doğrultusunda gerekli Performans Testlerinin (PT) yapıldığının sağlanması ile, süreç içerisinde gereken her türlü belgeleme, iletişim ve doğrulama işlerini kapsar.





YKBİD hizmetleri ile münferit yapı kabuğu imalat kalemleri bazında hizmet veren danışmanlık hizmetleri karıştırılmamalıdır. YKBİD ve yapı kabuğu işleri danışmanlık hizmetleri arasında temel farklar aşağıda listelenmiştir.

YKBİD hizmetleri	YK Danışmanlık hizmetleri
✓ Gerçek pratik uygulamalara ve reel şartlara dayanır	✓ Standartlara dayanır
✓ Daha fazla ölçüm yapılır	✓ Nispeten daha az ölçüm yapılır
✓ Başından sonuna kadar resmi bir süreçtir	✓ Talebe ve ihtiyaca göre münferit ve kısa süreli bir hizmet olabilir
✓ Performansa dayalıdır	✓ Sorumluluğun azaltılmasına dayalıdır

5. YKBİD FAYDALARI NELERDİR?

Yapı kabuğu BİD sürecinin temel faydaları aşağıda özetlenmiştir:

- Binanın genel performansının artırılmasına katkı sağlar.
- Binanın dayanımının ve ömrünün artmasına katkı sağlar.
- Kullanıcı konforunun artmasına katkı sağlar.
- Binanın tasarlandığı şekilde yapıldığının ölçülmesini ve kontrolünü sağlar.
- Yapılan yatırımın daha hızlı geri dönüşünü sağlar.
- Model, prototip ve numuneler üzerinde yapılan gerçek testler ile olası hataların erken tespitinin yapılması sağlanır.
- Binanın enerji performansının optimize edilmesine katkı sağlar.
- Kalite kontrol sürecinde bilincin artmasına katkı sağlar.
- Süreçteki tarafların sorumluluk ve yetkilerinin doğru tarif edilmesine katkı sağlar.
- Bina işletme ekibinin konu ile ilgili bilinçlenmesine ve eğitimine katkı verir.
- YKBİD sürecinin tamamlanması LEED v4'e göre yeşil bina sertifikası alınması amaçlanan binalarda ilave 2 puan kazanılmasını sağlar.

6. YKBİD KAPSAM VE SÜRECİ

YKBİD, genel anlamda bina ana sistemlerinin BİD işlerine benzer bir süreç olmasına rağmen, genel BİD işlerine kıyasla en önemli ayırt edici özelliği ağırlıklı olarak doğru malzemelerin seçimi ve uygulama işlerine odaklanmasıdır.

Yapı kabuğunun genel performansı ancak kabuğun tamamen kapanması sonrası ölçülebileceğinden ve bu son dönemde tespit edilecek olası hataların hem maddi, hem de ciddi süre kayıplarına sebep verme olasılığının yüksek olması sebebi ile, yapım döneminde genel BİD işlerine kıyasla uzmanlar tarafından çok daha fazla takip gerektirmektedir. Benzer sebeplerle birçok farklı malzemelerin ve katmanların birleşiminden oluşan işlerin sahada uygulamaları öncesi yapılacak model ve maketler üzerinden gerçek performans testlerinin yapılması çoğu zaman gerekli olmaktadır.

YKBİD işleri kapsamına ait ana başlıklar Projenin çeşitli fazlarına bağlı olarak aşağıda listelenmiştir:

1. Tasarım Öncesi Faz (Pre-design Phase)
 - a. Yapı kabuğuna dair İPİ (OPR) hazırlanmasına katkı sağlanır.
 - b. YKBİD planı, kapsam ve bütçesi hazırlanır
 - c. YKBİD ekibinin rolleri ve sorumlulukları belirlenir.
 - d. YKBİD görevleri iş programına dahil edilir.
 - e. Yapı kabuğu bakım ve kontrol kılavuzu formatı ve uygulanacak protokoller belirlenir.
2. Tasarım Fazı (Design Phase)

Tasarım sürecinde aşağıda listelenen tüm alt tasarım fazlarında yapı kabuğu tasarımının İPİ doğrultusunda yapıldığının kontrolü sağlanır ve YKBİD planı geliştirilir.

- a. Şematik Tasarım Fazı (Schematic Design Phase – SD)
- b. Tasarım Geliştirme Fazı (Design Development Phase – DD)
- c. Uygulama Projeleri Fazı (Construction Documents Phase – CD)
3. İhale ve Teklif Değerlendirme Fazı (Bidding & Negotiation Phase)
4. Yapım Fazı (Construction Phase)
BİD'nin yapım sürecindeki esas amacı “doğrulama” işleri olup, ana aktivite gerekli testlerin yapılmasının sağlanması ve test sonuçlarının değerlendirilmesidir. Test prosedürleri ile ilgili detaylı bilgi bir sonraki bölümde mevcuttur.
5. İşletme Fazı (Occupancy & operations Phase)

7. YKBİD KAPSAMINDA YAPILAN TESTLER VE DOĞRULAMA İŞLERİ

Bu bölümde, bina kabuğu ile ilgili BİD işlerinin yapım fazındaki en önemli aktivitelerinden olan test süreçlerinden bahsedeceğiz.

YKBİD kapsamında yapılacak doğrulama işlerini 3 ayrı başlık altında inceleyebiliriz: (NIBS Guideline 3-2012)

a. Laboratuvar testleri ve modelleme çalışmaları (mock-up)

Projede kullanılacak kapı, pencere gibi malzemelerin laboratuvar ortamında muhtelif standartlara göre ısı yalıtımı, hava geçirimsizlik, yapısal dayanım, yoğuşma, solar ısı ve optik özelliklerine dair performans testleri ve bina kabuğunda kullanılan muhtelif malzemelerin testleri bu kapsamda değerlendirilebilir.

Aşağıda bu kapsamda yapılan testlere dair bazı görseller bulunmaktadır.



Figure 1. Lab mockup during ASTM E283 air infiltration test

Maket cephe için hava geçirimsizlik testi



Figure 2 Dynamic Water test
Maket cephe için basınçlı su testi

b. Saha testleri ve modelleme çalışmaları

Bina kabuğu performansının doğrulanması ile ilgili en önemli test grubu saha testleridir. Bu saha testlerinin en önemli amacı, bina kabuğunda çeşitli sebeplerden dolayı oluşabilecek su ve hava kaçakları risklerinin tespit edilmesidir. Bina kabuğunda görülen su ve hava kaçaklarının ana sebepleri, tasarım, işçilik ve bakım süreçlerinde yapılan hatalardır. Bina kabuğundaki olası su ve hava kaçakları risklerinin bertaraf edilmesi binadaki genel sistemlerin performansı açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

Bu kapsamda yapılan muhtelif bazı testlere dair görseller aşağıda paylaşılmıştır.



Isı ve hava kaçakları ile ısı köprülerinin tespit edilmesine dair kızılötesi kamera testi (ASTM E 1186)





Bina kabuğu elemanları hava geçirimsizlik testi (Bubble Gun testing) (ASTM E 1186)



Yapışma/Aderans çekme testi (ASTM D 4541)



Hava kaçak testi (ASTM E783)



Saha su geçirimsizlik testi (ASTM E 1105)



Hortumla yapılan su geçirimsizlik testi (AAMA 501.2)

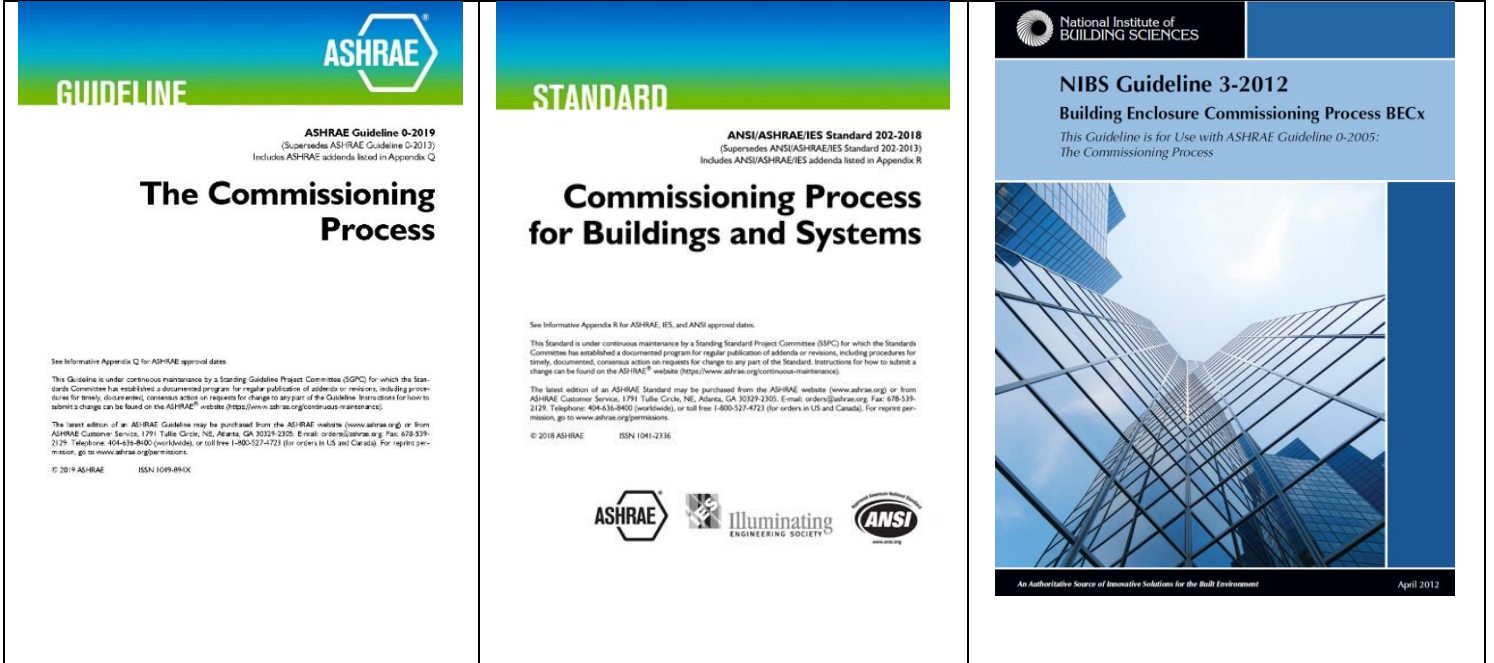


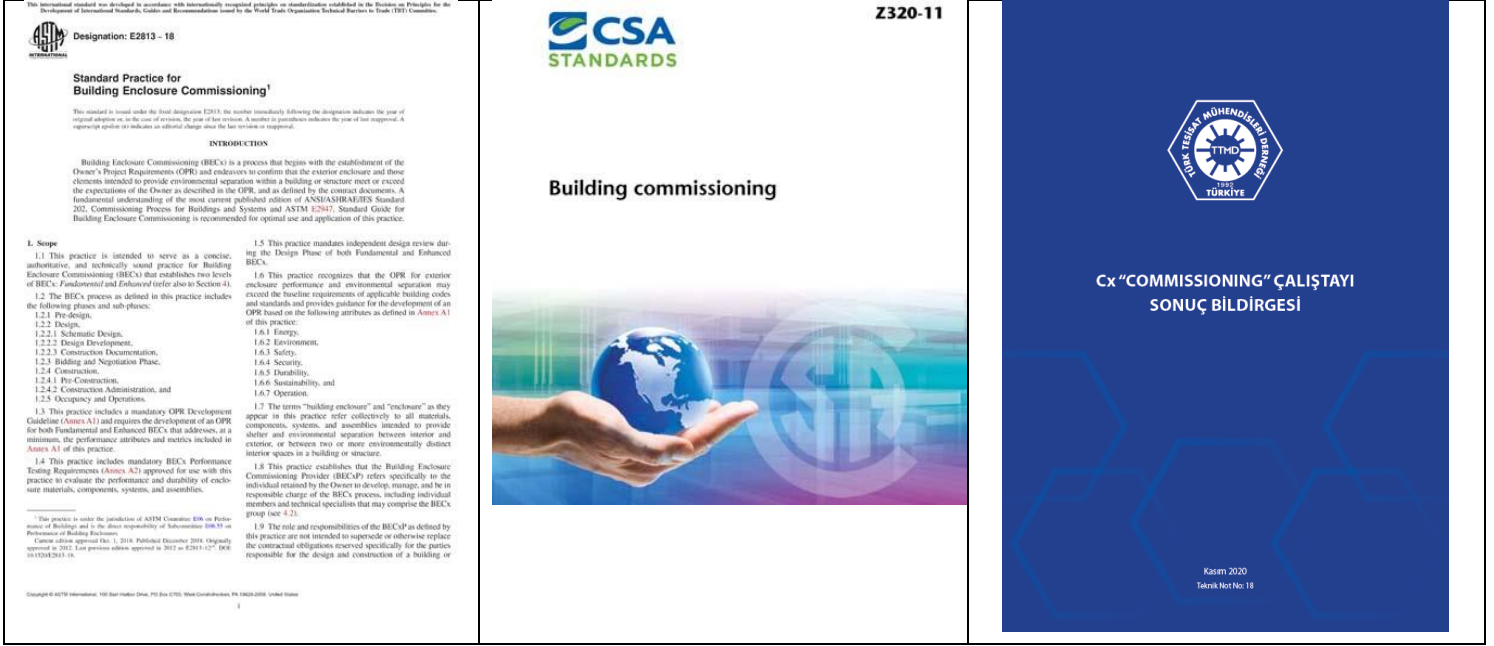
Tüm bina hava geçirimsizlik testi (ASTM E 779)

c. Tasarım bilgilerine göre yapılan test ve değerlendirmeler

Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler genelde tasarımın belli standart ve kriterlere göre uzman Mimar ve Mühendisler tarafından incelenip değerlendirilmesi yapılmaktadır.

KAYNAKLAR





- ASHRAE Guideline 0-2019 – The Commissioning Process
- ASHRAE 202-2018 – Commissioning Process for Buildings and Systems
- NIBS GUIDELINE 3-2012 (National Institute of Building Science Guideline) – Building Enclosure Commissioning (BECx) Process
- ASTM E2318 –18 - Standard Practice for Building Enclosure Commissioning
- CSA Z 320 (Canadian Standards Association) – Building Commissioning
- TTMD Cx "Commissioning" Çalıştayı Sonuç Bildirgesi – Kasım 2020

ÖZGEÇMİŞ

Azemet CANDEMİR

1975 Gaziantep doğumludur. 1997 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. Mezun olduktan sonra inşaat sektöründe yaklaşık 20 seneye yakın uluslararası iş yapan Müteahhit firmalarda çeşitli pozisyonlarda görev aldı. Bu süre içerisinde yerli ve uluslararası birçok prestijli üst yapı projesinde çalıştı. 2017 yılından itibaren yerli ve uluslararası nitelikli üstyapı projelerinde Proje ve İnşaat Yönetim hizmeti vermekte olan MCS MÜHENDİS İnşaat Yönetim A.Ş. firmasında Genel Müdür olarak çalışmaktadır.



YENİ BİNALARDA MEP SİSTEMLERİ BİD (COMMISSIONING) SÜRECİ

Mep System Commissioning Process In New Buildings

Emre Özmen

ÖZET

Dünyada ve ülkemizde gelişmekte olan Bina Commissioning (BİD-Belgeleme, İletişim, Doğrulama) faaliyetlerinin önemli bir kısmı mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, yangın ve can güvenliği sistemleri, zayıf akım sistemleri, bina yönetim sistemleri ve özel sistemler ana başlıklarından oluşmaktadır. Bu ana sistem başlıkları kendi içlerinde de alt sistemlere/ekipmana ayrılmaktadır.

BİD faaliyetleri sırasında ekipman doğrulanmasının yanı sıra sistemlerin ve ana sistemlerin doğrulanma faaliyetleri yürütülmelidir. Bir binada bulunan elektromekanik sistemler kapsamının işin ön tasarım aşamasından başlayarak tam olarak oluşturulması ve BİD ekibinin BİD Planı doğrultusunda BİD faaliyetini doğru yürütülebilmesi için en önemli konulardandır.

ASHRAE Guideline 0-2019 BİD faaliyetlerinde izlenmesi gerekli prosedür ve kurulması gerekli iletişimi tanımlamaktadır. ASHRAE Standard 202-2018, BİD sürecinde sistemlerin belgeleme, doğrulama faaliyetlerinde kullanılabilecek yöntemler ve örnekleme oranları anlatılmaktadır.

BİD faaliyetinin yüzdesel olarak en önemli kısmını belgeleme oluşturmaktadır. Oluşturulacak belgelerin kimler tarafından üretileceğini belgeleme matrisi tanımlamaktadır. BİD faaliyetinin en doğru şekilde sonuçlanabilmesi için üretilen tüm belgeler işin sonunda işletme grubuna ve iş verene tam olarak teslim edilmelidir. Bu belgeler ileride çıkabilecek sorunların giderilmesinde daha önce ekipmanda veya sistemlerde yapılmış elde edilmiş sonuçların takibi açısından ve süregelen commissioning (BİD) faaliyeti için önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı yeni binalarda BİD sürecinin amacına uygun şekilde sonuçlanabilmesi için, BİD sürecinin tüm aşamalarında (ön tasarım, tasarım, imalat ve işletme) BİD faaliyetlerini; mekanik, elektrik, sıhhi tesisat, yangın ve can güvenliği, zayıf akım sistemleri, bina yönetim sistemleri ve özel sistemler ana başlıklarında yürütülmesiyle ilgili örneklemeyle açıklamaktır.

Anahtar Kelimeler: Yeni bina BİD, Bina commissioning, commissioning, MEP commissioning, technical verification, belgeleme matrisi, sorumluluk matrisi, MEP testleri

ABSTRACT

An important part of the Building Commissioning (BID-Certification, Communication, Verification) activities that are developing in the world and in our country consists of the main headings of mechanical, electrical, sanitary systems, fire and life safety systems, weak current systems, building management systems and special systems. These main system titles are also divided into subsystems/equipment within themselves.

During the BID activities, besides equipment verification, verification activities of systems and main systems should be carried out. It is one of the most important issues for the scope of the



electromechanical systems in a building to be fully established starting from the preliminary design phase of the work and for the BID team to carry out the BID activity correctly in line with the BID Plan.

ASHRAE Guideline 0-2019 defines the procedure to be followed and the communication to be established in BID activities. ASHRAE Standard 202-2018 describes the methods and sampling rates that can be used in the documentation and verification activities of the systems in the BID process.

Documentation constitutes the most important part of the BID activity as a percentage. The documentation matrix defines who will produce the documents to be created. In order for the BID activity to be concluded in the most correct way, all documents produced must be delivered to the business group and the employer in full at the end of the work. These documents are important for the elimination of problems that may arise in the future, for the follow-up of the results obtained in the equipment or systems before and for the ongoing commissioning (CC) activity.

The aim of this study is to provide the BID activities in all phases of the BID process (preliminary design, design, manufacturing and operation); mechanical, electrical, plumbing, fire and life safety, weak current systems, building management systems and special systems are to explain with examples related to the execution.

Keywords: New building BID, building commissioning, commissioning, MEP commissioning, technical verification, documentation matrix, responsibility matrix, MEP tests

1. KISALTMALAR

BİD	: Belgeleme, iletişim, doğrulama
BİD Süreci	: Belgeleme, iletişim, doğrulama süreci
Cx	: Commissioning. BİD
Cx Process:	BİD Süreci
MEP	: Mechanical electrical plumbing. Mekanik elektrik sıhhi tesisat
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigeration Air conditioning Engineers. Amerikan ısıtma-soğutma ve hava şartlandırma mühendisleri derneği
REHVA	: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. Avrupaisıtma, havalandırma ve hava şartlandırma dernekleri federasyonu
NEBB	: National Environmental Balancing Bureau. Ulusal çevresel dengeleme bürosu
BCXA	: Building Commissioning Association. Bina BİD derneği
TAD	: Test, Ayar ve Dengeleme
OPR	: Owner Project Requirement. Yatırımcı proje gereksinimleri
RFP	: Request for Proposal. Teklif isteme talebi
O&M	: Operation and maintenance. İşletme ve bakım

2. GİRİŞ

BİD, binada hedeflenmiş olanın tasarlandığını, tasarlanmış olanın uygulandığını, enerji etkinliğini, güncel sistem el kitabını, işletme ekibi yetkinliğini, kullanıcı konfor ve güvenliğini sürekli olarak garanti eder.

BİD nedir?

BİD; bir sürecin belirlenen hedeflere uygun ilerlemesini sağlamak üzere uygulanan çok bileşenli bir prosedür bütünleştirilmesi olarak tanımlanabilir.

Bu, bir binanın veya endüstriyel tesisin tüm sistemlerinin ve bileşenlerinin, sahibinin veya son kullanıcının gereksinimlerine göre planlanmasını, tasarlanmasını, kurulmasını, test edilmesini, enerji verimli işletilmesini ve bakımının yapılmasını sağlamaya yönelik kalite odaklı süreçtir. BİD süreci sadece yeni projelere değil aynı zamanda mevcut yapılara veya genişletme, yenileme işlemine tabi mevcut yapılara ve sistemlere de uygulanabilir.

BİD, ABD'de ortaya çıkan ve geliştirilen bir süreç olup ilk kez 1798'de bir savaş gemisi imalatı ile başladığı kabul edilir. Binalarda uygulanması ise 1977'de Kanada Bayındırlık İşleri tarafından başlatılmıştır.

Binalarda BİD süreci; bina sahibine veya işletmeye teslim edilen ve bina sahibinin işin başında belirlediği tüm sistemlere ait "Bina Sahibinin Proje Gereksinimleri" (Owner Project Requirement-OPR) belgesini karşılayacak şekilde planlandığını, tasarlandığını, kurulduğunu, test edildiğini, belgelenip imza altına alındığını, işletildiğini doğrulamaya ve belgelemeye odaklanıyor. Buna göre süreci tanımlamaya yardımcı olacak en önemli üç ana kavram; doğrulama, belgeleme ve iletişim olmaktadır.

BİD ne değildir?

BİD süreci kapsamı, örneğin yeni bina BİD süreci, yapıdaki tüm teknik sistemleri (Mekanik, Elektrik, Yangın, Otomasyon, Özel Sistemler) içerdiği için tasarım öncesi, tasarım, imalatın tüm aşamaları (cihaz seçimi, cihaz temini, saha imalat, devreye alma, TAD, performans testleri, sistem el kitabı, eğitim süreci) ve binaya yerleşim, mevsimsel testler, işletme süreçlerinin tamamındaki faaliyetlerin doğrulanması, belgelendirilmesini üstlenir.

BİD, proje yönetimi değildir. Zira sadece teknik süreçleri kapsar. Proje yönetimi sorumluluk çerçevesinde teknik yanı sıra bütçe takibi, kaynak planlama, idari denetim, ana iş programı takibi, lojistik planlama, koordinasyon, işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetimi olabilecek tüm işlem kalemlerini içeren, proje hedeflerini yerine getirecek iş süreçleri disiplindir. BİD firması, proje yönetim firması altında da çalışabilir. BİD ekibi içinde, proje yönetim firması temsilcisi yer alabilir.

BİD TAD faaliyeti değildir. TAD faaliyeti, mekanik cihaz, sistem test, ayar ve dengelenmesini doğruladığı için BİD sürecinde mekanik disiplin adına çok önemli bir aşamayı temsil etmektedir. TAD'ın faaliyetleri ve doğruluğu, BİD süreci içinde doğrulanmış olmaktadır. Süreç içinde bir çelişki, bir tereddüt durumunda hep OPR (Owner Project Requirements- Bina Sahibinin Proje Gereksinimleri) dokümanına dönülür, orada bina sahibinin mekanik sistemlerle alakalı istekleri ile karşılaştırılır. BİD firması tüm süreci kapsayacak bir "hata ve çözüm günlüğü" tutarak sapmaları ve çözüm önerilerini bu dosyaya kaydeder veya gözden geçirme raporu yoluyla bina sahibine raporlar. Bina sahibi gerekirse TAD firmasına geri dönerek işlemleri yeniletebilir. Hata ve çözüm günlüğünde herhangi bir hatanın ne kadar önemli olduğuna, göz ardı edilebilir olup olmadığına bina sahibi karar verir. BİD firması, TAD sürecinde gözlemci olabilir veya daha sonra örnekleme yoluyla TAD firmasının doğrulama adına mekanik sistem hava ve su debilerinde ölçüm yapılmasına eşlik eder.

Bunlara ilaveten, sadece eksik listesi tamamlama değildir. Denetleme değildir. Standart formlar değildir. Yüklenicilerin kalite güvence/kalite kontrol programı değildir. Yönetim yedeği değildir. Sadece en sonda test etmek değildir. Sadece devreye alma değildir. Sadece planlama ve gözden geçirme değildir. Tasarım değildir. Sözleşme yönetimi değildir. Yüklenicilerin kalite kontrol programı değildir.

BİD ile ilgili standartlar

Sertifikasyon konusunda ABD menşeli ASHRAE ve NEBB (The National Environmental Balancing Bureau) dünyada başlıca faaliyet gösteren ve en çok rağbet gören kurumlardır. İngiltere'de British Standards çerçevesinde CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) konu ile ilgili kodlar yayınlanmakta, eğitimler verilmektedir. Ancak İngiltere hariç Kıta Avrupası geneli göz önüne alındığında yerel BİD standardı yokken bu konuda farkındalık başlamıştır. Avrupa'da 27 ülkeden 130.000'i aşkın mühendisi ve sektörel dernekleri çatısı altında toplayan REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations) önderliğinde BİD ile ilgili çalışmalar 2017 itibarıyla Fransa merkezli olarak başlatılmıştır.

Eurovent ile birlikte ortaya konan COPILOT programı, bağımsız ISO onaylı denetim ve BİD hizmetleri eğitim ve sertifikası sunmaktadır. REHVA'nın çağrısı üzerine, 2017-2019 arasında TTMD, BİD Komisyonu vasıtasıyla Paris'te düzenlenen COPILOT sertifikasyon yapılandırma, geliştirme atölye katkı konulmuştur. Söz konusu çalışmalara Fransa, İtalya, İspanya, Portekiz, Macaristan, Letonya v.b. ülke derneklerinden de uzmanlar katılmıştır. Günümüzde, Copilot Sertifikası bina performansı için yeni bir standart haline gelmiştir (GEN- 1071.00). Bu açıdan COPILOT, Avrupa Birliği'nde önemli bir boşluğu dolduracak ve yaygın standart haline gelecek potansiyelindedir.

BİD'in faydaları nelerdir?

BİD, çıkış noktası itibarıyla ABD menşeli olduğu için ASHRAE Standard 202-2018 ile "Yeni binalar ve sistemler için BİD Süreci" tanımlanmış. Buna göre BİD, binalarda gerçekleştirilen teknik işlevlerin planlanması, teslimi, doğrulanması ve risklerinin belgelenmesi için her detay dahil, kalite güvencesi temelli bir süreçtir. BİD, bina kalitesini garanti eder, enerji verimliliğini, çevre korunumunu ve binayı kullanan insanların konforunu en üst düzeye çıkarmaya ve bina işletmesini en verimli hale getirmeye yardımcı olur. Bu süreç, bina bileşenlerinin doğru çalıştığından ve planların verimli ve etkili bir şekilde uygulandığından emin olarak işletme verimini, iç mekân hava kalitesini ve kullanıcı konforunu da artırır. BİD önleyici ve öngörücü bakım planları, özel kullanım kılavuzları ve eğitim, işletme ve bakım (O&M) prosedürlerini geliştirir.

BİD bina yapım ve işletme sürecinde tüm paydaşlara önemli faydalar sağlar.

Her şeyden önce yatırımcıya veya proje yönetim firmasına binanın ömür boyu işletme maliyetlerini düşürür, ABD'den örnek verilirse, enerji performansı açısından ortalama yeni binalarda %13 ile mevcut binalarda %16 arasında artış sağlar(*). İç hava kalitesi ve işletme verimliliği açısından elde edilen kazanımla birlikte, binayı kullananların sağlık ve iş performanslarının iyileştirilmesi sağlanır. Elde edilen iç hava kalitesi ve çalışan konforu artışı sonucu ortaya çıkan çalışan üretkenlik artışı da BİD yatırımının geri dönüş süresini kısaltır. Binanın LEED, BREEAM gibi bir yeşil bina sertifikası alması hedefleniyorsa, puantajda ilave (örneğin LEED, 4 puan) kredi kazanabilme avantajı sağlar. BİD sürecinin belgeleme boyutunun incelenirse binanın, belgeleme anlamında teknik açıdan çok değerli bir teknik miras kazanımı söz konusudur. Bina için, BİD sayesinde güncel bir "sistem el kitabı" geliştirilmiş olur. Ayrıca günün sonunda, bina sahibi BİD faaliyeti yapılmış bir bina sahibi olacağı için binasının itibarı ve satış bedeli artar.

Tasarımcı açısından bina ömrü boyu bedeli ödenecek hatalı bir sistem seçimi, hesaplama ihtimalinin önüne geçerek, tasarım hedeflerinin istenen en iyi şekilde karşılanabilmesini sağlar. Ayrıca, tasarımcı tasarladığı sistemlerin hayata geçişlerine eşlik eder, doğrulamada rol alır, sorumluluk döngüsü kırılmamış olur. Tasarımcı, mevcut projeden çıkardığı sonuçları benzer gelecek projelere aktararak ilgili bina sınıfı konusundaki tasarımını mükemmel seviyeye çıkarma şansı yakalar.

Süreç içinde yapılan hatalar, çoğu kez yükleniciye sorun çıkarır, ek bütçe ve süreye mal olur. Yapılan bazı hataların sonradan düzeltilebilme olanağı bulunmayabilir. BİD, yüklenici açısından da son derece önemli yararlar sağlar. Yüklenicinin geçici iş tesliminden itibaren yıllar geçtiği halde teminat mektubunu alamadığı durumlar olabilir. BİD süreci var ise tanımlı süreç tamamlandığında teminat mektubunu hemen alabilme imkânı doğar. Mutabakatla oluşturulmuş, takip edilebilir, detaylı ve yazılmış süreçler sayesinde bir alt yüklenicinin başı diğer bir alt yüklenici yüzünden veya başka bir süreç yüzünden derde girmez. Garantiye dayalı yüklenici çağırma, yeniden imalat sayıları oldukça azalır. Zorlayıcı sebepler dışında, iş süresi uzaması durumunda neden uzadığı veya uzama potansiyeli tartışmaya mahal vermeden net bir şekilde tespit edilebilir. İmalat ve yönetimde şeffaflık tüm yüklenicilerin yapım sürecini güncel olarak kavramasına imkân tanır, bina teslimleri tutarlı hale gelir.

Bina kullanıcıları noktasında BİD; sorunsuz, güvenli, iyileştirilmiş iç hava kalitesine, artırılmış kullanıcı konfor koşullarına sahip binaların teminatıdır.

İşletmeci noktasında da BİD; sorunsuz, uzun ömürlü, verimli ve bilinçli işletmeye, yüksek enerji verimliliğine, güncel teknik belgelere sahip ve uzman işletme ekibinin görev aldığı binaların teminatıdır. BİD, kârı artıracak, enerji tüketimini ve sera gazı salınımlarını azaltacak bir süreçtir. Elimizde bu faydaların somut örnekleri olabilecek araştırmalar (*) bulunuyor. Bir tanesine örnek vermek gerekirse;



ABD'de yapılan bu araştırmalarda BİD uygulanan ticari binalardan toplanan 5 yıllık verilerin analizi ile BİD'in basit geri dönüş -simple payback (SPB) dediğimiz sürelerinin çok kısa seviyelerde olduğunu (sadece enerji tasarrufu açısından bakıldığında yeni binalarda ortalama 4,2 yıl, mevcut binalarda ortalama 1.1 yıl) görüyoruz.

(*2009 yılı itibarıyla, ABD'de yer alan Lawrence Berkeley National Laboratory, ticari binalardaki BİD faaliyetleri ile ilgili dünyanın en büyük veri derleme ve analizini oluşturmuştur.

BİD Ekibi

Bu ekipte; işveren (temsilcisi), proje yönetim firması, tasarımcılar, ana yüklenici ve alt yükleniciler, danışmanlar ve BİD yüklenicisi yer alır. Bu sürecin amiri işveren olmakla beraber ekip lideri BİD yüklenicisidir. Bu ekip, sürekli iletişim ve koordinasyon içinde çalışır. Smartsheet, Prolog, BİM360, Trello v.s. gibi ortak platform yazılımlarla iletişim süreci hızlı, hatasız ve şeffaf yönetilir. Bu yazılımlar sayesinde herhangi bir ekip üyesinin yaptığı değişiklik veya aktivite, diğer ekip üyelerine eşzamanlı olarak bildirilir. Her üye, yapılan her değişiklikten haberdar olur, yorum yapabilir. Yapılan hiçbir işlemin izi silinemez. Geriye dönük olarak süreç içinde atılan tüm adımlar izlenebilir. Bunun dışında formatı ve frekansı belirlenmiş raporlamalar, belge ve sorumluluk matrisleri, üzerinde anlaşılacak yapım yöntemleri, testler gibi araçlar, bina yapım ve işletme sürecinde rol alan tüm paydaşların faaliyetlerini ölçmeye ve doğru değerlendirip, sapmaları tespit etmeye fayda sağlarlar. Tüm bu faaliyetler ekiplerin ortak çalışmasıyla ve ortak platform yazılımlarıyla sağlanır.

BİD; temelde yatırımcı, bina sahibi veya proje yönetim firması tarafından satın alınan ve onun ekseninde yönetilen bir hizmettir. Amerikan ekolünde yatırımcı, iki modelde BİD firması ile çalışabilmekte: Yatay modelde yatırımcı doğrudan BİD firmasını belirtir ve sözleşmesini yapar. Dikey modelde ise yatırımcı proje yönetimi firmasını seçer ve BİD süreç sorumluluğu ve maliyeti, proje yönetim firmasına devredilir. Bu durumda BİD firması proje yönetim firması tarafından seçilir ve onun altında çalışır.

BİD sürecinde ihale paketi oldukça önem arz etmektedir. Zira, eksik veya yanlış ihale dokümanı; ihale sürecinde eksik veya yanlış değerlendirmeye sebep olabilir. Yetersiz BİD firması seçimi, yanlış bütçeleme, eksik kapsam, gibi zorluklar yaşanabilir. Bu tip durumlarda, başta yatırımcı zarara ve hayal kırıklığına uğrar ki bu da BİD kavramının itibarını düşürür.

Bu duruma mahal vermemek ve sağlıklı bir ihale yapılabilmesi için yatırımcı tarafından öncelikle Teklif Talep Dokümanı (RFP-Request for Proposal) üretilmelidir.

Hazırlanacak şartnamede bulunması faydalı olan alt başlıklarının şunlar gibi olması önerilebilir:

- İlgili Standartlar
- Sistem listesi
- Örnekleme oranları
- Hizmet Süresi
- Ödeme şartları
- Taslak İş programı
- Kullanılacak raporlama araçları
- BİD Personelinde aranan özellikler (Tecrübe, Lisan, Sertifika v.b.)
- BİD Firmasında aranan özellikler (yeterlilikler/iş bitirmeler)
- İstenecek Teminatlar (Mesleki sorumluluk sigortası v.b.)
- Artırma/Eksiltme (İşin uzaması veya boyutunun değişmesi durumunda fiyatlandırma şartları)
- Dokümantasyon Lisanı
- BİD yüklenicisinden talep edilen dokümantasyon detayı (raporlar, BİD planı, matrisler, yapım yöntemleri, test formatları, hata-çözüm günlüğü v.b..)
- BİD yüklenicisine sağlanacak çalışma alanı ve şartları
- Doküman gizlilik şartları



Sağlıklı ve yeterli içeriğe sahip BİD ihale paketi tek başına yeterli olmayacaktır. Süreçte aktif rol oynayacak yukarıda bahsedilen diğer disiplinlerin seçimi ile ilgili ihale paketlerine de ilgili BİD gerekleri muhakkak suretle dahil edilmelidir.

Tüm bunlara rağmen uygulama sürecinde bazı güçlükler yaşanabilmektedir, bu güçlükler BİD faaliyetinin süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bunlara örnek vermek gerekirse;

- BİD ekibi paydaşlarının BİD farkındalığının az olması
- BİD için yetersiz bütçe ayrılmış olması
- BİD ekibinin malzeme tedarik kontrol, devreye alma testleri ve/veya TAD fazlarını kaçırması
- Bina açılışının öne çekilmesi veya BİD ihalesinin geç yapılması (Bina açılışından dolayı bazı sistemlerle ilgili performans testleri yürütülemez)
- Devreye almanın (start-up) eksik yapılması
- TAD faaliyetinin eksik yapılması
- Test yapacak yüklenici ekibinin yetersiz olması
- Kullanılan test cihazlarının yetersiz veya kalibrasyonsuz olması
- Eksik dokümantasyon (Hesap, tasarım, Malzeme onay, kontrol listesi, Devreye alma ve TAD dokümanlarının eksik olması, İşletme, eğitim, kullanım ve garanti dokümanlarının eksik olması, güncellenmiş projelerin eksik olması)
- Koordinasyon eksikliği (BİD ekibi paydaşlarının koordine edilmesinde zafiyet-yetersiz amirlik)
- Eğitim sürecinin (eğitmen, eğitim araçları, eğitim programı) eksik olması

3. YENİ BİNA BİD SÜRECİ

3.1. Giriş

Yeni binalarda BİD süreci projenin tüm safhalarında yürütülmektedir. İlgili safhalar dört adet olup aşağıdaki gibidir:

- Tasarım Öncesi (Planlama)
- Tasarım
- İmalat (Yapım)
- Binaya yerleşme ve İşletme süreci

BİD faaliyetleri herhangi bir proje fazında yürütülebileceği gibi, erken başlatılırsa en verimli sonuç verir.

3.2. BİD Ekibi

Yeni bina BİD sürecinde faaliyet oluşturulan BİD ekibi tarafından yürütülür. Yukarıda bahsedilen dört fazın tamamında bu ekip görev alacaktır. İşletme, teslim edilen binada kendi BİD ekibini kurarak bina yıkılana kadar sürekli BİD faaliyeti yürütür. Yeni bina BİD sürecinde görev alacak BİD ekibinin üyeleri ve safhalara dayalı aktivasyonları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Taraf	Tasarım Öncesi	Tasarım	İmalat	Yerleşim & İşletme
BINA SAHİBİ				
• Proje Müdürü, Proje Yönetim Denetçileri	X	X	X	
• Varlık Yöneticisi	X	X		X
• İşletme Ekibi	X	X	X	X
• Enerji Müdürü	X	X	X	X
KIRACI TEMSİLCİSİ	X	X	X	X
RESTORASYON FIRMASI	X	X	X	X
TASARIM EKİBİ				
• Mimari ve Mühendislik Bölümleri	X	X	X	X
• Mekanik, Elektrik, Otomasyon, Aydınlatma, Sismik, Akustik, Yangın vb. danışmanları		X	X	X
ÇEVRE DANIŞMANI (LEED veya diğer sürdürülebilirlik programları)	X	X	X	
YÜKLENİCİ				
• Proje Müdürü , MEP Koordinatörü, BİD Koordinatörü			X	X
• Mekanik, otomasyon, TAD, elektrik, sıhhi tesisat, cephe alt yüklenicileri yangın ve can güvenlik sistemleri yüklenicisi			X	X
BİD FIRMASI, DIĞER TEDARİKÇİLER VE ALT DANIŞMANLAR (varsa)	X	X	X	X

Tablo-1 BİD Ekibi [6]

3.3. Tasarımın Temelleri Belgesi (BOD)

BİD sürecinde üretilen belgedir. Anahtar tasarım öğelerini, kabulleri, metotları, seçimleri ve kararları içerir. Tasarım ekibi üretir, bina sahibi ve BİD otoritesi gözden geçirir ve yorumlar.

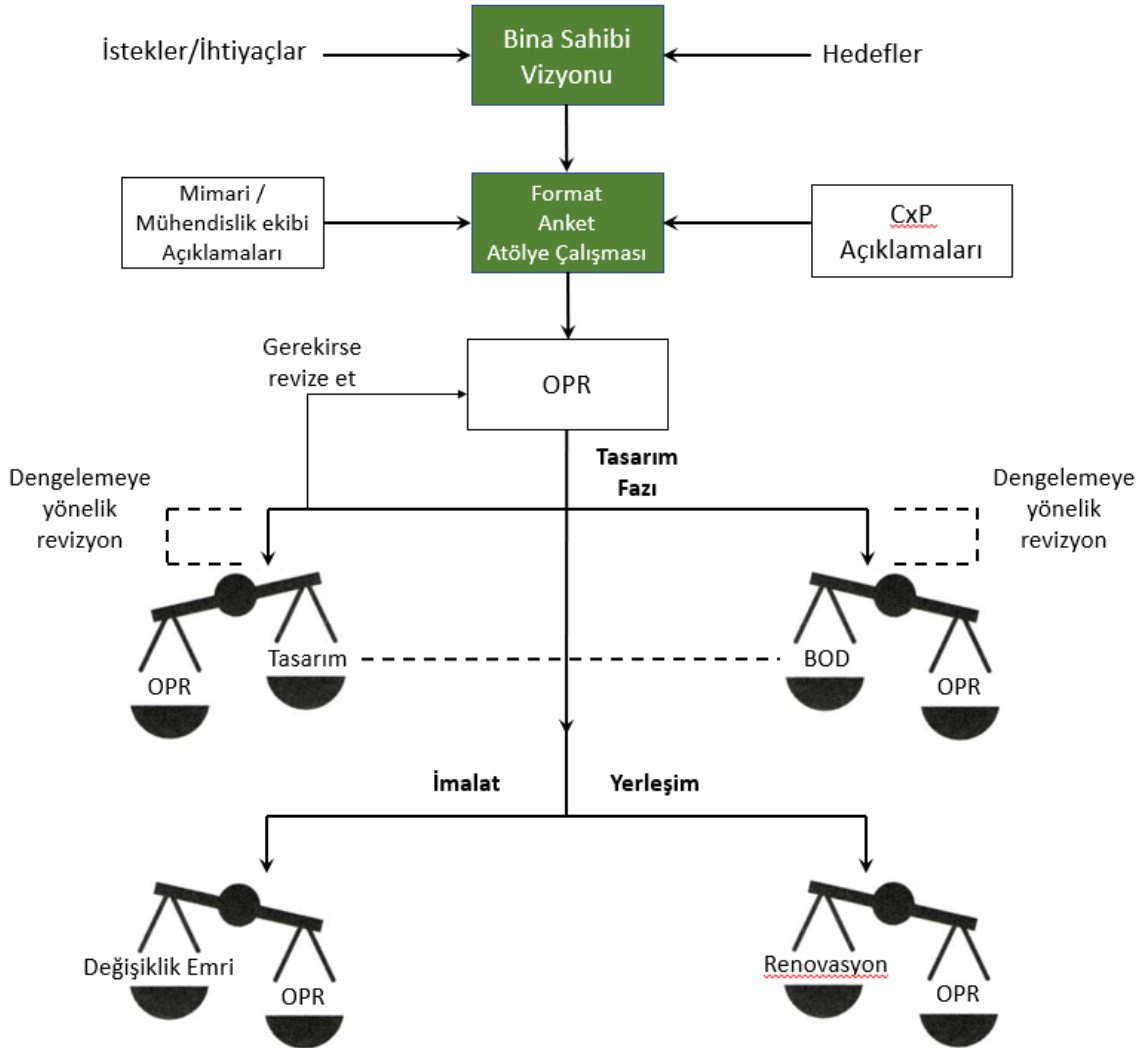
BOD' nin amacı diğer disiplinlere tasarım temelinde yatan fikirleri/sebepleri açıklamaktır. Bu belge OPR doğrultusunda üretilen tasarımın temelini oluşturur.

3.4. BİD Planı (Cx Plan)

BİD prosesinin yol haritasıdır. Proje fazları boyunca geliştirilir. BİD planı tasarım öncesi fazda BİD otoritesi tarafından yayınlanır. BİD planında aşağıdaki başlıklar detaylandırılır:

- BİD aktiviteleri özeti
- BİD ekibinin rolleri ve sorumlulukları
- BİD aktivitelerinin detaylı açıklaması ve aktivite planı
- Tasarım dokümanları değerlendirme prosedürü
- BİD dokümantasyonu formatı ve sürecin ana hatları
- Kontrol listeleri, test formları, hata ve çözüm günlüğü, BİD ilerleme raporları gibi BİD belgelendirmeleri listesi ve formatı
- BİD faaliyeti gösterilecek sistemlerin listesi
- BİD değerlendirmeleri OPR' ye uymadığı zaman izlenecek prosedür

OPR Üretimi ve Kullanımı



3.5. Yatırımcının Proje Gereksinimleri Belgesi (OPR)

Şekil-1 Yatırımcının proje gereksinimleri belgesi oluşumu ve kullanımı [6]

3.5. Tasarım öncesi fazı

Birinci olan bu fazda aşağıdaki faaliyetler yürütülür:

- Bina sahibi BİD Otoritesini belirler.
- Bina sahibi BİD ekibini kurar ve projeye dahil eder.
- Bina sahibi proje istek dokümanını (OPR) üretir
- BİD firması BİD faaliyeti kapsamını ve bütçeyi geliştirir.
- BİD firması başlangıç BİD planını hazırlar
- BİD firması OPR için bina sahibine yardım eder.
- Tasarım ekibi hizmet sözleşmesi için BİD hizmet gerekleri belirlenir.
- Tasarım ekibi proje istek dokümanını gözden geçirir.

3.6. Tasarım fazı

İkinci olan bu fazda aşağıdaki faaliyetler yürütülür:

- BİD ekibi toplantıları düzenlenir

- Tasarım ekibi, temel tasarım dokümanını (BOD) üretir. Uygunluk alır, yayınlar
- BİD firması, BOD dokümanını gözden geçirir
- Bina sahibi, BOD dokümanını gözden geçirir
- Tasarım ekibi tasarım paketini üretir. Uygunluk alır, yayınlar
- BİD firması, tasarım paketini gözden geçirir
- Bina sahibi, tasarım paketini gözden geçirir
- BİD firması, BİD ve eğitim gereklilikleri dokümanını üretir. Uygunluk alır, yayınlar.
- Tasarım ekibi, imalat projelerini üretir

3.7. İmalat (yapım) fazı

Üçüncü olan bu fazda aşağıdaki faaliyetler yürütülür:

- BİD firması BİD planı günceller
- BİD aktivitelerini koordine eder
- BİD toplantıları düzenlenir
- Sunulan malzeme ve imalat dokümanları doğrulanır
- İmalat kontrol listeleri hazırlanır, doldurulur ve kontrol edilir
- Saha ziyaretleri yapılır ve raporlanır
- Start-up ve TAD sürecine eşlik edilir
- Start-up ve TAD raporları yayınlanır
- Fonksiyonel testler hazırlanır ve yapılır
- Hata ve çözüm günlüğü dokümanı güncellenir ve yayınlanır
- İşletme ve bakım dokümanları üretilir, gözden geçirilir ve yayınlanır
- Eğitim süreci doğrulanır
- BİD raporları hazırlanır

3.8. Binaya yerleşim ve işletme fazı

Dördüncü ve sonuncu olan bu fazda aşağıdaki faaliyetler yürütülür:

- Bina kullanıcılarına sistem sunumu yapılır
- Güncel (as-built) dokümanlar üretilir ve gözden geçirilir
- Mevsimsel testler hazırlanır, yapılır, hata ve çözüm günlüğü dokümanı güncellenir yayınlanır
- Bina kullanıcıları için anketler hazırlanır, anket sonuçları ve işletme ekibi geribildirimleri doğrultusunda (garanti sürecinde) ince ayar yapılır
- OPR ve işletme talimatları dokümanı güncellenir

3.9. Kalite bazlı örnekleme süreci

Yeni bina BİD süreci doğrulama faaliyetlerinde can güvenliği sistemleri (yangın pompa istasyonu, merdiven basınçlandırma fanı, duman tahliye fanı, acil yönlendirme, yangın algılama, acil anons vb..) dışındaki sistemlerde bina sahibiyile ortak yapılan risk değerlendirme çalışmaları sonucunda karar verilen örnekleme oranları uygulanır. Belirlenen örnekleme oranları doğrultusunda doğrulama faaliyetlerine dahil olacak ekipman / sistem rasgele seçilir. Yapılan doğrulama sonucunda tespit edilen sapmaların yüzdesine göre örnekleme oranı artırılır veya sistemin tamamı test edilir. Aşağıda malzeme ve imalat belgeleri doğrulamayla ilgili örnek verilmiştir:

Malzeme ve imalat dokümanları gözden geçirmesi

Örnekleme prosesi (ASHRAE Standard 202-2018):

Disiplin: Mekanik sistemde

Kriter: VAV terminal kapasite kontrolü

Prosedür: Liste veya teknik katalog sayfası olarak sunulan VAV terminal kapasitelerinin daha önceden onaylanmış tasarım belgelerine (OPR ve BOD'ye göre kontrol edilmiş) göre kontrol edilmesi

Örnekleme: Eğer onaya sunulan ürün tasarıma baz oluşturmuş ürün ise toplam sayının %10'u (minimum 5 adet olmak üzere) kontrol edilir. Eğer sunulan ürün muadil ürün ise toplam sayının %20'si (minimum 10 adet olmak üzere) kontrol edilir. Hata tespit edildikçe ilave %5 kontrol edilir. Bu süreç hata bulunmayana veya terminallerin tamamının kontrol edilmesine kadar sürdürülür.



Onaya sunulan VAV terminalleri listesi endüstri standartı elektronik formatta verildiyse örnekleme yapılmadan, formüller kontrol edilerek boyutlandırma doğrulanır.

3.9.1. İmalatın doğrulanması için örnekleme süreci

İmalat gözden geçirmesi (Construction review) örnekleme prosesi (ASHRAE Standard 202-2018) saha testleri / Fonksiyonel performans testleri için aşağıdaki ana başlıklar doğrultusunda yürütülür.

- Üst düzey kritik cihazlar (çeker ocak, yangın pompası, merdiven basınçlandırma fanı vs.) için test tekrar edilebilir. Bu durumda her tekrar farklı kişiler gözetiminde ve farklı enstrümanla yapılmalıdır. Örneğin; Yangın pompaları performans testi 6 kez tekrar edilir (NFPA 20 madde 14.2.7.2)
- Örnekleme oranı %100'den fazla bile olsa teste rastgele örneklemelerle başlanmalıdır. Bu sayede olası sistemik hatayla daha erken karşılaşılabılır ve test vakit kaybetmeden sonlandırılır. Örneğin: 40 odalı bir otelde oda konfor şartları kontrol edilecek olsun; teste başlanacak rastgele odalar 100, 105, 110, 115., sonra 101, 106, 111, 116., şeklinde devam eder.
- Mevcut binalar için bazı testler yüksek risk taşıyabilir (kısmi çalışan bir hastane veya veri merkezi genişleme projeleri için enerji kesme testi). Bu durumda bina sahibi testleri yıllık yavaşlama dönemine öteleyebilir veya hiç yapmayabilir.
- Can güvenliği ile ilgili olmayan veya kritik olmayan ekipmanlar için örnekleme bazlı fonksiyon testleri yapılabilir.
- Karmaşık sistemler için yüksek örnekleme oranı cihazların kritik olma durumu yükseldikçe örnekleme oranı artar.

3.10.1.1. Kalite bazlı örnekleme süreci

ASHRAE Standard 202-2018, yapım fazındaki imalata yönelik testlerde aşağıdaki kalite örnekleme kuralını önermektedir. Burada örnekleme yüzdesi ile hata sınır değeri bina sahibi tarafından karar verilir ve BİD ekibine aktarılır ve ilgili yapım yöntemlerine, test belgelerine işlenir.

%xx örnekleme- %yy hata kuralı

Örneğin: %20 örnekleme- %10 hata kuralı

Birbirinin aynısı her grup cihazın rastgele %20'si (minimum 3 adet olacak şekilde) test edilir. %20'nin %10'u hatalı çıkarsa ikinci %20 test yapılır. Eğer yeniden %10 hata çıkarsa kalan bütün cihazlar test edilir.

Aynı hata sürekli tekrarlanıyorsa ve süreç doğrulamadan çok hata gidermeye dönüşüyorsa BİD firması testi durdurur.

4. . YENİ BİNA BİD SÜRECİ KAPSAMINDAKİ MEP SİSTEMLER

Yeni bina BİD süreci kapsamında yer alacak MEP sistemler bina sahibi tarafından belirlenir ve BİD firması tarafından BİD planında listelenir. En geniş şekilde BİD faaliyeti yürütülen MEP sistemleri aşağıda listelenmiştir.

4.1. Mekanik Sistemler

- Hava Perdeleri (Air Curtains).
- Klima Santrali (Air Handling Units).
- Kazan Bacası (Boiler Chimney).
- Kazan ve Brülör (Boilers and Burners).



- Hidrofor (Booster Set).
- Soğutma Grubu (Chillers)
- Sirkülasyon pompaları (Circulation Pumps).
- Soğutma Kuleleri (Cooling Towers).
- Kullanım Suyu Depoları (Domestic Water Storage Tanks).
- Genleşme Tankları (Expansion Tanks).
- FCU (Fan Coil Units).
- Fanlar (Fans).
- Ergiyen Telli Yangın Damperleri (Fire Dampers with Fusible Link).
- Yangın Dolabı ve İtfaiye Su alma Ağızları (Fire Hose Cabinets and landing valve Connections).
- Yangın Pompası (Fire Pumps).
- Isıtma Soğutma sistemi Boru yıkama işlemleri (Flushing & Dosing of Heating and Cooling System Pipelines).
- Kullanım suyu dezenfeksiyon (Flushing of Domestic Water Supply Pipelines).
- Yangın hattı yıkama (Flushing of Firefighting System Pipelines).
- Bahçe sulama sistemi (Garden Irrigation System).
- Yağ tutucular (Grease Separator).
- Isı değiştirgeçleri (Heat Exchangers).
- Hidrant sistemi (Hydrant System).
- Motorlu Yangın Damperleri (Motorized Fire and Smoke Dampers).
- Paket Üniteler (Package Units).
- pH nötralizasyon (pH Neutralization).
- Ön Etkili, kuru Sprinkler Sistemleri ve Kompresörleri (Pre-Action Sprinkler Systems & Dry System & Air Compressors).
- Solar Isıtma Sistemleri (Solar Heating System).
- Split Üniteler (Split AC Units).
- Test Ayar ve Dengeleme (Testing, Adjusting and Balancing).
- Vitrifiye ve aksesuarları (Vitreous China Plumbing Fixtures).
- VRF Sistemleri (VRF System).
- Pissu ve Drenaj Pompaları (Waste Water/Drainage Pumps).
- Su Yumuşatma ve Filtrasyon (Water Softening and Filtration).

4.2. Elektrik Sistemleri

- Busbar (Busbars).
- Dizel jeneratör (Diesel Generators).
- Dağıtım Panoları (Distribution Boards (inc. Main Distribution Panels, Compensation Panels, ATS Panels MCC Panels, Operation Theatre Panels).
- Topraklama Sistemi (Earthing Systems).
- Acil yönlendirme ve aydınlatma (Exit & Emergency Lighting System).
- Aydınlatma Sitemi (Lighting System).
- Yıldırımdan Korunma (Lightning Protection).
- Alçak Gerilim Kablolama ve Priz Tesisatı (LV Cabling and Power Socket System).
- Orta Gerilim Kablolama (MV Cabling).
- Orta Gerilim Hücreleri (MV Cubicles).
- Orta ve Alçak Gerilim Dağıtım (MV&LV Selectivity).



- Transformatör (Power Transformers).
- Güç Kaynağı Sistemleri (UPS).

4.3. Otomasyon ve Can Güvenliği Sistemleri

- Bina Yönetim Sistemi (Building Management System).
- Yangın Algılama Sistemi (Fire Alarm and Smoke Detection System).
- Yangın Algılama Matrisi (Fire Alarm and Cause & Effect Matrix).
- Acil Duyuru Sistemi (Public Address and Emergency Announcement System).
- Karbon Monoksit Algılama Sistemi (CO Alarm and Detection System).
- Görüntüleme Sistemleri (CCTV System).
- Kartlı Geçiş Sistemi (Security Access System).
- Güç Yönetim ve Gözleme Sistemleri (SCADA Control).
- Jet fan Otomasyon Sistemi (Jet Fan Automation)
- Aydınlatma Otomasyonu (Lighting Automation System).
- İklimlendirme Sistemleri Otomasyonu (HVAC Automation System)

4.4. Özel Sistemler (Special System)

- Özel Görüntüleme ve Seslendirme Sistemleri (A/V System).
- Otomatik kapı ve Bariyer (Automatic Doors and Barriers).
- Bebek Kaçırma Sistemi (Baby Kidnapping System).
- Otopark Havalandırma ve Algılama Sistemleri (Car Park Fans, Jet Fans and CO System).
- Asansörler (Rapor Gözden Geçirilmesi) (Elevators (Report Review)).
- Yürüyen Merdivenler (Rapor Gözden Geçirilmesi) (Escalators (Report Review)).
- Yangın Perdeleri (Fire Curtains).
- Gazlı Yangın Söndürme Sistemleri (FM200 & Gaseous Fire Protection System).
- Yakıt Besleme Sistemleri (Fuel Supply System).
- Helikopter Pisti Sistemleri (Helipad System).
- Davlumbaz Kimyasal Söndürme Sistemleri (Hood Fire Suppression System).
- Mutfak ve Soğut Oda (Kitchen & Cold Rooms).
- Çamaşırhane (Laundry).
- Merkezi Saat Sistemleri (Master Clock system).
- Medikal Gaz Sistemleri (Medical Gas System).
- Medikal Atık Giderimi (Medical Waste Disposal).
- Doğal Gaz Besleme Sistemleri (Natural Gas Supply System).
- Doğal Gaz Kaçak Algılama Sistemi (Natural Gas Leakage Detection System).
- Hemşire Çağrı Sistemi (Nurse Call System).
- Güneş Panelleri (Photovoltaic Panels).
- Pnömatik Taşıma Sistemi (Pneumatic Tube Transport System).
- Sıramatik (Quematic).
- Ters Ozan Sistemleri (Hemodiyaliz ve Buhar Sterilizasyon) (Reverse Osmosis (Hemodialysis and Steam Sterilization)).
- Merkezi Akıllı Televizyon Sistemleri (SMATV / IPTV System).
- Buhar Jeneratörü / Kazan (Steam Generator / Boiler).
- Merkezi Videolu Konferans Sistemleri (Telemedicine System).



- Telefon ve Data Sistemi (Rapor Gözden Geçirilmesi) (Telephone and Data System (Report Review)).
- Trijenerasyon (Trigeneration).

5. YENİ BİNA BİD SÜRECİ MALİYET/FAYDA ANALİZİ

Yeni bina BİD süreci maliyet/fayda analizine örnek olarak Lawrence Berkeley National Laboratory Analiz Çalışması verilebilir. 2009 yılı itibarıyla, ABD'de yer alan Lawrence Berkeley National Laboratory, ticari binalardaki BİD faaliyetleri ile ilgili dünyanın en büyük veri derleme ve analizini oluşturmuştur. Buna göre:

- Analize baz oluşturan veri tabanı: Tamamı ABD'de bulunan 643 bina: 561 mevcut bina, 82 yeni bina
- Toplam proje alanı: 9.290.000 m² : 8.400.000 m² mevcut bina, 890.000 m² yeni bina
- Commissioning harcamaları: 43 milyon USD : 28.562.970 USD mevcut bina, 14.921.031 USD yeni bina

BİD faaliyeti yürütülen yeni binaların toplam inşaat maliyetleri: 2,2 milyar USD 2009 yılı itibarıyla, ABD'de yer alan Lawrence Berkeley National Laboratory, ticari binalardaki commissioning faaliyetleri ile ilgili dünyanın en büyük veri derleme ve analizini oluşturmuştur.

- **Yapılan analize göre BİD ortalama maliyeti (2009 yılı için),**
 - Mevcut binalar için 3,23 USD/m²
 - Yeni binalar için 12,49 USD/m² (ya da toplam inşaat maliyetinin %0,4'ü) olmuştur
- **BİD uygulanan tüm binalarda toplamda 10.000'in üzerinde enerji ile ilgili problem tespit edilmiştir ve BİD sayesinde,**
 - Mevcut binalarda ortalama %16'lık enerji tasarrufu sağlanmıştır, geri dönüş süresi 1,1 yıl olarak hesaplanmıştır
 - Yeni binalarda %13'lük enerji tasarrufu sağlanmıştır, geri dönüş süresi 4,2 yıl olarak hesaplanmıştır
- **Commissioning sonrası yıllık m² başına ortalama tasarruf (2009 yılı için):**
 - Mevcut binalarda 3,01 USD/m²/yıl
 - Yeni binalarda 1,94 USD/m²/yıl

Özellikle yüksek teknolojili binalarda commissioning faaliyeti maliyet etkindir (enerji yoğunluğu nedeniyle daha yüksek miktarda enerji tasarrufu sağlamıştır).

- **Yapılan analiz sonuçlarına göre enerji tasarrufu değerleri, Cx proses maliyetlerinden daha fazla olduğu için kaçınılmış karbon maliyeti;**
 - Mevcut binalar için -110 USD / ton
 - Yeni binalar için -25 USD / ton olarak tespit edilmiştir.

Kaçınılmış karbon maliyeti = (yıllık BİD proje maliyeti – yıllık tasarruf miktarı) / yıllık sera gazı emisyon azalması

Karbon ticaretinde piyasa +10 USD / ton ile +30 USD / ton arasında değişmektedir.

Kaçınılmış karbon maliyeti eksi değerde ise o proje maliyet etkindir.



6. TÜRKÇE TERİM BİLİMİ

Dünyada konu ile ilgili kullanılan İngilizce terminolojinin Türkçe karşılıkları konusu Türkiye’de ilk olarak 2019’da İstanbul’da düzenlenen uluslararası “Commissioning” konulu TTMD Çalıştayında ele alınmış ve sektörel birçok dernek temsilcisinin yaptığı atölye çalışmalarında ortak görüş olarak belirlenmiştir. Bu kavram ile ilgili Türkçe terimler listesi aşağıda sunulmuştur:

BİD	: Belgeleme, İletişim, Doğrulama (Cx : Commissioning)
BİD süreci	: Belgeleme, İletişim, Doğrulama süreci (Commissioning Process)
BİD Planı	: Belgeleme, İletişim, Doğrulama Planı (Cx Plan)
BİD Sonuç Raporu:	BİD Sonuç Raporu (Cx Final Report)
BİDY	: BİD Yüklenicisi (CxP : Cx Provider)
BİDO	: BİD Otoritesi (CxA: Commissioning Authority)
YYBİD	: Yeni Yapı Belgeleme, İletişim, Doğrulama (NCCx : New Construction Commissioning)
MYBİD	: Mevcut Yapı BİD (EBCx: Existing Building Cx)
YBİD	: Yeniden Belgeleme, İletişim, Doğrulama (ReCx: Recommissioning)
MYBİD	: Mevcut Yapı Belgeleme, İletişim, Doğrulama (RCx: Retro commissioning)
SBİD	: Sürekli BİD (OCx : Ongoing Cx)
YKBİD	: Yapı Kabuğu Belgeleme, İletişim, Doğrulama (BECx : Building Enclosure Commissioning)
YTB	: Yeterlilik Talep Belgesi (RFQ : Request for Qualifications)
Şartname	: Teklif Talep İçeriği (RFP: Request for Proposal)
PT	: Performans Testi (FPT : Functional Performance Tests, FT : Functional Test)
DAT	: Devreye Alma Testi (OPT : Operational Performance Tests, Start-up Test)
DL	: Doğrulama Listesi (Checklists)
SİD	: Saha İnceleme Doğrulama (SVC: System Verification Check, FIV : Field Inspection Verification, Installation Check)
TT	: Tasarımın temelleri (BoD : Basis of Design)
Gİİ	: Güncel işletme istekleri (CFR : Current Facility Requirements)
İPİ	: İşveren Proje İstekleri (OPR: Owner’s Project Requirements)
HÇG	: Hata ve Çözüm günlüğü (Issues and resolutions log)
YY	: Yapım yöntemi (MoS: Method of Statement)
SM	: Sorumluluk matrisi (Responsibility Matrix)
BM	: Belge matrisi (Documentation Matrix)
SEK	: Sistem el kitabı (System Manual)
EDR	: Edinilen Deneyim Raporu (Lessons Learned Report)
İB	: İşletme ve Bakım (O&M : Operation and Maintenance)
İB El Kitabı	: İşletme ve Bakım El Kitabı (Operation and Maintenance Manual)
FKT	: Fabrika Kabul Testi (FAT : Factory Acceptance Test)

7. SONUÇ

Yapılmakta olan işin tarafsız gözle doğrulanması ve bunun belge ile kayıt altına alınması, gerekli iletişim metotları kullanarak koordine edilmesi, o işin kalitesini, isteklerin karşılanma miktarını şüphesiz artıracaktır. Aynı zamanda yapılmakta olan işin ölçülebilmesi, takip edilebilmesi, potansiyel hataların veya zaman kayıplarının büyük oranda önüne geçilebilmesi mümkün olacaktır. Sonuç, işin tüm paydaşlarının kazandığı, zamanın daha verimli yönetilebildiği, anlaşmazlıkların daha az olduğu süreçler olarak yansiyacak, toplumsal refahımız yükselecektir.

Yapı ile ilgili meslek örgütlerinin destek ve katılımlarıyla hep birlikte ülkemizde yapı sektöründen başlayarak “BİD” kavramının yerleşmesi, farkındalığın artırılması, standartlarının ülke gerçekleri



doğrultusunda belirlenmesi, faydalarının vurgulanması ve yaygınlaştırılmasını sağlamak mümkündür. Yaygınlaştırma için; işveren temsilcileri, mimarlar, proje yönetim firmaları, banka ve fonlar, sigortalar, tasarım ofisleri ve devlet kademeleri hedef kitle olarak seçilebilir.

Kavram yaygınlaştırılırken, diğer yandan mümkünse ulusal, değilse yerel BİD standart(lar)ımızı eğitim ve sertifikalandırma programlarıyla birlikte oluşturmak, ülkemiz yapı sektörü için çok önemlidir.

REFERANSLAR

- [1] Evan Mills, "Building Commissioning, A Golden Opportunity for Reducing Energy Costs and Greenhouse Gas Emissions" 2009
- [2] ANSI/ASHRAE/IES 202-2018, "Commissioning Process for Buildings and Systems", 2018
- [3] ASHRAE Guideline 0-2019, "The Commissioning Process", 2019
- [4] REHVA European Guidebook No27, "HVAC Commissioning Process", 2019
- [5] ANSI/NEBB S110-2019, "Whole Building Technical Commissioning of New Construction", 2019
- [6] Karl Stum, Diana Bjornskov, "The Building Commissioning Handbook", 2017
- [7] Kettler, Gerald J., "Commissioning Stakeholders' Guide", 2018
- [8] Eurovent Copilot Building Commissioning Solutions, Workshop Notes, 2018
- [9] TTMD BİD Komitesi, "TTMD Commissioning Çalıştayı Bildiri Özeti", 2020
- [10] TTMD BİD Komitesi, "TTMD BİD Şartnamesi", 2020
- [11] Özmen E. "TAD – Test Ayar Dengeleme ve GDH – Geçerlilik Denetim Hizmetleri (Cx, Commissioning) Eşgüdümü", TTMD Eğitim Seminerleri teknik sunum, 2019
- [12] Özmen E. "Commissioning" TTMD dergisi sayı 124 röportaj, 2019

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÖZMEN

1972 yılında doğan Emre ÖZMEN sırasıyla 1990 yılında Konya Anadolu Lisesi, 1994 yılında İTÜ Makine Fakültesi Makine Mühendisliği İngilizce Destekli Eğitim bölümünden, 1997 yılında ise İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Robotik bölümünden mezun olmuştur.

Çalışma Hayatı;

1994 – 2005 yılları arasında EMO Teknik firmasında otomatik kontrol alanında 10 sene çalışmıştır. 1997-1998 yılları arası MSB Ankara İnşaat Emlak Başkanlığı Mühendis Asteğmen olarak çalışmıştır.

2006-2011 yılları arası On Otomasyon firması kurucu ortak olarak çalışmıştır.

2013-2014 yılları arası TÜV-SÜD firmasında otomasyon konusunda danışman olarak çalışmıştır.

2014 yılından günümüze EON GRUP firmasında kurucu ve otomasyon sistemleri tasarımcısı ve danışmanı olarak çalışmaktadır.

2018 yılından günümüze GEPA GRUP firmasında kurucu ortak ve BİD (commissioning) uzmanı olarak çalışmaktadır.

Sivil Toplum Örgütleri

Son 18 yıldır TTMD enerji komisyonu, BİD (Commissioning) komitesi gibi çalışma gruplarında başkan olarak görev yapmıştır.

Eurovent –Copilot Bina Commissioning Çözümleri programına Türkiye'den TTMD adına teknik danışmanlık yapmıştır.

ISKAV KAİSD komitesinde otomasyon komisyon başkanı olarak görev yapmıştır.

ISKAV TAD Sertifikasyon Programında eğitmen olarak görev yapmaktadır.

TTMD Dijitalleşme ve BİD (commissioning) komitelerinde çalışmaktadır.

Halen görev yaptığı ASHRAE teknik komiteleri şunlardır:

- TC 1.4 Control Theory
- TC 7.5 Smart Building Systems



- TC 7.9 Building Commissioning

BJK Kongre, MMO ve ASHRAE üyesidir.

Evli olan Emre ÖZMEN, ileri seviyede İngilizce, orta seviyede Almanca bilmektedir.

ŞEHİRLERARASI OTOBÜSLERDE MENFEZ KONUMLARININ KABİN İÇİ HAVA DAĞILIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Investigation Of The Effect Of Vents Locations On In-Cab Air Distribution Of Intercity Buses

**Alper Mete Genç
İbrahim Atmaca
Ziya Haktan Karadeniz**

ÖZET

COVID-19 pandemisi ile birlikte kapalı ortamlarda havalandırma daha da önem kazanmıştır. Bu kapalı alanlardan biri de yolcu yoğunluğunun yüksek olduğu mikro ortamlardan olan ve sıkça tercih edilen şehirlerarası otobüslerdir. Genelde uzun süreli yolculuk sırasında otobüslerin pencere ve kapıları kapalıdır. Bu otobüslerde kullanılan iklimlendirme sistemleri, genel olarak iç ortama taze hava sağlamak yerine, iç ortamdaki havanın sürekli sirkülasyonunu yapar. Bu nedenle de kaliteli bir iç ortam havası için kabinlerin havalandırması önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı, kabinde statik ısıtma sağlanırken yapılacak taze hava beslemesi için en uygun menfez konumlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda dört farklı hava basma ve emme menfez konumu için otobüs içerisindeki hava dağılımları belirlenmiş ve hava hızlarının yolcular üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada belirli bir otobüs hacmi için koltukların tamamen dolu olduğu durum dikkate alınmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Sonuç olarak çalışılan dört senaryoda da yolcuların başları çevresindeki hava hızları yolcuları rahatsız etmeyecek şekilde 0,03 – 0,2 m/s aralığında olduğu tespit edilmiş ve senaryolardan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otobüs, hava hızı, havalandırma, iç hava kalitesi.

ABSTRACT

With the COVID-19 pandemic, ventilation in an indoor environment is became more critical. One of the microenvironments with high occupant density is intercity buses which are preferred in transportation. In general, during long-time travel, the windows and doors of the buses are closed. The ventilation systems used in such buses make the circulation of indoor air instead of providing fresh air. For this reason, it is essential to ventilate the cabins for indoor air quality. The aim of this study is to determine the most suitable vent positions for the fresh air supply to be made while providing static heating in the cabin. For this purpose, the air distributions in the bus were determined for 4 different air supply and exhaust vent positions and the effect of air velocity on passengers was examined. In the study, the situation where the seats are fully occupied for a given bus volume was considered and the analysis was carried out with computational fluid dynamics. As a result, the air velocities around the heads of the passengers were obtained in the range of 0.03 – 0.2 m/s in all 4 scenarios studied, without disturbing the passengers.

Key Words: Bus, air velocity, ventilation, indoor air quality.

1. GİRİŞ

Orta ve uzun mesafeli yolculuklar için genellikle otobüsler tercih edilmektedir. Yolculuk sırasında genellikle otobüsün kapıları uzun süre kapalı tutulmaktadır. Bu durum hem otobüsün içindeki hava kalitesini hem de ısı konforu etkileyerek rahatsız edici iç ortam oluşmasına neden olabilmektedir. İklimlendirme sistemleri, yolcular için optimum ısı konfor koşullarını sağlamaya çalışır. İklimlendirme sistemi ile otobüs içerisinde ısı konfor sağlanabilir ancak aynı havayı tekrar sirküle eden tasarımlarda iç hava kalitesi bozulacaktır. Bu durum otobüs içerisinde seyahat eden yolcularda sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle otobüslerde iç hava kalitesi dikkate alınması gereken önemli bir konudur [1].

İnsanlar belirli sıcaklık ve nem aralıklarında ve temiz havadaki ortamlarda kendilerini rahat hissederler. ASHRAE Standard 62.1-2022'ye göre ısı konforu etkileyen faktörler, kişisel ve çevresel faktörler olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır [2]. Çevresel faktörler sıcaklık, ısı radyasyon, nem ve hava hızı iken, kişisel faktörler aktivite ve giyimdir. İdeal bir iklimlendirme prosesi hem ısı konfor hem de iç hava kalitesini belirli bir seviyede sağlamalıdır. Ancak pratikte sadece ısıtma veya soğutma yapan klima sistemlerinde kontrollü bir havalandırma sistemi yoktur. Taze hava, temiz bir iç hava kalitesi sağlamak için havalandırılacak mahalin içine doğrudan dışarıdan alınırken, şartlandırılmış iç hava herhangi bir ısı geri kazanımı olmaksızın dışarıya atılmaktadır [3]. Bu havanın miktarı kadar kabin içerisindeki dağılımı da önemlidir. Hava dağıtım ve toplamasını yapan menfezlerin kabin içerisindeki hava hızlarının ısı konfor için gerekli limitler dikkate alınarak tasarlanması gerekmektedir. Bütün bunların yanı sıra dağılımın şekli de içerideki insan kaynaklı olası mikroorganizma dağılımı üzerine de etken olacaktır. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada otobüs içerisinde farklı bölgelerde oturan ve solunum yolu hastalığı taşıyan yolcuların diğer yolculara olan bulaş riski incelenmiştir. İnceleme için farklı emme ve basma alanlarına sahip 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Otobüs kabini içerisindeki hava dağılımı incelendiğinde, deplasmanlı havalandırma yönteminin en uygun yöntem olduğu ve diğer senaryolara göre bulaş riskini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır [4].

Atmaca vd. (2009) ve Zhu vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalarda insanları rahatsız etmeyecek hava hızının yaklaşık 0,2 m/s mertebesinde olduğu belirtilmiştir [5-6]. Ayrıca, Zhu vd. (2010) tarafından yapılan sayısal ve deneysel çalışmada yolcu yoğunluğuna bağlı olarak CO₂ seviyesi incelenmiştir. Doğal ya da mekanik havalandırmanın yapılmadığı durumlarda CO₂ seviyesinin ve hastalık bulaş riskinin arttığı sonucuna varılmıştır [6]. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, farklı menfez ölçülerinin ve konumlarının otobüs içerisindeki hava hızlarını ve partikül dağılımlarının nasıl etkilediği incelenmiştir. En uygun yöntemin 0,23 m/s hava hızında deplasmanlı havalandırma yöntemi (alttan basma üstten emme) olduğu sonucuna varılmıştır [4]. Vignesh vd. (2013) tarafından sunulan çalışmada farklı otobüs havalandırma yöntemleri HAD analizleri kullanılarak incelenmiştir. Otobüs içi ortamın otobüs tavanına uygun şekilde yerleştirilen mekanik havalandırma sistemleri ile iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu sayede, kabin içi hava hızlarını %131 artırdığı tespit edilmiştir [7]. Chaudhry ve Elumalai (2020) tarafından yapılan çalışmada okul otobüsü havalandırma senaryolarının kabin içi PM konsantrasyonu ve hava değişim oranları üzerindeki etkisi incelenmiştir [8]. Querol vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada farklı otobüs boyutları ve yolcu oturma düzenleri için CO₂ seviyesinin etkileri incelenmiştir. Buna bağlı olarak otobüs içerisindeki havalandırma oranlarının iyileştirilmesi için farklı çalışmalar sunulmuştur. Bunlardan en önemlileri otobüs içerisinde CO₂ seviyesini ölçen bir sensör yerleştirilmesi ve şoförün otobüs yoğunluğuna göre havalandırma debisini artırmasıdır. Bu sayede, otobüs içerisindeki CO₂ oranı kontrol edilebilecektir [9]. Atmaca (2015) tarafından yapılan çalışmada otobüs içerisinde konfor ve iç hava kalitesini etkileyen birçok parametrenin (hava hızı, havalandırma tipi, CO₂ konsantrasyonu, sıcaklık gibi.) olduğundan bahsedilmiştir [3]. ASHRAE tarafından hazırlanan Durum Dokümanı içerisinde 1000 ppm'in kullanılması ile ilgili temel oluşturulabilecek bir analiz yapmıştır [10]. Ancak, ASHRAE Standart 62.1-2022'de 1000 ppm'in sınır değer olarak kabul edilmesiyle ilgili bir ibare bulunmamaktadır [2]. Toksoy ve Sofuoğlu (2022) tarafından yapılan çalışmada 1000 ppm değerinin hemen her ülkede standart olarak kabul edildiği belirtilmiştir. Ek olarak belirtilen çalışmada şu an için 1000 ppm değerinin sınır olarak kabul edilmesi önerilmektedir [11]. Atmaca (2015) tarafından sunulan çalışmada 1000 ppm değeri sınır kabul edilmiş ve klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanmasının yeterli olacağı belirtilmiştir [3].

Bu kapsamda sunulan çalışmanın amacı, otobüs kabininde statik ısıtma sağlanırken yapılacak taze hava beslemesi için en uygun menfez konumlarının belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda 4 farklı hava basma ve emme menfez konumu için otobüs içerisindeki hava dağılımları belirlenmiş ve hava hızlarının yolcuların başları çevresindeki üzerindeki etkisi (ısı konfor) incelenmiştir. Çalışmada belirli bir otobüs hacmi için koltukların tamamen dolu olduğu durum dikkate alınmış ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile inceleme yapılmıştır. Klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanacak şekilde hava debisi belirlenmiştir.

2. YÖNTEM

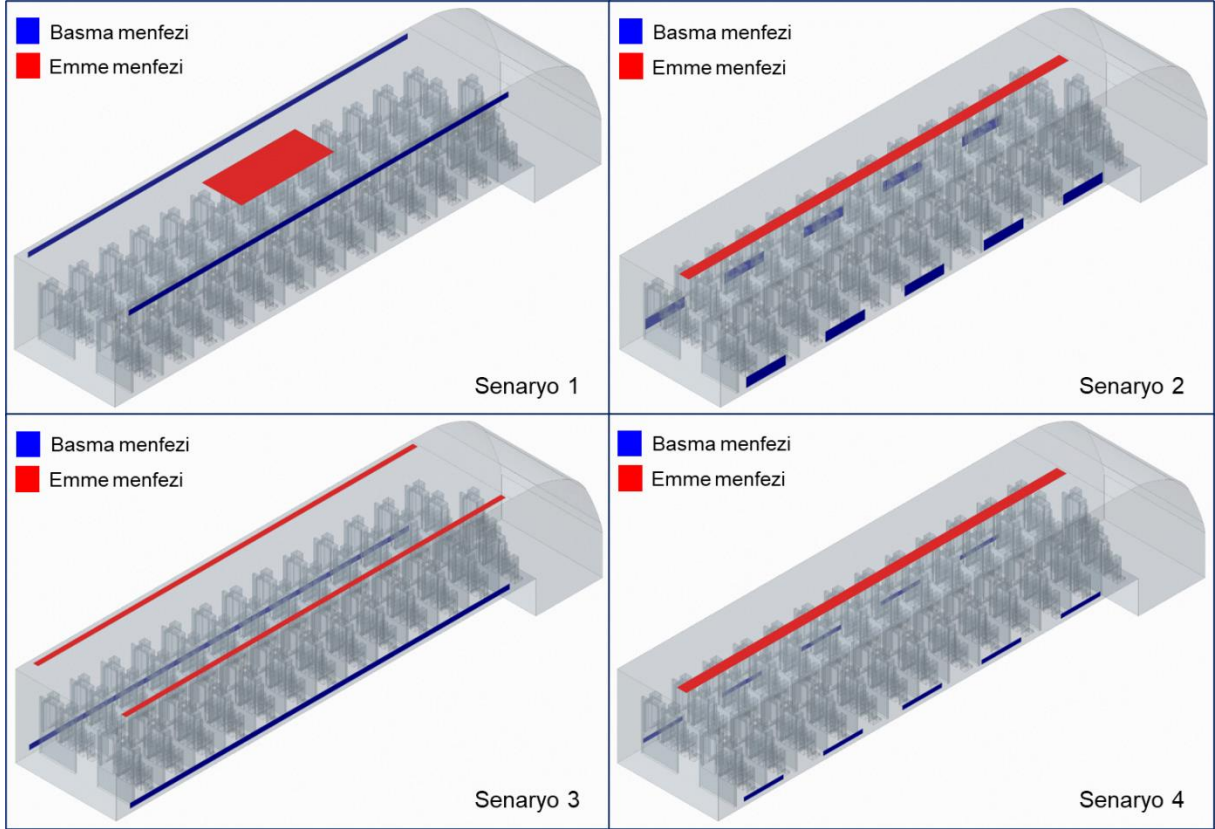
Sunulan bu çalışmada ticari bir CAD programı yardımıyla farklı menfez ölçüleri ve konumları için otobüs modelleri oluşturulmuştur. Otobüs ölçüleri ve parametreler sınır şartları bölümünde gösterilmiştir. Oluşturulan modeller ticari bir HAD programına aktarılmıştır. Türbülans çözümü için standart k-ε modeli ve korunum denklemlerini çözmek için kapalı SIMPLE algoritması [10] kullanılmıştır. Birinci dereceden şemaya sahip sonlu hacim yöntemi ile korunum denklemleri ayrıştırılmıştır. Ayrıca, yakın duvar sınır tabakası için standart duvar fonksiyonu [11] kullanılmıştır. Her bir geometri için yaklaşık olarak 11 milyon tetrahedron ağ yapısı oluşturulmuş, Navier-Stokes denklemleri çözülmüştür [12]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -\vec{\nabla} P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (2)$$

2.1. Simülasyon Senaryoları

Atmaca (2015) tarafından yapılan çalışmada, otobüslerde kullanılan ticari klima sistemleri için düşük dış ortam sıcaklıklarında en yüksek hava debisi 6900 m³/h olarak belirtilmiştir. Yüksek dış ortam sıcaklıkları için ise en düşük hava debisi 8400 m³/h'tir. Endüstriyel olmayan ortamlarda CO₂ konsantrasyonu için üst sınır 1000 ppm olarak belirtilmiş ve klima hava debisinin %25'i kadar taze hava sağlanmasının yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Belirtilen bu iki hava debisinin ortalaması alınmış ve %25'i hesaplanmıştır. Bu da sunulan çalışma için yaklaşık olarak 1950 m³/h hava debisine eşittir. Sunulan bu çalışmada 4 farklı senaryo çalışılmıştır. Basma menfezinden sağlanan hava hızı senaryo 1, 2 ve 3 için yaklaşık olarak 0,23 m/s hava hızına eşittir. Senaryo 4 için ise 0,54 m/s hava hızına karşılık gelmektedir. Atmaca vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada insanların rahatsız etmeyecek hava hızının 0,2 m/s civarında olduğu belirtilmiştir [5]. Ayrıca, Zhu vd. (2010 ve 2012) tarafından yapılan çalışmalarda da konforun sağlanabilmesi için ortalama hava hızının 0,2 m/s mertebesinde olduğu vurgulanmıştır [4, 6]. Bu 1. senaryoda basma ve emme menfez alanları 2,35 m² olarak ele alınmıştır. Otobüsün sağında ve solunda tavana yakın bölgelerde iki ayrı basma menfezi bulunmaktadır. Emme menfezi ise otobüsün tavanında orta bölümde tek parça halinde yer almaktadır. 2. senaryoda, 1. senaryoya benzer şekilde basma ve emme menfezleri 2,35 m² olarak kabul edilmiştir. Otobüsün sağ ve sol tarafında aynı ölçülerde toplam on adet hava basma menfezi oluşturulmuştur. Emme menfezi ise otobüsün tavanında orta noktada boydan boya olarak düşünülmüştür. 3. senaryoda ise diğer senaryolardan farklı olarak 2 basma ve 2 emme menfezi kullanılmıştır. Basma menfezleri otobüsün sağ ve sol tarafında tabana yakın konumlarda hemen hemen otobüs boyunca yerleştirilmiştir. Emme menfezleri ise otobüsün tavanında otobüsün yan yüzeylerine yakın bölgelere yerleştirilmiştir. Basma ve emme menfezlerinin ölçüleri aynı kabul edilmiştir. 4. senaryoda ise yüksek hava hızını gözlemleyebilmek adına basma menfezleri toplam 1 m², emme menfezi ise ortada tek kanal halinde önceki senaryolara benzer şekilde 2,35 m² olarak alınmıştır. Belirtilen bu 4 senaryoya ait görseller Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı basma ve emme menfezlerine sahip otobüs kabin içi senaryoları

2.2. Otobüs Boyutları

Otobüs boyutları ve yolcu sayıları ticari otobüslere benzer şekilde ele alınmıştır. Otobüsün uzunluğu yaklaşık 12,3 m, genişliği 2,6 m, yüksekliği 2,9 m'dir. Toplamda 42 yolcu ve 1 adet şoför bulunmaktadır. Senaryo 1, 2 ve 3 için basma menfez alanları 2,35 m², 4. senaryo için 1 m² olarak belirlenmiştir. Emme menfez alanı ise tüm senaryolar için 2,35 m² olarak belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Otobüs boyutları ve yolcu sayıları

Veri	Değer
Otobüs boyutu (en x boy x yükseklik)	2,6 x 12,3 x 2,9
Yolcu sayısı	42 kişi
Basma menfezi	Senaryo 1, 2 ve 3 için 2,35 m ² , 4. Senaryo için 1 m ² .
Emme menfezi	Bütün senaryolar için 2,35 m ² .

2.3. Sınır Koşulları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerini yapabilmek amacıyla türbülans yoğunluğu ve türbülans uzunluk ölçeği değerleri belirlenmiştir. Türbülans yoğunluğu, hız dalgalanmalarının ortalama karekökü değerinin ortalama akış hızına oranı olarak tanımlanır ve I ile gösterilir (Denklem 3). Türbülans yoğunluğu tam gelişmiş akışlarda ampirik bir korelasyon yardımıyla elde edilebilir [14]:

Türbülans uzunluk ölçeği, türbülanslı akışlarda enerji içeren büyük girdapların boyutuyla ilgili fiziksel bir niceliktir. Tam gelişmiş kanal akışlarında, türbülanslı girdaplar kanaldan daha büyük olamayacağı için kanalın boyutuyla sınırlıdır. Menfezin fiziksel boyutu ile türbülans uzunluk ölçeği arasındaki ilişki denklem 4'te gösterilmiştir. Burada, L kanal uzunluğunu göstermektedir. C_μ ise kullanılan türbülans modeline göre değişiklik göstermekle beraber $k-\epsilon$ türbülans modeli için 0,09 değerini almaktadır [15]. Ek olarak, simülasyonlarda kullanılan sınır koşulları Tablo 2' de verilmiştir.

$$I = 0,16(Re_{DH})^{-1/8} \quad (3)$$

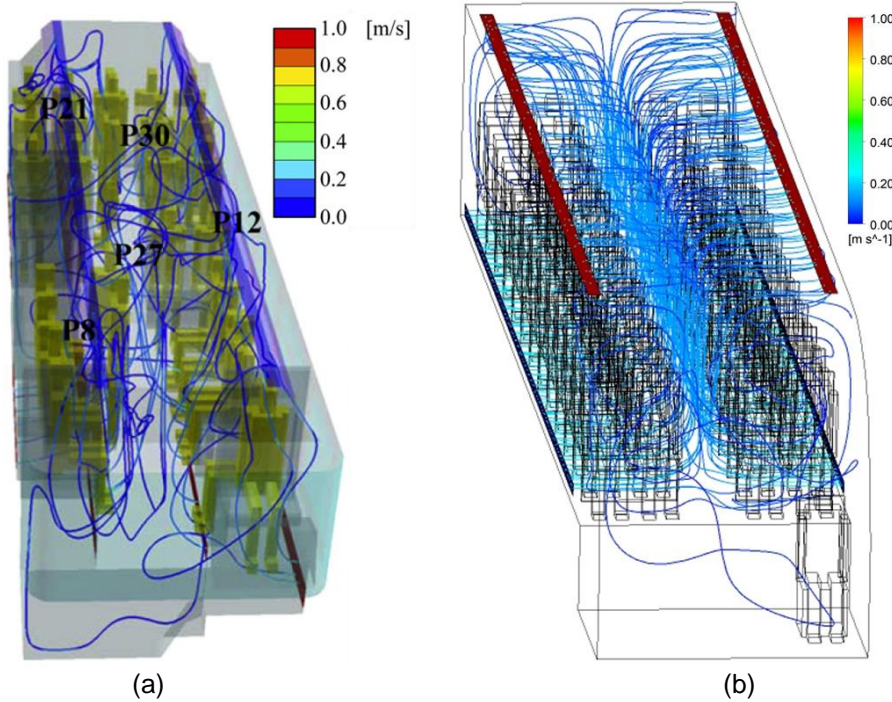
$$l = 0,07L/(C_{\mu})^{3/4} \quad (4)$$

Tablo 2. HAD analizleri için sınır koşulları

Veri	Değer
Hava debisi ve basma hızı	Hava debisi 0,54 m ³ /s; basma hızları senaryo 1,2 ve 3 için 0,23 m/s, 4. senaryo için 0,54 m/s.
Türbülans yoğunluğu	%5
Türbülans uzunluk ölçeği	0,1 m

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

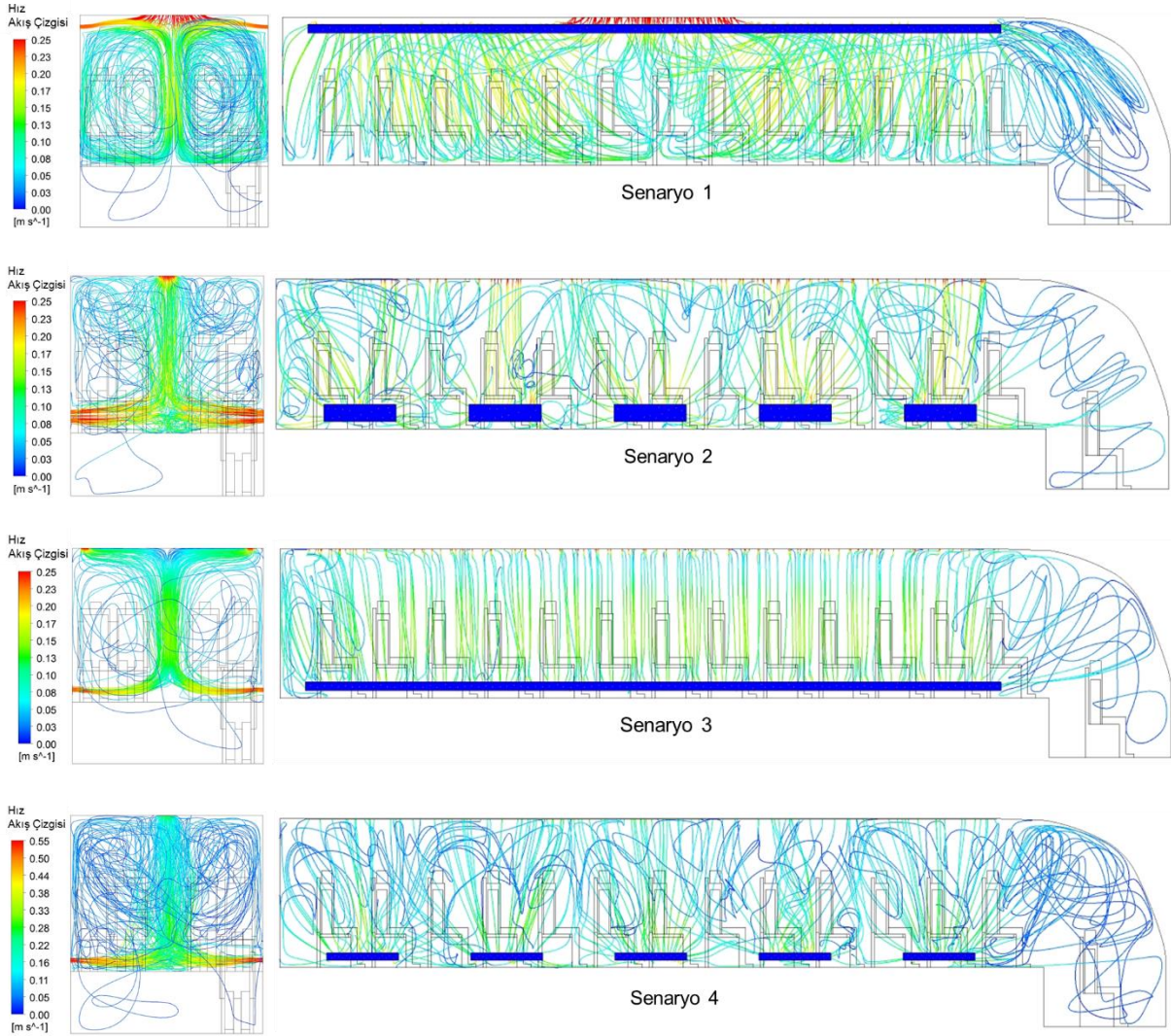
Şekil 2'de Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir. Zhu vd. (2012) tarafından yapılan çalışmaya benzer şekilde basma menfezleri otobüs kabinin sağ ve sol alt tarafında emme menfezleri ise kabinin tavan kısmında yan yüzeylere yakın bölgelere yerleştirilmiştir. Her iki çalışmada da yolcuların başları çevresindeki hızların 0,2 m/s değerini geçmediği görülmektedir. Geometrik tasarım ve yolcu düzeni farklı olduğu için çalışmalarda hava dağılımlarını mukayese etmek mümkün değildir.

**Şekil 2.** Doğrulama çalışması, (a) Zhu vd. (2012) [4] (b) mevcut çalışma

Şekil 3'te otobüs içerisinde menfez tiplerinin incelenmesi için oluşturulan senaryolara göre elde edilen bulgular verilmiştir. Yapılan analizler incelendiğinde basma ve emme menfez alan ve konumlarının otobüs içerisindeki hava sirkülasyonunu önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. 1. senaryoda yolcuların ve şoförün etrafında dolaşan hava hızları rahatsız etmeyecek seviyede olup 0,03 – 0,2 m/s aralığında elde edilmiştir. Akış dağılımları düzenli olup yolcuların etrafında daireler çizdikten sonra otobüs tavanının ortasındaki menfezden dışarı atılmaktadır. 2. senaryoda ise basma menfezlerinden içeri atılan havanın 0,25 m/s hıza ulaştıktan sonra yolcular etrafında 1. senaryodakine benzer bir

sirkülasyon oluşturmadan yolcuların bulunmadığı otobüsün ortasındaki alanda toplanarak dışarı atılmaktadır. Akış çizgilerinin otobüs içerisinde çok fazla karışmadığı görülmektedir.

3. senaryoda daha doğrusal bir akış sergilenmiştir. Hava hızı basma anından itibaren yavaşlamış ve ortalama olarak 0,13 m/s seviyesinde seyretmiştir. Yolcuların etrafında sirkülasyona uğramadan otobüsün ortasında yolcu bulunmayan bölüme toplanmış ve yolcuların baş üstlerinde bulunan menfezlerden dışarı atılmıştır. 4. senaryoda hava sistem içerisinde daha hızlı bir şekilde atılmasına rağmen, yolcuların başları çevresine belirlenen hava hızı yaklaşık olarak 0,1 m/s mertebesindedir. Her 4 senaryo incelendiğinde havanın şoföre de ulaştığı görülmekle beraber yoğun olarak 1. ve 4. senaryolarda ulaşmaktadır. 4. senaryoda havanın basma menfezinden daha hızlı atılması ile şoför etrafında akış çizgileri daha yoğun oluşmuştur. Kabin içerisinde insan kaynaklı bir mikroorganizma olması halinde diğer yolcuların etkilenmemesi için kabin içerisindeki havanın karışmaması gerekmektedir. Bu durumda 3. senaryo bulaş riskini minimize etmesi açısından en uygun senaryo olacaktır.



Şekil 3. Farklı menfez tiplerinin etkilerinin incelenmesi için oluşturulan senaryolar

SONUÇ

Sunulan bu çalışmada otobüs kabini için farklı ölçü ve konumlarda yerleştirilen basma ve emme menfezlerinin yolcu üzerindeki dağılımları ve hava hızlarının etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodları ile incelenmiştir. İnceleme amacıyla 4 farklı senaryo oluşturulmuş, oluşturulan senaryolar detaylı HAD analizleri yardımıyla gözlemlenmiştir.

1, 2 ve 3. senaryolarda otobüs içerisindeki hava hızları ortalama 0,13 m/s mertebesinde olduğu görülmektedir. 1. senaryoda otobüs içerisindeki yolcuların etrafında daha fazla hava sirkülasyonu gözlemlenirken 2. ve 3. senaryolarda hava akışı otobüs ortasında yolcuların bulunmadığı bölümde toplanıp emme menfezlerinden dışarı atılmaktadır. Akışın tüm yolculara eşit biçimde dağılması ve yolculara ulaşması durumuna bakıldığında en uygun senaryonun 1. senaryo olduğu görülmektedir. Kabin içerisinde insan kaynaklı bir mikroorganizma olması halinde diğer yolcuların etkilenmemesi için kabin içerisindeki havanın karışmaması gerekmektedir. Bu durumda 3. senaryo bulaş riskini minimize etmesi açısından en uygun senaryo olacaktır. 4. senaryoda basma hızı daha yüksek olmasına rağmen yolcuların başları çevresinde hava hızı 0,2 m/s'nin altındadır. Menfez konumlarına ve tasarımlarına bağlı olarak otobüs içi hava hızı ve partikül dağılımının değişeceği görülmektedir. Çalışma sonucunda analizleri tamamlanan bütün senaryolarda yolcuların başları çevresindeki hava hızları 0,03 – 0,2 m/s aralığında elde edilmiştir.

Yapılacak sonraki çalışmalarda basma menfezleri otobüsün tavanında, emme menfezleri ise kabinin sağ ve sol tarafında yer alacak şekilde oluşturulacak deplasmanlı tasarım ile yolcuların ve şoförün ısı konforu incelenecektir. Ayrıca, otobüs içerisinde partikül dağılımları incelenecek, hasta insan senaryoları oluşturularak Wells-Riley denklemi yardımıyla bulaş riski tespit edilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Atmaca, İ., Demirezen, A., & Çağlar, A. (2021). Energy-efficient heat exchanger design for indoor air quality in intercity buses. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-18.
- [2] ASHRAE Standart 62.1-2022, "Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality", 2022.
- [3] Atmaca, İ. (2015). Şehirlerarası Otobüslerde Havalandırma ve İç Hava Kalitesi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı
- [4] Zhu, S., Srebric, J., Spengler, J. D., & Demokritou, P. (2012). An advanced numerical model for the assessment of airborne transmission of influenza in bus microenvironments. *Building and Environment*, 47, 67-75.
- [5] Atmaca, İ., & Yiğit, A. (2009). ISIL Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar Ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller İle İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı (S. 543-555). İçinde İzmir: Altındağ Matbaacılık.
- [6] Zhu, S., Demokritou, P., & Spengler, J. (2010). Experimental and numerical investigation of micro-environmental conditions in public transportation buses. *Building and Environment*, 45(10), 2077-2088.
- [7] Vignesh, S., & Sachin, P. (2013). Evaluation of Bus Ventilation Methods Using CFD (No. 2013-26-0043). SAE Technical Paper.
- [8] Chaudhry, S. K., & Elumalai, S. P. (2020). The influence of school bus ventilation scenarios over in-cabin PM number concentration and air exchange rates. *Atmospheric Pollution Research*, 11(8), 1396-1407.
- [9] Querol, X., Alastuey, A., Moreno, N., Minguillón, M. C., Moreno, T., Karanasiou, A., ... & Felisi, J. M. (2022). How can ventilation be improved on public transportation buses? Insights from CO2 measurements. *Environmental research*, 205, 112451.
- [10] "ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide". February 2, 2022, February 2, 2022, Expires February 2, 2025.
- [11] TOKSOY, M., & SÖFUOĞLU, S. C. KARBONDİOKSİT ve SINIFLAR.
- [12] Patankar SV. Calculation of the flow field. In: Numerical heat transfer and fluid flow. New York: Hemisphere Publishing Corp; 1980.



- [13]Lauder BE, Spalding DB. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 1974;3(2): 269e89.
- [14]Cimbala, J. M., & Cengel, Y. A. (2006). Fluid mechanics: fundamentals and applications. McGraw-Hill Higher Education.
- [15]ANSYS, Inc. (2017), "ANSYS Fluent User's Guide, Release 18.2", Equation (6.58).
- [16]ANSYS, Inc. (2017), "ANSYS Fluent User's Guide, Release 18.2", Equation (6.59).

ÖZGEÇMİŞ

Alper Mete GENÇ

1991 yılı Kütahya doğumludur. 2015 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinden 2018 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2018 yılından beri İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Doktora Eğitimine devam etmektedir. Güneş Enerjisi, Nanoakışkan, Isıtma-Havalandırma ve Soğutma Uygulamaları, Eklemeli Üretim konularında çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atanmış, 2014 yılında Doçent, 2020 yılında Profesör olmuştur. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında bilimsel çalışmalar yapmakta ve Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak profesyonel meslek yaşantısını sürdürmektedir. Aynı zamanda Makine Mühendisleri Odası Antalya Şube 14. ve 15. Dönem Yönetim Kurulu Başkanı ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği (TTMD) Yönetim Kurulu Üyesidir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Ziya Haktan KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 ve 2011 yıllarında ise sırasıyla aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans ve Doktora Programlarından mezun olmuştur. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2022 yılından beri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Rüzgâr enerjisi, HVAC Bileşenlerinin 3B eklemeli Üretimi, Nanoakışkanlar konuları üzerinde çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

MEKANİK HAVALANDIRMALI SINIFLARDA HAVALANDIRMA DEBİSİNİN İÇ HAVA KALİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Numerical Investigation of The Ventilation Flow Rate Effect on The Indoor Air Quality of Mechanically Ventilated Classrooms

Nur Çobanoğlu
Çağrı Şahin
Ziya Haktan Karadeniz
Sait Cemil Sofuoğlu
Aysun Sofuoğlu

ÖZET

Okullar öğretmen ve çocukların evlerinden sonra en çok vakit geçirdikleri iç çevredir. Sınıflardaki iç hava kalitesi (İHK), öğrencilerin ve öğretmenin sağlık, konfor, akademik performans ve dikkat yeteneğini etkilemektedir. Bu nedenle sağlıklı bir ortam sağlamak için uygun bir havalandırma tasarımı oluşturmak çok önemlidir. Bu çalışma mekanik havalandırma sistemine sahip bir derslik için farklı havalandırma debilerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkisini sayısal olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, öğrencilerin 9-11 yaş aralığındaki çocuklardan elde edilen Türk antropometrik verileri (eksik boyutlar için Amerikan antropometrik verileri) kullanılarak temsil edildiği üç boyutlu bir geometride kararlı akış koşulları için yapılmıştır. Ayrıca, mobilya, sıra, masa vb. ayrıntılar da geometriye dahil edilerek akış koşulları önceki çalışmalara göre daha gerçekçi şekilde incelenmiştir. Sayısal modelde farklı çalışma durumları (menfez açısı; yatayda 22° ve düşeyde 60°, hava debisi; en az 3,7 ve en fazla 8 l/s/kişi olmak üzere) için giriş sınır şartı değiştirilmiş ve çıkış sınır şartı açıklık olarak ayarlanmıştır. Değerlendirme ölçütü olarak sınıflardaki hava yaşına bağlı hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri kullanılmıştır. Böylece sınıf içindeki konumlarına göre öğrencilerin maruz kaldığı koşullar belirlenerek, maruziyet açısından farklılıklar sadece havanın hızı ve yaşı ile değil yerel hava değişim değeri ve hava değişim verimi açısından da incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, okullar, havalandırma tasarımı, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, işletme koşulları.

ABSTRACT

Schools are the indoor environment where teachers and children spend the most time after their homes. Indoor air quality (IAQ) in classrooms affects students' and teachers' health, comfort, academic performance, and attention ability. Therefore, creating an appropriate ventilation design is essential to provide a healthy environment. This study aims to numerically investigate the effect of different ventilation rates on indoor air quality for a classroom having mechanical ventilation system. The study was conducted for steady flow conditions in a 3D geometry, in which students were represented using Turkish anthropometric data (American anthropometric data for missing dimensions) obtained from children aged 9-11. Additionally, flow conditions were investigated more realistically than in previous studies by including details such as furniture, desks and tables etc. in the geometry. In the numerical model, the inlet boundary condition has been changed for different input rates (air inlet angle; horizontally 22° and vertically 60°, air flow rate; at least 3.7 and at most 8 l/s/person) and the outlet boundary condition has been set as opening. As the evaluation criteria, the air change efficiency calculated based on the age of air in the classrooms and the local air change index determined for each student were used. Thus, the conditions that students are exposed to were

determined according to their position in the classroom, and the differences in terms of exposure were examined not only in terms of air velocity and age of air, but also in terms of local air change index and air change efficiency.

Key Words: Indoor air quality, schools, ventilation design, computational fluid dynamics, operating conditions.

1. GİRİŞ

Evlerinden sonra okullar çocukların en çok vakit geçirdikleri ikinci iç çevredir. Burada geçirdikleri zaman 9 saate kadar ulaşabilmektedir [1]. Dolayısıyla, okullardaki iç hava kalitesi çocuk sağlığı açısından önem arz eden kritik bir konudur. Bununla birlikte, okullarda iç hava kalitesinin çeşitli sebeplerle istenen düzeylerde olmadığı da bilinmekte ve bu sebepler arasında, birim alana düşen yüksek kişi sayısı, yetersiz havalandırma, yetersiz bakım ve temizlik önemli faktörler olarak sayılmaktadır [2,3]. Ek olarak, çocuklarda bağışıklık, solunum, sindirim, sinir ve üreme sistemlerinin gelişimi tamamlanmamış olup henüz tam oluşmamış bazı anatomik bariyerler, organlarını ve gelişimlerini etkileyebilecek toksik maddelerin girişine izin verebilir; dolayısıyla çocuklar kirleticilerin etkilerine daha açık ve hassastırlar [4]. Öte yandan yetişkinlerle karşılaştırıldığında vücut büyüklüklerine göre daha fazla hava solumaktadırlar [5]. Alerji ve alerjik astım ülkemiz de dâhil olmak üzere gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde yaygınlığı artan bir hastalıktır [6]. Okullarda iç havada ölçülen kirleticilerin neredeyse tamamı astım ile ilişkilendirilmiştir [7]. Diğer etkiler arasında baş ağrısı, baş dönmesi, yorgunluk, odaklanmada zorluk, göz-burun-boğaz mukozasında ve deride tahriş, burun tıkanıklığı, alerjik hassasiyet gelişimi, solunum zorluğu, alerjik rinit, atopik dermatit gibi akut ve kronik etkiler yer almaktadır [8,9]. Günümüzde en çok kronik hastalıkları olan ve solunum zorluğu çeken kişileri etkileyen Koronavirüs (SARS-CoV-2) salgını (COVID-19) tüm dünyada olduğu gibi ülkemizi de etkilemiştir. Sosyal mesafenin korunamadığı, okul gibi iç ortamlarda ihtiyaç duyulan taze hava miktarının artırılması bu denli etki yaratan salgınlarda koruyucu önlemler için kilit rolü oluşturmaktadır [10,11]. Sınıf içerisinde konuşma, öksürme, hapşırma ve gülme gibi doğal yollarla havaya yayılan ve havada asılı kalan virüs yüklü aerosollerin ortamdan uzaklaştırılması etkili havalandırma sistemleri ile sağlanabilmektedir [12]. Bu nedenle havalandırma, sınıflarda iyi iç hava kalitesi oluşturulması ve öğrenciler arası bulaşın minimize edilmesi açısından hayati önem arz etmektedir. Sağlık etkilerinin yanında iç hava kirliliği çocukların akademik başarımını (performansını) ve okula devamlarını hem dolaylı hem de doğrudan etkilemektedir [5,13].

Türkiye’de okul iç hava kalitesi hakkında yayınlanan araştırma makalelerinde CO₂, partikül madde (PM), uçucu organik madde (UOB) ve yarı uçucu organik maddelerin (YUOB) konsantrasyonları incelenmiştir [14-21, 1, 22-24]. Ekmekçioğlu ve Keskin [19] İstanbul’da bulunan beş ilköğretim okulundaki iç hava ortalama PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonlarını sırasıyla 222 (aralık: 132-290) µg/m³ ve 71 (aralık: 46-95) µg/m³ olarak bildirmişlerdir. Menteşe vd. [21] ev, ofis, anaokulu ve bir ilkokuldaki biyoaerosol, UOB ve PM_{2,5} konsantrasyonlarını araştırmışlardır. Ankara’nın Beytepe ilçesindeki etrafındaki trafik yoğunluğu düşük olan bir ilkokulun üç sınıfında yapılan çalışmada PM_{2,5} için ilkokulda mevsimsel değişkenlik düşük, anaokulunda ölçülen PM konsantrasyonları hariç bütün ortalama değerler >25 µg/m³ olarak bildirilmiştir. İzmir’de bir ortaokul sınıfında gerçekleştirilen önceki çalışmamızda ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi kurulumu öncesi ve sonrası iç çevre kalitesi araştırılmıştır [20]. Sınıfta mekanik havalandırma kurulumu öncesi okul saatlerindeki toplam uçucu bileşik konsantrasyonu aralığı 104-222 ppb, PM_{2,5} aralığı 240-666 µg/m³, CO₂ aralığı ise 958-3775 ppm olarak bulunmuştur. Kütahya’da gerçekleştirilen bir çalışmada, kırsal ve kentsel okullardaki hava kalitesi değerlendirilmiştir [14]. PM ve CO₂ değerleri kırsal bölgelerde, kentsel bölgelere göre daha az ölçülmüşken, tüm ölçümler göz önüne alındığında sınır değerlerin çok üzerinde konsantrasyonlar ölçüldüğü görülmüştür. Okul iç hava kalitesinin incelendiği güncel bir çalışmada ise Şanlıurfa’da doğal havalandırma ile şartlanan beş okulun tüm sınıflarındaki PM ve CO₂ konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre sınıflarda ısınma sezonuna ait medyan CO₂ değerlerinin 2000 ppm üzerine çıkarak 3000 ppm seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Ortalama PM_{2,5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının da sırasıyla 35,6 ± 15,8 µg/m³ ve 56 ± 12,6 µg/m³ olduğu tespit edilmiştir [1]. İç Anadolu bölgesinde, farklı okulları içeren toplamda 34 sınıfı kapsayan bir çalışmada

PM, CO₂, CO ve formaldehit tüm öğretim yılı boyunca izlenmiştir. Sonuçlara göre, sadece bir sınıfın dışında ortalama değerler sınır değerlerin üzerinde yer almıştır [15]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) 2021 yılında dış hava için verilen sınır değerleri güncellemiştir. Yeni sınır değerler yıllık ortalama PM_{2,5} için 5 µg/m³ ve PM₁₀ için 15 µg/m³ olarak belirtilmiştir. Ayrıca, 24-saatlik PM_{2,5} ve PM₁₀ maruziyetinde 3-4 günü geçmeyecek dış hava sınır değerleri sırasıyla 15 µg/m³ ve 45 µg/m³ olarak verilmiştir [25]. Pek çok ülke tarafından, CO₂ standart veya rehber değeri olarak 800 ppm ve 1000 ppm kabul edilmiştir. Sınır-etki değeri henüz önerilmemiş olmasına rağmen, 1000 ppm üzeri değerlerin insan sağlığını ne denli etkilediği uzun yıllardır bilinmektedir [26]. Öğrencilerin sağlığını ve akademik performanslarını etkileyecek düzeylere ulaşabilen bu kirleticileri gidermenin en etkili yolunun ise mekanik havalandırma olduğu belirtilmiştir [27].

Okullarda enerji tüketiminin araştırıldığı bir derleme çalışmasının sonucuna göre, enerji tüketiminin %47'si ısıtma ile alakalı olmasına karşın sadece %9'u havalandırmadan kaynaklanmaktadır [28]. Enerji tüketimini konu alan çalışmalar ısı geri kazanımlı (IGK) mekanik havalandırma sistemlerinin %30-%40 oranında enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir [29-31]. İtalya'daki bir ilkokulda IGK mekanik havalandırma kurulumu öncesi ve sonrasında CO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarının değişimi araştırılmıştır [13]. Kurulum öncesinde CO₂ konsantrasyonu 1756 ppm iken sonrasında 1002 ppm'e gerilemiştir. PM₁₀ konsantrasyonu mekanik havalandırma ile azalma göstermiş olsa da hala dış havadan daha yüksek kalmıştır (iç/dış oranı aralığı: 1,1-2,0). Danimarka'daki bir ilkokulun sınıfına kurulan mekanik havalandırmanın PCB konsantrasyonlarına olan etkisini incelenmiştir [32]. Sınıftaki hava değişim hızı kurulumdan önce 0,2 saat⁻¹ iken kurulumla birlikte 5,5 saat⁻¹'e yükselmiştir. Havalandırma devredeyken ortalama 1052 ng/m³ olan konsantrasyon havalandırmanın devreden çıkarılmasıyla 1554 ng/m³ seviyesine çıkmıştır. Bir başka çalışmada ise mekanik havalandırma kurulumunun YUOB derişimi üzerindeki etkisini araştırılmıştır [33]. Hesaplamalı yöntemlerle hava değişim oranının iç ortam gaz ve partikül fazı YUOB giderimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, hava değişim oranının 0,6 saat⁻¹'den 1,8 saat⁻¹'e çıkarılmasıyla hem gaz fazı hem de partikül fazında logK_{OA} değeri 9 ila 13 arasında olan YUOB bileşiklerinin derişiminde %60 oranında azalma sağlanmıştır. Partikül maddelerin çökme hızları ise YUOB gideriminin birincil etmeni olarak ifade edilmiştir. Ülkemizde gerçekleştirilen iyileştirme çalışmasında, IGK havalandırma sistemlerinin CO₂, PM_{2,5} ve toplam uçucu organik bileşik (TUOB) düzeylerine etkisi incelenmiştir. IGK kurulumu, CO₂ miktarının %30 ve PM_{2,5} miktarının %29 oranında azalmasını sağlarken TUOB derişimlerinde herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir [20].

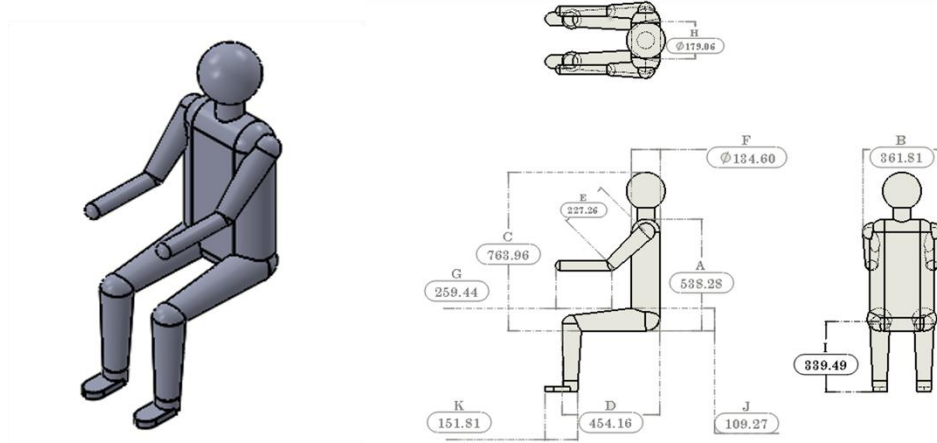
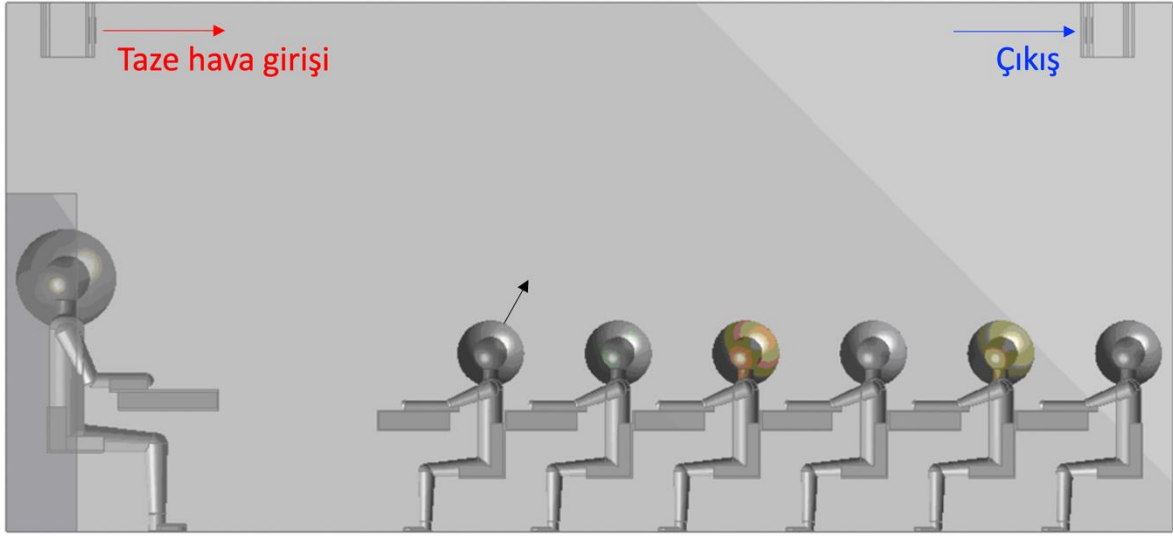
Mekanik havalandırmanın iç hava kalitesine etkisinin araştırıldığı çalışmalarda deneysel veriler ve modellemeler kullanılmıştır [34]. Deneysel veriler üzerinden havalandırma verimliliğini ve iç hava kalitesine etkisini değerlendirmek maliyetli ve meşakkatli bir süreçtir. Mekanik havalandırma üniteleri içeren ortamlarda, havanın ortam içerisindeki hareketini, hızını ve yaşını izlemek amacıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modeli kullanılmaktadır [35, 36]. 20. yüzyıl'ın ortalarında havacılık endüstrisi ve hava durumu tahmini için kullanılan HAD analizleri, muhtemelen 1970'lerde ilk olarak bina havalandırma sistemleri için kullanıldı [37]. Kütle korunumu, momentum, enerji ve süreklilik denklemlerini 3 boyutlu sistemlere uyarlamak ve karmaşık Navier-Stokes denklemlerini çözmek amacıyla günümüzde birçok yazılım (ANSYS, OpenFOAM, PHOENIX, STAR CCM+ vb.) geliştirilmiştir. HAD analizleri sıcaklık ve hız gibi değişkenlerin hem uzamsal hem de zamansal alan çözümlerini sağlar ve hesaplama alanındaki kirleticilerin dağılımını tahmin eder. Aynı zamanda, iç hava kalitesini, termal konforu, yangın ve duman yayılımını ve binaların etrafındaki rüzgâr akışını tahmin etmek için de kullanılabilir [35]. Ülkemizde mekanik havalandırma sistemlerinin iç hava kalitesine etkisini HAD modeli ile değerlendiren çalışmalar azdır [38, 20, 40-43]. Çetin vd. [38] yaptıkları çalışmada, boş test odası içerisinde havalandırma giriş-çıkışlarının konumunu değiştirerek ince partiküllerin dağılımına ve giderimine olan etkisini HAD modeli ile çalışmışlardır. Havalandırma giriş/çıkışlarının (difüzörlerin), giderime en çok verim sağlayan konumunu ve havalandırma hızının giderim üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bir diğer çalışma ise grubumuzca yapılan ve IGK mekanik havalandırma kurulumunun HAD modeli ile optimize edildiği, okullarda iç hava kalitesi iyileştirme çalışmalarının yapıldığı araştırmadır [20]. Kurulum öncesi difüzör sayısı ve konumu gibi tasarım kriterleri HAD analizi ile değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre öğrenciler üzerinde olması gereken en yüksek hava hızı belirlenmiştir. Belirlenen taze hava debisinde yataydaki ve düşeydeki en uygun menfez üfleme açıları araştırılmıştır. CO₂ tabanlı model, sınıftaki ortalama hava yaşı ile her öğrencinin kişisel olarak maruz kaldığı kirletici yükünü (yerel konforsuzluk) belirlemede kullanılmıştır.

Bu çalışmada ise, önceki çalışmanın geometrisi detaylı olarak tekrar düzenlenmiştir. Geometri içerisinde yer alan öğretmen ve öğrencileri (9-11 yaş grubunu) temsil edecek Türk antropometrik verileri (eksik boyutlar için Amerikan antropometrik verileri) kullanılmıştır. Ayrıca, mobilya, sıra ve sıra altı boşluklar da geometriye dahil edilmiştir. Sayısal modelde çalışma durumları çıkış sınır şartı açıklık olacak şekilde farklı giriş debileri (menfez açısı; yatayda 22° ve düşeyde 60° , hava debisi; en az 3,7 ve en fazla 8 l/s/kişi olmak üzere) için hava değişim verimini hesaplama amacıyla parametrik olarak yeniden çözdürülmüştür. Sadece hava hızı ve yaşı değil yerel hava değişim değeri ve hava değişim verimi değerlendirilerek sınıf içindeki konumlarına göre öğrenciler arasında maruziyetin ve maruziyet açısından farklılığı incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma farklı havalandırma debilerinin iç hava kalitesi üzerindeki etkisini sınıflardaki hava yaşına bağlı olarak hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri açısından sayısal olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Sınıf ortamındaki hız ve hava yaşı dağılımı daha önce farklı havalandırma tasarımları için incelenmiştir [20]. Bu çalışmada ise daha önceki modelden farklı olarak geometri içerisinde yer alan öğrencileri (9-11 yaş grubunu) temsil edecek Türk antropometrik verileri [44] ve ulaşılamayan değerler içinse Amerikan antropometrik verilerinden [45] yararlanarak her iki veri setinin ortalaması kullanılarak öğrenciler geometriye eklenmiştir (Şekil 1). Ayrıca sınıfın geometrik modeline sıra ve sıra altı boşluklar ile birlikte havalandırma tesisatının temel unsuru olan dağıtım ve toplama kanalları da eklenmiştir. Sayısal modeli oluşturmak ve belirlenen sınır şartlarında korunum denklemlerinin çözümü için ticari bir yazılım olan ANSYS CFX kullanılmıştır. Isı transferi modellenmemiş ve türbülans etkileri k- ϵ türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Okul binaları için uluslararası ve yerel standartlar, kişi başına ve/veya birim alan başına minimum taze hava ve/veya maksimum CO₂ konsantrasyonu ile ilişkilendirilmiştir [46]. İngiltere'de Building Bulletin 101 tarafından minimum taze hava debisi 3 l/s/kişi olarak önerilirken gerektiğinde bu değer 8 l/s/kişi'ye kadar çıkabilmektedir. Ayrıca sınıf içerisindeki CO₂ konsantrasyon limitleri için ise (1) uzun ara verilmeyen süreler için 1500 ppm'in altında tutulmasını, (2) okul günü boyunca 5000 ppm'in altında tutulmasını ve (3) herhangi bir anda 1000 ppm'in altına düşürülebilmesini önermiştir [47]. Ekren vd. [20] pilot sınıftaki iç hava CO₂ konsantrasyon değişimini incelemek için CO₂ kütle dengesini kullanmıştır. Farklı akış hızları ile çalışılan modelden elde edilen CO₂ konsantrasyon değerlerinin Building Bulletin 101 standardına uygunluğu araştırılmış ve bu kapsamda CO₂ konsantrasyonunu belirtilen seviyelerin altında tutan en düşük ve en yüksek debi sırasıyla 3,7 l/s/kişi ve 8 l/s/kişi olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen sayısal modelde ise çalışma durumları çıkış sınır şartı açıklık olacak şekilde farklı giriş debileri (3,7, 5,83 ve 8 l/s/kişi olmak üzere 413, 653 ve 893 m³/h) için hava değişim verimini hesaplama amacıyla parametrik olarak çözdürülmüştür. Temiz havayı sınıfa düzgün bir şekilde dağıtmak için üç ayrı parçalı ($22^\circ/0^\circ/-22^\circ$) 44° 'lik ayrışan bir giriş ızgarası seçilmiştir. Menfez açısı düşeyde 60° olarak belirlenmiştir. Toplam taze hava giriş menfezlerine eşit olarak dağıtılmıştır.



Şekil 1. Sınıf geometrisi (Boyutlar mm olarak tanımlanmıştır.)

Giriş menfezinden odaya giren havanın belirli bir noktaya gelmesi için gereken süre ortalama hava yaşı olarak ifade edilir. Hava yaşı, havanın tazeliğinin bir göstergesidir. Ortalama hava yaşı (Mean Age of Air – MAoA), sayısal modelde skaler bir büyüklük (ϕ) olarak tanımlanmış, kararlı akış durumu için korunum denklemlerine ek olarak bir taşınım difüzyon denkleminin eklenmesi ile hesaplanmıştır [48]:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} = \nabla \cdot (\rho\vec{V}\phi) + S_\phi \quad (1)$$

Burada t zamanı, ρ yoğunluğu, \vec{V} hareket eden niceliğin ortalama hızını ve S_ϕ ise skaler terimin kaynağını ifade etmektedir. Kararlı akış durumu için eşitlik (1) şu şekilde basitleştirilebilir:

$$\nabla \cdot (\rho\vec{V}\phi - \rho D \nabla \phi) = S_\phi \quad (2)$$

S_ϕ kaynak terimi 1 olarak alınmıştır [48-50]. D skaler büyüklüğün kinematik yayılımını ifade etmektedir ve laminer ve türbülanslı iki bileşeni vardır:

$$D = \frac{\mu}{\sigma_L} + \frac{\mu_T}{\sigma_T} \quad (3)$$

burada μ viskoziteyi, μ_T ise türbülans viskozitesini ifade etmektedir. σ_L ve σ_T sırasıyla laminer ve türbülanslı Schmidt sayılarıdır. Bu çalışmada akışkan türbülanslı olduğundan, türbülanslı viskozite

laminer viskoziteye göre daha yüksek ve dolayısıyla laminer bileşen türbülanslı bileşene göre daha zayıf bir etkiye sahip olacaktır [48]. ANSYS CFX'te türbülanslı akışlar için türbülans difüzyonu adveksiyon teriminin ortalamasının alınmasının bir sonucu olarak varsayılan şekilde çözüme dahil edilmiştir. Bu nedenle, kinematik yayılım tanımlanmamış, ancak çözüme dahil edilmiştir.

Havanın ortalama yaşı, hava bileşenlerinin bir noktadaki yaş dağılımına dayanan istatistiksel bir kavramdır [52]. Odadaki tüm havanın ortalama yaşı ($\bar{\tau}$) havanın yerel ortalama yaşlarının mekansal ortalamasına ($\bar{\tau}_p$) ve odadaki tüm hava için hava değişim süresi (τ_r) ise odadaki ortalama hava yaşının ($\bar{\tau}$) iki katına eşittir. Aynı havalandırma hava akışıyla teorik olarak en hızlı orana kıyasla odadaki havanın ne kadar hızlı değiştirildiğini gösteren hava değişim verimi ε^a , odadaki hava için mümkün olan en kısa hava değişim süresi (nominal zaman sabiti) ile gerçek hava değişim süresi arasındaki oran olarak tanımlanır.

$$\varepsilon^a = \frac{\tau_n}{\tau_r} = \frac{\tau_n}{2\langle\bar{\tau}\rangle} \quad (4)$$

Burada τ_n nominal zaman sabitidir [52]. Çıkış bölgesinde, nominal zaman sabiti her zaman havanın yerel ortalama yaşına eşittir ve şu şekilde tanımlanır:

$$\tau_n = \frac{\text{Odanın hacmi}}{\text{Havalandırma debisi}} = \frac{V}{q_v} \quad (5)$$

Bir odadaki farklı akış koşulları için hava değişim verimliliği Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Farklı akış koşulları için hava değişim verimliliği [52].

Akış koşulu	ε^a
İdeal piston	1
Deplasmanlı havalandırma	$0,5 < \varepsilon^a < 1$
Tam karışım	0,5
Kısa devre	$\varepsilon^a < 0,5$

Yerel hava değişim değeri ise ε_p^a belirli bir noktadaki koşulları gösterir ve ölçüm noktasının bulunduğu odadaki konumu nedeniyle büyük olabilir [52]. Nominal zaman sabiti ile belirli bir noktadaki (P) havanın yerel ortalama yaşı arasındaki oran olarak tanımlanır:

$$\varepsilon_p^a = \frac{\tau_n}{\tau_p} \quad (6)$$

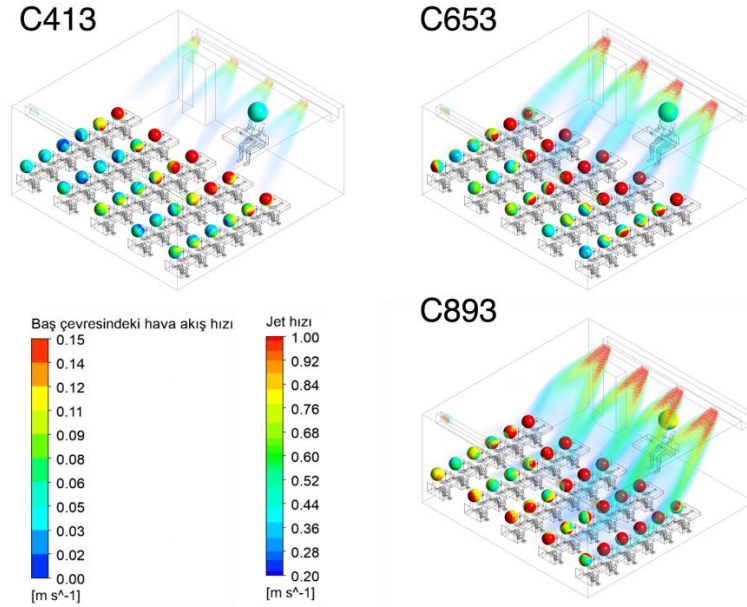
Tam karışım durumunda, havanın yerel ortalama yaşı tüm odada aynı olduğundan (nominal zaman sabitine eşit) tüm odada yerel hava değişim değeri 1'e eşit olarak çıkmaktadır [52].

3. BULGULAR

Bu çalışmada 3 farklı havalandırma debisinin (413, 653 ve 893 m³/h) sınıflardaki iç hava kalitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hız dağılımı ve hava yaşı dağılımı detaylı olarak inceleyebilmek için öğretmen ve öğrencilerin başlarının etrafında küresel hava bölgeleri tanımlanmıştır. Bu küresel hava bölgeleri, havanın içinde, akış üzerinde hiçbir etkisi olmayan, ancak kişilerin başlarının etrafındaki hava kalitesi ve konfor göstergelerini görselleştirmek ve hesaplamak için kullanılabilen sanal yüzeylerdir. Bu nedenle, bu çalışmada bir sınıf için iç hava kalitesi hesaplamalarının sonuçlarının alternatif bir temsili sunulmaktadır.

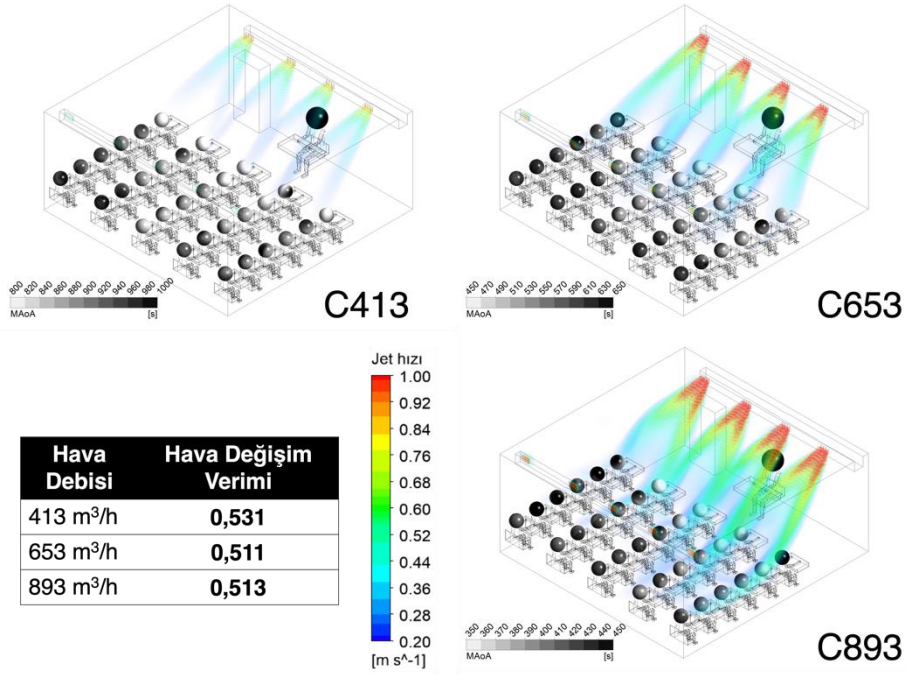
Her bir debi değeri sırasıyla C413, C653 ve C893 durumu olarak sonuçlarda gösterilmiştir. Isıl konfor şartlarını sağlayan en yüksek hız değeri (0,15 m/s) göz önünde bulundurularak havalandırma debilerinin öğrenciler ve öğretmenin baş çevresindeki hız dağılımı üzerindeki etkisi Şekil 2'de

gösterilmiştir. Sınıf içindeki jet akışını ve kafaların etrafındaki hız dağılımını görselleştirmek için farklı ölçeklerde aynı renk şeması kullanılmıştır. Baş kısımlarındaki kırmızı renk yüksek miktarda hava akımına maruz kalma durumunu, mavi renk kötü havalandırma şartlarını ve yeşil renk ise hava hızı açısından konforlu durumu temsil etmektedir. Havalandırma debisinin artması, yüksek hava hızlarına maruz kalan öğrenci sayısını arttırmakla birlikte bu bölgeyi de duvar kenarlarına doğru genişletmiştir. C413 durumunda ise yüksek hıza maruz kalan öğrenci sayısı az olmasına rağmen kötü havalandırma şartlarında bulunan öğrenci sayısı C653 durumuna kıyasla daha yüksektir. Isıl konfor şartlarını sağlayan en yüksek hız değeri açısından değerlendirildiğinde, C653 durumu yani orta hızdaki havalandırma debisi tasarım açısından uygun görülmektedir.



Şekil 2. Öğretmen ve öğrencilerin baş çevresindeki hız dağılımı.

Öğretmen ve öğrencilerin baş çevrelerindeki sanal yüzeyler üzerindeki ortalama hava yaşı (MAoA) dağılımı Şekil 3'de gösterilmiştir. Her durum için taze havaya direkt maruz kalan en ön sıradaki öğrenciler için MAoA değerleri daha düşüktür, arka sıralara gittikçe MAoA değeri artmıştır. Hava değişim verimleri incelendiğinde C413 durumu için Tablo 1'de sunulan ε^a 'nın $0,5 < \varepsilon^a < 1$ aralığında bulunması akış koşulunun deplasmanlı havalandırma olduğunu göstermektedir [50]. Havalandırma debisinin artmasıyla hava değişim veriminde görülen %2 azalma, akış koşulunu tam karışım sınırına yaklaştırmış ve bu akış koşulunun da göz önünde bulundurulmasını gerektirmiştir.

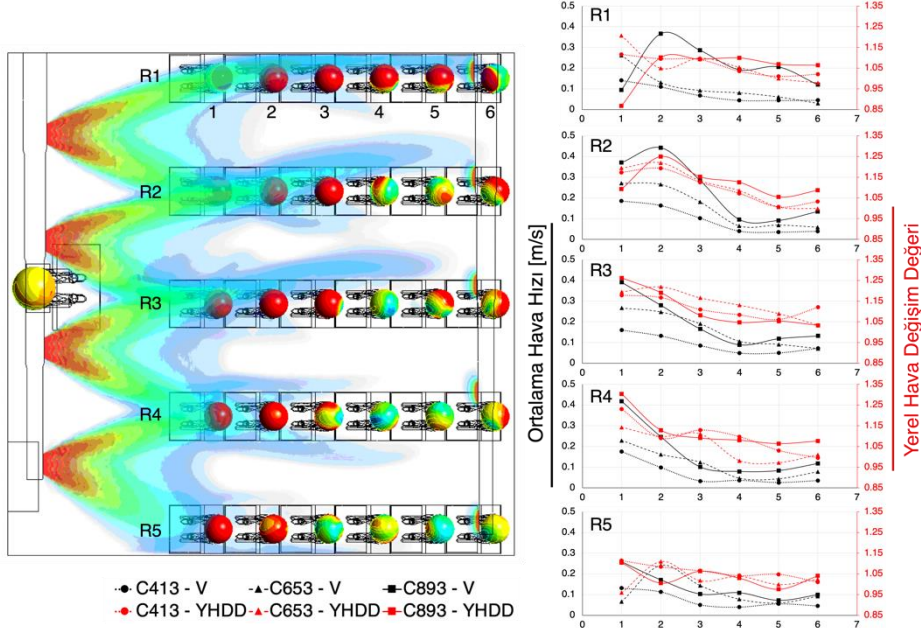


Şekil 3. Öğretmen ve öğrencilerin baş çevresindeki MAoA dağılımı ve hava değişim verimi.

Sınıf içerisindeki yerel ortalama hız değerleri incelendiğinde yüksek havalandırma debisi (C893) için yan duvar kenarlarında ön sıralarda daha düşük hızlar gözlenmiştir (Şekil 4). Şekil 3'te de C893 durumunda gözlenen bu durum, yan duvarların jeti akış doğrultusunda kavislendirerek ön sıralarda hız dağılımını etkileyip ortalama hız değerlerinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Arka sıralarda ise ortalama hız değerleri daha da düşmüş ve C413 ile C653 durumları için ortalama hız değerleri neredeyse aynı çıkmıştır. Şekil 2'de gösterilen hız dağılımlarında da bu değişim gözlenmiştir.

Hava yaşına bağlı olarak hesaplanan yerel hava değişim değeri dolayısıyla yerel ortalama hız değerine de bağlıdır ve bu ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Hava değişim verimi açısından tam karışım akış koşulunun ($\varepsilon^a=0,5$) göz önünde bulundurulmasını gerektiren C653 ($\varepsilon^a=0,51$) durumunda yerel hava değişim değeri ε_p^a arka sıralarda 1 değerine (tam karışım akış koşulu için $\varepsilon_p^a=1$) yaklaşmıştır. C893 durumunda ise her bir öğrenci için yerel hava değişim değeri ε_p^a farklı çıkması hava değişim verimi için göz önünde bulundurulması öngörülen tam karışım akış koşulunu ihtimal dışı bırakmıştır. C413 durumunda ise yerel hava değişim değerlerinin her bir öğrenci için farklı çıkması ve hava değişim veriminin 0,53 olması deplasmanlı havalandırma akış koşulunun etkin olduğunu göstermektedir.

Kısıtlı hacim içerisindeki yüksek jet hızı hacim sınırlarının etkisinde kalarak akış koşullarında yerel farklılıklara neden olmuştur. Bütünsel olarak hava değişim verimine ek olarak yerel ortalama hız, yerel hava yaşı ve yerel hava değişim değerini de havalandırma tasarımı sürecinde değerlendirmek gereklidir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre havalandırma debisinin artması hava değişim verimi üzerinde tek başına olumlu etki yaratmamış, jet davranışı açısından menfez açılarının ve dolayısıyla menfez tasarımının da incelenmesi önemlidir.



Şekil 4. Sınıf içerisinde baş çevresindeki yerel ortalama hız (V) ve yerel hava değişim değeri dağılımı (YHDD)

SONUÇ

Evlerinden sonra okullar çocukların en çok vakit geçirdikleri ikinci iç çevredir. Sınıflardaki iç hava kalitesi, öğrencilerin ve öğretmenin sağlık, konfor, akademik performans ve dikkat yeteneğini etkilediğinden sağlıklı bir ortam sağlamak için uygun bir havalandırma tasarımı oluşturmak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada farklı havalandırma debilerinin (3,7, 5,83 ve 8 l/s/kişi olmak üzere 413, 653 ve 893 m³/h – C413, C653 ve C893 durumları) iç hava kalitesi üzerindeki etkisi sınıflardaki hava yaşına bağlı olarak hesaplanan hava değişim verimi ve her bir öğrenci özelinde belirlenen yerel hava değişim değeri açısından sayısal olarak incelenmiştir. Yüksek havalandırma debilerinde (C893) yüksek hıza maruz kalan öğrenci sayısı artmış, düşük havalandırma debilerinde (C413) de yetersiz havalandırma durumu gözlenmiştir. Ortalama hava yaşı ön sıralarda taze havanın direkt etkisiyle daha düşükken arka sıralarda daha yüksek olarak gözlenmiştir. Tam karışmış akış koşulunun ($\varepsilon^a=0,5$ ve $\varepsilon_p^a=1$) göz önünde bulundurulmasını gerektiren C653 durumunda ($\varepsilon^a=0,511$) yerel hava değişim değeri ε_p^a arka sıralarda 1 değerine yaklaşmıştır. C893 durumunda ise her bir öğrenci için yerel hava değişim değeri ε_p^a farklı çıkmış olması hava değişim verimi ($\varepsilon^a=0,513$) için tam karışım akış koşulunu ihtimal dışı bırakmaktadır. C413 durumunda ise yerel hava değişim değerlerinin her bir öğrenci için farklı çıkması ve hava değişim veriminin 0,53 olması deplasmanlı havalandırma akış koşulunun etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca kısıtlı hacim içerisindeki yüksek jet hızı hacim sınırlarının etkisinde kalarak akış koşullarında yerel farklılıklara neden olmuştur. Sonuç olarak hava değişim verimine ek olarak yerel ortalama hız, yerel hava yaşı ve yerel hava değişim değerini de havalandırma tasarımı sürecinde değerlendirmek gereklidir. Jet davranışının da değişimini göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimliliği ve iç hava kalitesi kapsamında havanın sınıf içerisindeki düzgün dağılımı için havalandırma debisi ile birlikte menfez tasarımı da kritik önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 120R040 No'lu proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] SAHIN, C., RASTGELDI DOGAN, T., YILDIZ, M., SOFUOGLU, S. C. 2022. "Indoor environmental quality in naturally ventilated schools of a dusty region: Excess health risks and effect of heating and desert dust transport". *Indoor Air*, 32(7), e13068.
- [2] DAISEY, J. M., ANGELL, W. J., APTE, M. G. 2003. "Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information". *Indoor air*, 13(LBNL-48287).
- [3] SMEDJE, G., NORBÄCK, D., EDLİNG, C. 1997. "Asthma among secondary schoolchildren in relation to the school environment". *Clinical and Experimental Allergy*.
- [4] ANNESI-MAESANO, I., BAIZ, N., BANERJEE, S., RUDNAI, P., RIVE, S., GROUP, S. 2013. "Indoor air quality and sources in schools and related health effects". *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 16(8), 491–550.
- [5] MENDELL, M. J., HEATH, G. A. 2005. "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature". *Indoor Air*.
- [6] KILIC, M., EDE, G., UZUNCAKMAK, T. 2021. "The reliability and validity of the Turkish version of the school-based asthma and allergy screening questionnaires". *BMC pediatrics*, 21(1), 1–9.
- [7] FEDERICO, M. J., MCFARLANE II, A. E., SZEFLER, S. J., ABRAMS, E. M. 2020. "The impact of social determinants of health on children with asthma". *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 8(6), 1808–1814.
- [8] ANNESI-MAESANO, I., MOREAU, D., CAÏLLAUD, D., LAVAUD, F., LE MOULLEC, Y., TAYTARD, A., ... CHARPIN, D. 2007. "Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children". *Respiratory medicine*, 101(8), 1721–1729.
- [9] SIMONI, M., ANNESI-MAESANO, I., SIGSGAARD, T., NORBACK, D., WIESLANDER, G., NYSTAD, W., ... VIEGI, G. 2010. "School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children". *European Respiratory Journal*, 35(4), 742–749.
- [10] MITTAL, R., NI, R., SEO, J.-H. 2020. "The flow physics of COVID-19". *Journal of fluid Mechanics*, 894.
- [11] SCHIBUOLA, L., TAMBANI, C. 2021. "High energy efficiency ventilation to limit COVID-19 contagion in school environments". *Energy and Buildings*, 240, 110882.
- [12] CHEN, C., ZHAO, B. 2020. "Makeshift hospitals for COVID-19 patients: where health-care workers and patients need sufficient ventilation for more protection". *Journal of Hospital Infection*, 105(1), 98–99.
- [13] STABILE, L., BUONANNO, G., FRATTOLILLO, A., DELL'ISOLA, M. 2019. "The effect of the ventilation retrofit in a school on CO₂, airborne particles, and energy consumptions". *Building and Environment*, 156, 1–11.
- [14] ARIKAN, İ., TEKİN, Ö. F. 2020. "Partiküler Madde ve Karbondioksit için İç Ortam Hava Kalitesi İndeksi (İHKİ) Hesaplaması: Okul Örneği/Calculation Of Indoor Air Quality Index (IAQI) For Particulate Matter And Carbondioxide: A School Sample". *ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi*, 5(2), 188–195.
- [15] BABAĞLU, Ü. T., ÖĞÜTÇÜ, H., ERDOĞDU, M., TAŞKIRAN, F., GÜLLÜ, G., OYMAK, S. 2022. "Assessment of Indoor Air Quality in Schools from Anatolia, Turkey".
- [16] BABAYİĞİT, M. A., BAKİR, B., TEKBAŞ, Ö. F., OĞUR, R., KİLİC, A., ULUS, S. 2014. "Indoor air quality in primary schools in Keçiören, Ankara". *Turkish journal of medical sciences*, 44(1), 137–144.
- [17] DEMİRCİGİL, G. Ç., ERDEM, O., GAGA, E. O., ALTUĞ, H., DEMİREL, G., ÖZDEN, Ö., ... VAN DOORN, W. 2014. "Cytogenetic biomonitoring of primary school children exposed to air pollutants: micronuclei analysis of buccal epithelial cells". *Environmental Science and Pollution Research*, 21(2), 1197–1207.
- [18] DEMİREL, G., ÖZDEN, Ö., DÖ, T., GAGA, E. O. 2014. "Science of the Total Environment Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor / outdoor concentrations and risk assessment", 474(2), 537–548.
- [19] EKMEKÇIOĞLU, D., KESKİN, S. S. 2007. "Characterization of indoor air particulate matter in selected elementary schools in Istanbul, Turkey". *Indoor and Built Environment*, 16(2), 169–176.
- [20] EKREN, O., KARADENİZ, Z. H., ATMACA, I., UGRANLI-CİCEK, T., SOFUOGLU, S. C., TOKSOY, M. 2017. "Assessment and improvement of indoor environmental quality in a primary school". *Science and Technology for the Built Environment*, 23(2), 391–402.
- [21] MENTESE, S., RAD, A. Y., ARISOY, M., GÜLLÜ, G. 2012. "Multiple comparisons of organic, microbial, and fine particulate pollutants in typical indoor environments: Diurnal and seasonal

- variations". Journal of the Air and Waste Management Association, 62(12), 1380–1393.
- [22] SEVENCAN, A. C., SEVENCAN, F., VAIZOĞLU, S., GÜLER, Ç. 2011. "Ankara'da bir ilköğretim okulunun iç ve dış çevresel özelliklerinin değerlendirilmesi".
- [23] SOFUOĞLU, A., KIYMET, N., KAVCAR, P., SOFUOĞLU, S. C. 2010. "Polycyclic and nitro musks in indoor air: A primary school classroom and a women's sport center". Indoor air, 20(6), 515–522.
- [24] SOFUOĞLU, S. C., ASLAN, G., INAL, F., SOFUOĞLU, A. 2011. "An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools". International journal of hygiene and environmental health, 214(1), 36–46.
- [25] WHO Air quality Guidelines. 2021. "WHO global air quality guidelines". Coastal And Estuarine Processes, 1–360.
- [26] TOKSOY, M., SOFUOĞLU, S. C. 2022. "Karbondioksit ve Sınıflar". Ankara/TÜRKİYE: Makina Mühendisleri Odası. 23-01-2023 tarihinde adresinden erişildi <https://hdl.handle.net/11147/12541>
- [27] SOFUOĞLU, S. C., TOKSOY, M. 2021. "Covid-19 ve Okullarda Mekanik Havalandırmanın Aciliyeti".
- [28] PEREIRA, L. D., RAIMONDO, D., CORGNATI, S. P., DA SILVA, M. G. 2014. "Energy consumption in schools—A review paper". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40, 911–922.
- [29] AKBARI, K., OMAN, R. 2013. "Impacts of heat recovery ventilators on energy savings and indoor radon in a Swedish detached house". WSEAS Trans. Environ. Dev, 1(9), 24–34.
- [30] HARVEY, L. D. D. 2009. "Reducing energy use in the buildings sector: measures, costs, and examples". Energy Efficiency, 2(2), 139–163.
- [31] LIDDAMENT, M. W., ORME, M. 1998. "Energy and ventilation". Applied Thermal Engineering, 18(11), 1101–1109.
- [32] LYNG, N. L., GUNNARSEN, L., ANDERSEN, H. V. 2015. "The effect of ventilation on the indoor air concentration of PCB: an intervention study". Building and Environment, 94, 305–312.
- [33] LIU, C., ZHANG, Y., BENNING, J. L., LITTLE, J. C. 2015. "The effect of ventilation on indoor exposure to semivolatile organic compounds". Indoor Air, 25(3), 285–296.
- [34] HE, Y., CHU, Y., ZANG, H., ZHAO, J., SONG, Y. 2022. "Experimental and CFD study of ventilation performance enhanced by roof window and mechanical ventilation system with different design strategies". Building and Environment, 224, 109566.
- [35] LI, Y., NIELSEN, P. V. 2011. "CFD and ventilation research". Indoor air, 21(6), 442–453.
- [36] SHREE, V., MARWAHA, B. M., AWASTHI, P. 2019. "Assessment of indoor air quality in buildings using CFD: A brief review". International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences, 4(5), 1154.
- [37] NIELSEN, P. V. 1973. "Computation of air movement in a pressure-ventilated room". Gesundheits-ingenieur, 94(10), 299–302.
- [38] CETIN, Y. E., AVCI, M., AYDIN, O. 2019. "Influence of ventilation strategies on dispersion and removal of fine particles: An experimental and simulation study". Science and Technology for the Built Environment, 0(0), 1–17.
- [39] MUTLU, M., & ÇALIŞKAN, E. 2019. "Kaset Tipi Klimalarda Termostat Yerleşiminin Ortam İçerisindeki Hız, Sıcaklık ve Partikül Dağılımına Olan Etkisinin Sayısal Araştırılması". 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.
- [40] MUTLU, M. 2019. Yerden Isıtma Sisteminde Partikül Kaynağının "Oda İçerisindeki Solunabilir Madde Miktarına Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi". 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.
- [41] MUTLU, M. 2020. "Numerical investigation of indoor air quality in a floor heated room with different air change rates". Building Simulation (C. 13, ss. 1063–1075). Springer.
- [42] ONBAŞIOĞLU, S. U., DİKEÇ, E., UĞURLU, B. & DOĞU, O. 2015. "İç Hava Kalitesinin Sağlanmasında Sıcaklık ve Nem Dağılımının Modellenmesi". 12. Ulusal Tesisat Kongresi. İzmir.
- [43] YÜKSEL, A., ARICI, M., KRAJČÍK, M., CİVAN, M., KARABAY, H. 2022. "Energy consumption, thermal comfort, and indoor air quality in mosques: Impact of Covid-19 measures". Journal of Cleaner Production, 354, 131726.
- [44] UŞAN, Ş. (2010). *İlköğretim okullarının ergonomik açıdan değerlendirilmesi ve yeniden düzenlenmesi: Çukurova bölgesindeki uygulamalar* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [45] FRYAR, C. D., GU, Q., & OGDEN, C. L. (2012). *Anthropometric reference data for children and adults*; United States, 2007-2010.
- [46] IANNIELLO, E. (2011). Ventilation systems and IAQ in school buildings. *Rehva journal*, 26-9.
- [47] BDE (2016). Building Bulletin 101, *Ventilation of School Buildings: Regulations Standards Design*



- Guidance*. British Department of Education.
- [48]CHANTELOUP, V., & MIRADE, P. S. (2009). Computational fluid dynamics (CFD) modelling of local mean age of air distribution in forced-ventilation food plants. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 90-103.
- [49]BARTAK, M., BEAUSOLEIL-MORRISON, I., CLARKE, J. A., DENEV, J., DRKAL, F., LAIN, M., ... & STANKOV, P. (2002). Integrating CFD and building simulation. *Building and Environment*, 37(8-9), 865-871.
- [50]GAN, G. (2000). Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. *Energy and buildings*, 31(1), 65-73.
- [51]HU, S. C., & CHUAH, Y. K. (2003). Deterministic simulation and assessment of air-recirculation performance of unidirectional-flow cleanrooms that incorporate age of air concept. *Building and Environment*, 38(4), 563-570.
- [52]MUNDT, E., MATHISEN, H. M., NIELSEN, P. V., & MOSER, A. (2004). *Ventilation effectiveness*. REHVA.

ÖZGEÇMİŞ

Nur ÇOBANOĞLU

1993 yılı İzmir doğumludur. 2016 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi'nde 2018 yılında Nanobilim ve Nanoteknoloji alanında yüksek lisansını tamamlamış ve hemen ardından aynı üniversitenin Makina Mühendisliği Bölümü'nde doktora programına başlamıştır. Doktora tezinin konusunu soğutma uygulamaları, ısı transferi sistemleri ve nanoakışkanlar oluştururken, sıvıların temas açısı ve yüzey gerilmesi ile havalandırma ve iç hava kalitesi konularında da çalışmaları mevcuttur.

Çağrı ŞAHİN

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. 2017 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği, Bilimi ve Teknolojileri Bölümünden Yüksek Lisans derecesini almış ve aynı yıl doktora programına başlamıştır. 2018 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaya başlamıştır. Günümüzde doktora eğitimi İYTE Çevre Mühendisliği bölümünde devam etmektedir. Doktora tezinin konusu iç hava kalitesi ve kontrolü çalışmalarından oluşmaktadır.

Ziya Haktan KARADENİZ

Lisans öğrenimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans ve doktora öğrenimini Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı'nda tamamladı. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yaptı. 2013-2021 yılları arasında İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. 2022 yılı itibarıyla İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde doçent olarak görev yapmaktadır. Isı transferi sistemleri, havalandırma sistemleri ve iç hava kalitesi ile rüzgar enerjisi konularında çalışmalarına devam etmektedir.

Sait Cemil SOFUOĞLU

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. Halen, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Prof.Dr. unvanı ile çalışmakta, iç hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet – risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.



Aysun SOFUOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla Wisconsin Üniversitesi-Madison ve Illinois Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümlerinden aldı. 2000 yılında, İzmit Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başladığı öğretim üyeliği görevine, Prof.Dr. ünvanı ile devam etmektedir. Hava kirliliği, iç hava kirliliği, kalıcı organik kirleticilerin taşınımı, kuru birikim ve hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkileri konularında araştırmalar yürütmekte ve dersler vermektedir.

BİR OFİS ORTAMINDA UZAK UV-C (222 NM) İLE HAVA DEZENFEKSİYONU: SAYISAL ÇALIŞMA

Air Disinfection with Far-UVC (222 nm) in an Office Environment: Numerical Study

Fatih Atcı
Yunus Emre Çetin
Orhan Aydın

ÖZET

COVID-19 da dahil olmak üzere birçok bulaşıcı hastalığa sebep olan patojenlerin ofis, sınıf ve hastane odası gibi kapalı ortamlarda hava yoluyla yayıldığı bilinmektedir. Bu nedenle, bu ortamlarda patojenlerin kontrol altına alınması, halk sağlığı açısından önemlidir. Bu çalışmada, Uzak Ultraviyole C (222 nm) ışınları kullanılarak bir ofis odası havasının dezenfeksiyonu sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal analizde, ticari bir akışkanlar mekaniği yazılımı olan Ansys Fluent kullanılmıştır. Ofis ortamı içerisindeki üç boyutlu hava akışı ve patojen partikül hareketi, sırasıyla, RNG k- ϵ türbülans modeli ve ayrık faz modellemesi (DPM) ile belirlenmiştir. Işınlama modellemede, ayrık ordinatlar DO (Discrete Ordinates) ışınım modeli kullanılmıştır. Hava dezenfeksiyon etkinliği, patojen partiküllerin ortam içerisinde geçirdiği süre ve bu süre boyunca maruz kaldığı ışınımı dikkate alan bir kod yardımıyla hesaplanmıştır. Hava değişim katsayısının dezenfeksiyon etkinliğini önemli ölçüde değiştirdiği ve Uzak UV-C kaynaklı hava dezenfeksiyon sistemlerinin düşük hava değişim katsayısına (HDK) sahip ortamlarda daha etkin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İç ortam hava kalitesi, Uzak UV-C, Hava dezenfeksiyonu, UV doz.

ABSTRACT

It is known that pathogens that cause many infectious diseases, including COVID-19, spread through air in closed environments such as office, classroom and hospital room. Therefore, controlling pathogens in these environments is important for public health. In this study, disinfection of an office room air by using Far Ultraviolet C (222 nm) rays is numerically investigated. In the numerical analysis, Ansys Fluent, a commercial fluid mechanics software is used. Three-dimensional airflow and pathogen particle movement in the office environment are determined using RNG k- ϵ turbulence model and discrete phase modeling (DPM), respectively. In radiation modelling, the discrete ordinates DO (Discrete Ordinates) radiation model is used. Air disinfection efficiency is calculated with a code that takes into account the time the pathogen particles spend in the environment and the radiation they are exposed to during this time. It is observed that the air change rate significantly changes the disinfection efficiency and the air disinfection systems with Far UV-C are more effective in environments with low air change rate (ACH).

Key Words: Indoor air quality, Far UV-C, Air disinfection, UV dose

1. GİRİŞ

Son yıllarda tüm dünyayı etkisi altına alan COVID-19 salgını milyonlarca ölüme sebep olmuş, ulusal sağlık sistemlerini alt üst etmiş ve küresel ekonomiyi olumsuz etkilemiştir [1]–[5]. COVID-19 salgını da dahil olmak üzere birçok bulaşıcı hastalık, kapalı ortamlarda hava yoluyla yayılmaktadır. Ortam içerisinde enfekte bir kişinin öksürmesi, hapşırması, konuşması ve hatta nefes alıp vermesi durumunda, birçok biyoaerosol (patojen partikül) yayılmakta ve ortam havasına karışmaktadır [6], [7]. Ortam havasına karışan biyoaerosollerin diğer sakinler tarafından solunması durumunda bu kişiler enfekte olabilmektedir [8]–[12]. Kalabalık insan gruplarının bir araya geldiği ortamlarda hava yoluyla bulaşma riski, özellikle ortamın yeterince havalandırılmadığı durumlarda daha da artmaktadır [13], [14]. Kapalı ortamlarda bulaş riskini azaltmak için ortam içerisindeki biyoaerosol yayılımı kontrol altına alınmalıdır.

Uzak UV-C 200 ila 230 nm dalga boyu aralığında antiseptik ultraviyole-C radyasyonu olarak bilinmektedir ve en yaygın bilinen kaynağı Kripton Klorür [KrCl] eksimer lambalarıdır. Bu lambalar genellikle Uzak Ultraviyole C (200-230 nm) bölgesinde ve ekseriyeti 222 nm dalga boyunda ışımaya yapmaktadır. Bu dalga boyundaki ışınlar patojenlerin doğrudan DNA/RNA'sına hasar vererek onları etkisiz hale getirmektedir [15]. KrCl eksimer lambaları ile yapılan laboratuvar deneylerinde; gram pozitif ve gram negatif bakterileri, ilaca dirençli bakterileri, influenza virüslerini ve SARS-CoV-2 virüsü de dahil olmak üzere insan koronavirüslerini mikrop öldürücü özelliği ile etkisiz hale getirdiği gösterilmiştir [15]. On yıllardır hava ve yüzey dezenfeksiyonu amaçlı kullanılan ancak kanserojen ve kataraktojen olan geleneksel UV-C'nin (254nm) aksine, son yapılan çalışmalar Uzak UV-C'nin (222nm) insanların bulunduğu ortamlarda kullanımının daha güvenli olduğunu ifade etmektedir [16]–[21]. Bu durum, Uzak UV-C teknolojisinin insanların kalabalık olarak bulunduğu sınıf, hastane odası, ofis ve toplu taşıma araçları gibi kapalı ortamlarda hava dezenfeksiyonu amaçlı kullanım potansiyelinin olduğunu ortaya koymaktadır. Uzak UV-C'nin laboratuvar ölçekli yapılan deneylerinde farklı patojen sınıflarını etkisiz hale getirdiği ve hastalıkların yayılmasını azaltmada etkili olduğu kanıtlanmış olsa da pratik uygulamalara yönelik; lamba konumu, hava değişim katsayısı ve havalandırma yöntemi vb. gibi parametreleri dikkate alarak performans değerlendirmesi yapan çalışmaların yapılması önemlidir.

Buchan vd. [22], iki-boyutlu 3x3 metrelik tek kişilik bir hastane odası içerisinde Uzak UV-C ile insan koronavirüsünün inaktivasyonunu sayısal olarak incelemişlerdir. Uzak UV-C maruz kalma seviyeleri dahilinde oda içerisindeki patojen konsantrasyon miktarında odanın tek başına havalandırılmasına kıyasla %20-57 daha fazla azalma sağlandığı görülmüştür. Xia vd. [23], mekanik olarak havalandırılan bir uçak kabini içerisinde Uzak UV-C (222 nm) hava dezenfeksiyon sisteminin etkinliğini deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada 3 farklı hava değişim katsayısı değeri (4, 10 ve 36) dikkate alınmış olup HDK'nın dezenfeksiyon etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Uzak UV-C sisteminin dezenfeksiyon etkinliği havalandırma oranı arttıkça azalmıştır.

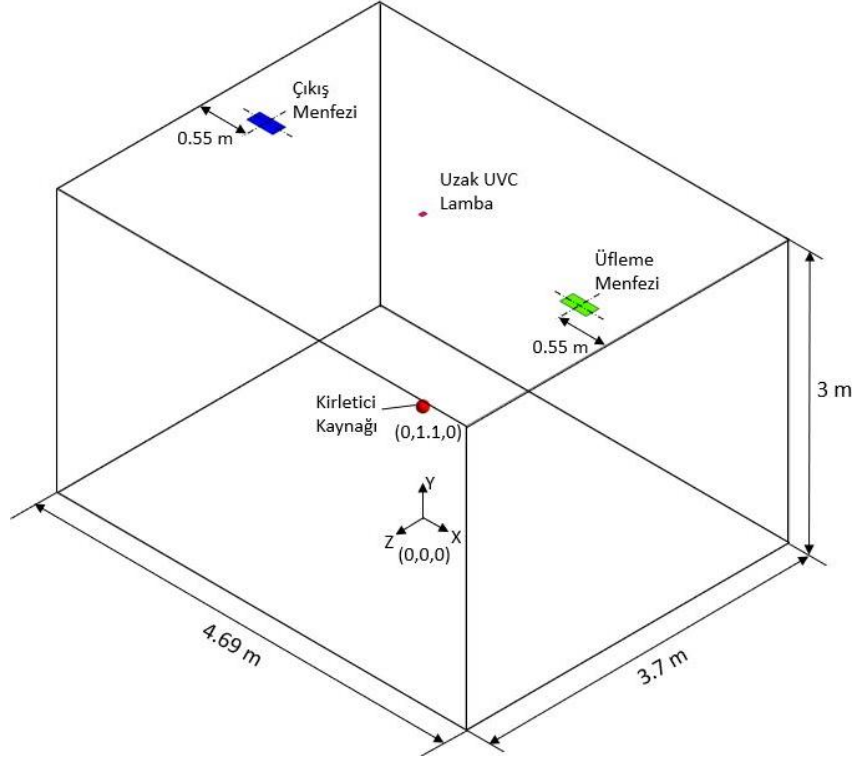
Literatür incelendiğinde konunun güncel olduğu ve konuyla ilgili az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Kapalı ortamlarda Uzak UV-C kaynaklı hava dezenfeksiyon sistemlerinin etkinliğini ele alan çalışmaların, ilgili teknolojinin uygulanması, kullanımı ve benimsenmesine yönelik önemli katkılar sunacağı açıktır.

2. SAYISAL MODEL

2.1. Geometri

Bu çalışmada Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan bir ofisin 1:1 ölçekli geometrisi dikkate alınmıştır. Ofis odası geometrisi 4.69m (uzunluk) x 3.7 m (genişlik) x 3 m (yükseklik) boyutlarına sahiptir. Şekil 1'de görüleceği üzere odanın havalandırılması, tavana simetrik olarak yerleştirilmiş. 0.3 m x 0.15 m boyutlarındaki hava üfleme ve çıkış menfezi ile sağlanmaktadır. 0.45m x 0.6m boyutlarında, 12W gücünde ve 60° aydınlatma açısına sahip bir adet Uzak UVC (222 nm) Kripton Klorür Eksimer lamba tavanın tam ortasına ve yönü aşağıya bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Lambaya ait detaylı bilgi literatürde mevcuttur [24]. Çalışmada üç farklı hava değişim

katsayısı (0.7, 3 ve 6 HDK sırasıyla 0.225 m/s, 0.964 m/s, 1.928 m/s) dikkate alınmış olup HDK 'nın Uzak UV-C hava dezenfeksiyon sistem performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1. Ofis odasının izometrik görünüşü.

2.2. Hava Akışının Modellenmesi

Sayısal analizde hava akışını modellemek için ilgili korunum denklemleri genel formda aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla(\rho\phi\vec{V}) = \nabla(\Gamma_\phi\Delta\phi) + S_\phi \quad (1)$$

Burada, \vec{V} hız vektörü, ρ havanın yoğunluğu, ϕ hız bileşeni (u, v, w), Γ_ϕ difüzyon katsayısı ve S_ϕ kaynak terimi ifade etmektedir. Türbülanslı akış problemleri için bu eşitliklerdeki hız ve basınç değerlerini ortalama ve çalkantı bileşenleri cinsinden ifade etmek gerekir. Bu durumda, ortaya çıkacak türbülans Reynolds gerilmelerini temsil eden $(\rho\overline{u_i u_j})$ teriminin açık formda yazılabilmesi için birçok türbülans modeli bulunmaktadır [25]. Bu çalışmada ofis odası içerisindeki akış alanını çözmek için Reynolds ortalama Navier Stokes denklemleri, RNG k- ϵ türbülans modeliyle birlikte ele alınmıştır. Literatürde RNG k- ϵ türbülans modelinin iç hava akış problemleri için en uygun türbülans modeli olduğu ifade edilmektedir [26]. RNG k- ϵ türbülans modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve türbülans yutulma oranı (ϵ) transport denklemleri ile şu şekilde ifade edilir:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \frac{\partial(ku_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \rho \epsilon \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial(\epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G - C_{2\epsilon}^* \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3)$$

$$C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + c_\mu \frac{\eta^3(1 - \eta/\eta_0)}{1 + \beta\eta^3} \quad (4)$$

Denklemlerde yer alan μ_T , türbülans viskozitesi şu şekilde ifade edilir:

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

RNG k- ε modelinde model sabitleri $C_{1\varepsilon}=1.42$, $C_{2\varepsilon}=1.68$ olarak dikkate alınmıştır. Navier Stokes denklemleri sonlu hacimler yöntemi ile ayrıklaştırılarak çözülmüştür. Basınç-hız çiftinin çözümünde "Coupled" algoritması, basınç terimi için "Presto" ve diğer tüm terimleri için ayrıklaştırma yöntemi olarak "second-order upwind" kullanılmıştır. Hesaplama yerçekimi etkisi göz önüne alınmıştır. Tüm korunum denklemleri için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak belirlenmiştir. Oda içerisinde üfleme menfezi için "Velocity-inlet" (%5 türbülans yoğunluğu) ve çıkış menfezi için "Outflow" sınır koşulları tanımlanmıştır. Ayrıca tüm katı yüzeylerde kaymama (no slip) sınır koşulu öngörülmüştür.

2.3. Partikül Hareketinin Modellenmesi

Hava akış analizi sonrasında elde edilen akış haritası üzerinde patojenlerin takip ettiği rotalar, Lagrange yöntemine bağlı olarak ayrık faz modellemesi (discrete phase modeling-DPM) yardımı ile incelenmiştir. Ayrık faz model denklemleri genel hali aşağıda verilmiştir.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_a \quad (6)$$

Burada, eşitliğin sol tarafındaki terim patojen partikülün sahip olduğu atalet kuvvetini, eşitliğin sağ tarafındaki terimler ise sırasıyla, sürüklenme, yer çekimini ve ısı etki ile ortaya çıkan kaldırma kuvvetini ve diğer olası ek kuvvetleri (Termoforetik kuvvet, Saffman kaldırma kuvveti ve Brownian kuvveti) temsil etmektedir. Ayrıca, ρ_p ve ρ sırasıyla, partikül ve havanın yoğunluğunu, u_p partikül hızını ve u hava hızını göstermektedir [25]. F_D sürekleme kuvveti açık formda aşağıdaki gibidir.

$$F_D = \frac{18\mu C_d Re_p}{\rho_p d_p^2} \frac{1}{24} \quad (7)$$

Burada; μ havanın moleküler viskozitesini, d_p partikülün çapını ve Re_p partikülün Reynolds sayısını ifade etmektedir. C_d , sürüklenme katsayısıdır ve ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 katsayıları ile beraber şu şekilde ifade edilmektedir [27].

$$C_d = \frac{\xi_1}{Re} + \frac{\xi_2}{Re^2} + \xi_3 \quad (8)$$

Akış içerisindeki türbülans dalgalanmalarının partikül dağılımı üzerindeki stokastik etkisi ayrık rastgele yürüyüş modellemesi (discrete random walk modeling- DRW) ile ele alınmıştır. Akış alanındaki türbülans dalgalanmaları anlık akışkan hızı tarafından şu şekilde tanımlanır:

$$u = \bar{u} + u'(t) \quad (9)$$

$u'(t)$ terimi yerel türbülans parametreleri tarafından türetilmiştir ve şu şekilde ifade edilir:

$$u'(t) = \xi \sqrt{2k\beta} \quad (10)$$

Burada, k ve ξ sırasıyla türbülans kinetik enerjisi ve normal dağılımlı rastgele sayıdır [25]. Oda içerisinde oturan bir kişiyi temsilen oda merkezinde zeminden 1,1 m [28] yükseklikte partikül salınımı gerçekleştirilmiştir [29]. Patojenleri temsilen her bir partikülün küresel formda olduğu ve 1000 kg/m^3 yoğunlukta ve ortalama $1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ($1 \mu\text{m}$) çapa sahip olduğu öngörülmüştür. Bu boyuttaki partiküller, insanların solunum yoluna girebildikleri için iç ortam hava kalitesi açısından özellikle önemlidir [30]. Hava çıkış menfezinde, oda içerisine salınan partiküllerin akış alanını terk ettiğini ifade eden Escape sınır şartı kullanılmıştır. Her bir durum için oda içerisinde yaklaşık 50.000 adet partikül takibi yapılmıştır.

Uzak UVC Lamba Işınım Alanının Sayısal Modeli

Uzak UVC lambanın ofis odası içerisinde oluşturduğu üç-boyutlu ışınım alanı ayrık ordinatlar ışınım modeli (Discrete ordinates modeling- DOM) kullanılarak modellenmiştir. Ayrık ordinatlar (Discrete Ordinates (DO)) ışınım modeli, ışınım transfer denklemini (Radiative Transfer Equation-RTE) her biri kartezyen sistem içerisinde belirlenmiş \vec{s} vektör yönüyle ilgili, sonlu sayıdaki ayrık katı açı için çözer. Işınım transfer denklemi spektral ışınım şiddetinin bir ortam içerisindeki izlediği yol boyunca değişimini ifade eder [25]. RTE aşağıda verilmiştir.

$$\nabla \cdot (I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (\alpha_\lambda + \sigma_s) I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}) = \alpha_\lambda n^2 I_{b\lambda} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I_\lambda(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (11)$$

Soğurma Yayılma Saçılma

Burada, C_d konum vektörü, \vec{s} yön vektörü, \vec{s}' yayılım yönü vektörü, s alınan yol, α_λ spektral yutma katsayısı, n kırılma indisi, σ_s yayılım katsayısı, $I_{b\lambda}$ siyah cisim ışınım şiddeti, I_λ konum \vec{r} ve yöne \vec{s} bağlı ışınım şiddeti, λ dalga boyu, Φ faz fonksiyonu, Ω' katı açığı ifade etmektedir. Fluent DO model içerisinde malzeme özellikleri, lamba gücü ve açısal ayrıklaştırma parametreleri kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir. Açısal ayrıklaştırma, N_θ ve N_ϕ ve pikselizasyon parametreleri ile kontrol edilmektedir. Açısal ayrıklaştırma ve pikselizasyon sayısal model içerisindeki ışınım dağılımını tanımladığı için önemli parametrelerdir [31]. Mevcut sayısal modelde hesaplama süresi, ışınım dağılımı ve ışın etkisi dikkate alınarak N_θ ve N_ϕ için 8x8, pikselizasyon için 4x4 değerleri kullanılmıştır. Hava homojen bir ortam olarak kabul edilmiş ve havada asılı kalan parçacıkların ışık saçılım etkisi, parçacık hacminin hava hacmine kıyasla önemsiz olduğu için ihmal edilmiştir.

Çalışmada kullanılan lambanın gücü, Amerikan Devlet Endüstriyel Hijyenistleri Konferansı (ACGIH) tarafından belirlenen Uzak UVC- (222 nm) ışınlarına maruz kalma eşik sınır değerleri dikkate alınarak ayarlanmıştır. 222 nm Uzak UVC ışınlarına 8 saat boyunca maruz kalınmasıyla belirlenen Eşik Sınır Değerler (TLV) cilt ve gözler için sırasıyla 4750 ve 1650 J/m² ya da ışınım miktarı cinsinden sırasıyla 0.057 W/m² ve 0.016 W/m² olarak bildirilmektedir [32]. Çalışmada lamba gücü, ofis içerisinde ayakta duran bir kişinin (1.7 m) maruz kalacağı maksimum ışınım miktarı 0.057 W/m² değeri dikkate alınarak regüle edilmiştir. RTE denklemi için yakınsama kriteri olarak 10⁻⁶ dikkate alınmıştır.

2.4. UV Dozun Hesaplanması

Çalışmada ortam içerisinde partiküllerin hareket güzergahlarının belirlenmesi ve ışınım alanının elde edilmesinin ardından UV doz hesabı yapılmıştır. Oda içerisinde her bir partikülün Uzak UV-C ışın huzmesi bölgesinden geçerken bünyelerine almış olduğu kümülatif UV dozu (J/m²) belirlemek için bir kullanıcı tanımlı fonksiyon (user defined function (UDF)) ilgili paket programa tanıtılmıştır [33]. Bu UDF kod sayesinde oda içerisinde farklı yörüngeler üzerinde hareketlerini sürdüren belirli fiziksel özelliğe sahip patojen partiküllerin UV etki alanı içerisinde geçerken bünyelerine almış oldukları UV doz miktarları ortamı terk edecekleri yere yani hava çıkış menfezine kadar hesaplanmıştır. Matematiksel formda doz miktarı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

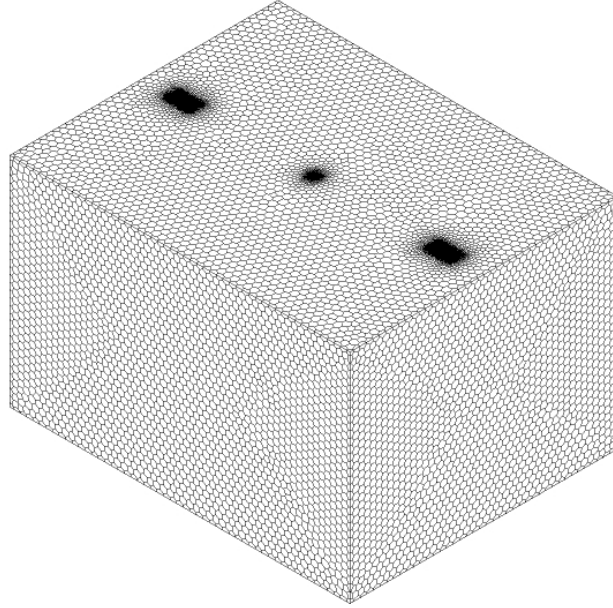
$$UV \text{ doz} = dt * \sum_{i=1}^{i=n} \frac{I_i + I_{i+1}}{2} \quad (12)$$

Burada, dt zaman adımını, I_i ve I_{i+1} ise sırasıyla ardışık iki zaman adımına ait hesaplama hücrelerindeki UV ışınım şiddetini ifade etmektedir. Sisteme (tüm odaya) ait ortalama UV doz miktarı ise hesaplama bölgesi boyunca takibi yapılan her bir patojen partikülün bünyesine almış olduğu dozlar toplamının toplam partikül sayısına (n) bölünmesiyle (aritmetik ortalaması alınarak) hesaplanmaktadır.

$$\text{Ortalama UV doz} = \frac{\sum_i^n UV \text{ doz}}{n} \quad (13)$$

UV kaynaklı hava dezenfeksiyon sistemlerinin performans değerlendirmesi ortalama UV doz miktarı üzerinden yapılabilmektedir [34], [35].

2.5. Ağ Yapısı ve Ağdan Bağımsız Çözüm

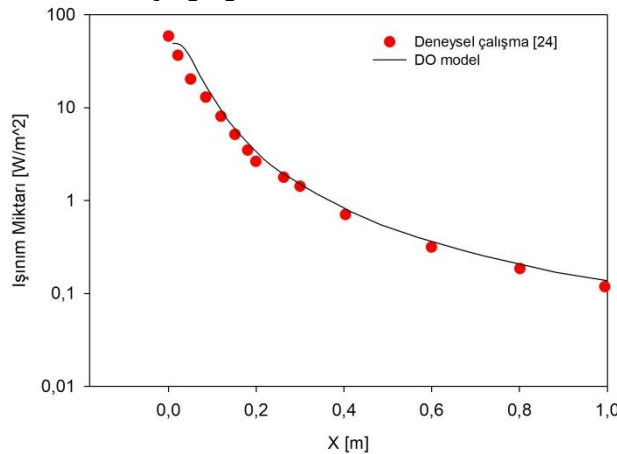


Şekil 2. Ofis odasına uygulanan ağ yapısı.

Ağ yapısı Ansys Fluent Meshing programı kullanılarak oluşturulmuş ve ağdan bağımsızlık çalışması 3 HDK durumu için üç farklı ağ sayısında (102 bin, 458 bin ve 875 bin) gerçekleştirilmiştir. Ağdan bağımsız çözümlerde karşılaştırma parametresi olarak ortalama UV doz üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Üç farklı ağ sayısı için elde edilen sonuçların önemli ölçüde değişmediği (< % 1) görülmüş ve çalışmalar 458 bin ağ sayısında yürütülmüştür. Ayrıca tercih edilen ağ yapısında tüm yüzeylerde $y^+ \text{ değeri } 1 \leq y^+ \leq 3$ aralığındadır.

2.6. Sayısal Modelin Doğrulanması

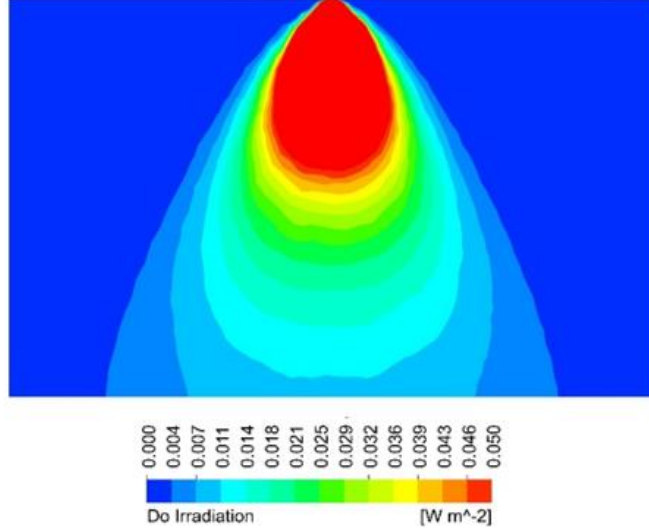
Doğrulama çalışması Uzak UV-C lamba ışınım dağılımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Işınım modelinin doğrulanmasında Bunchan vd. [24] çalışmasında kullanmış olduğu lamba (12W gücünde bir adet Uzak UVC Kripton Klorür Eksimer lamba (222nm)) dikkate alınmıştır. DO (Discrete Ordinate) model kullanılarak elde edilen ışınım dağılımı ve deneysel veriler karşılaştırılmalı olarak Şekil 3'te verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde DO (Discrete Ordinate) model kullanılarak elde edilen sonuçlarının literatürdeki deneysel verilerle yüksek oranda örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 3. Uzak UV-C ışınım dağılımlarının karşılaştırılması.

3. BULGULAR

3.1. Uzak UVC Işınım Dağılımının Değerlendirilmesi

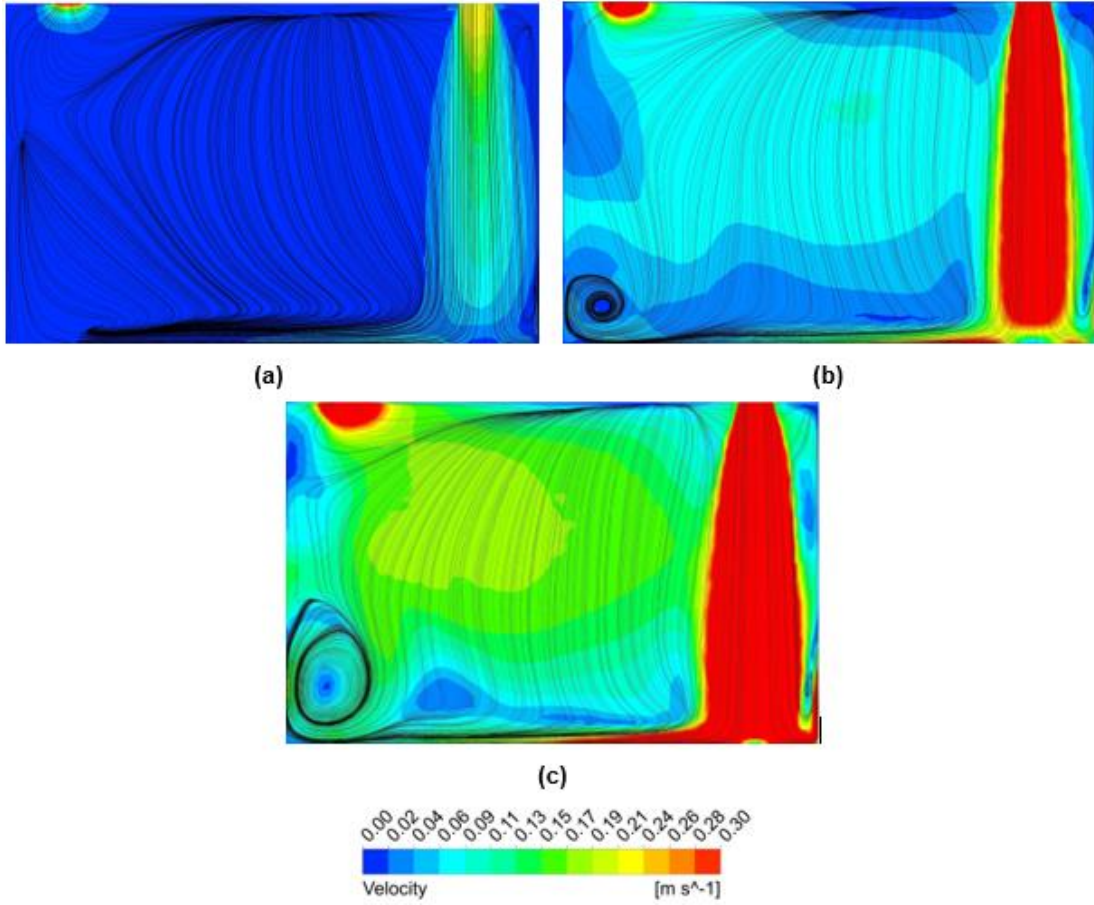


Şekil 4. Oda orta düzlemi üzerindeki Uzak UV-C ışınım dağılımı.

Uzak UVC lambanın oda orta düzlemi üzerinde oluşturduğu ışınım dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere lambadan yayılan ışınımın odanın tavanından alt bölgesine doğru lamba aydınlatma açısına (60°) bağlı olarak genişlemektedir. Elde edilen eş ışınım konturu değerlendirildiğinde, lamba yüzeyine yakın bölgelerde yüksek olan ışınım şiddetinin lambadan uzaklaştıkça azaldığı net bir biçimde görülmektedir.

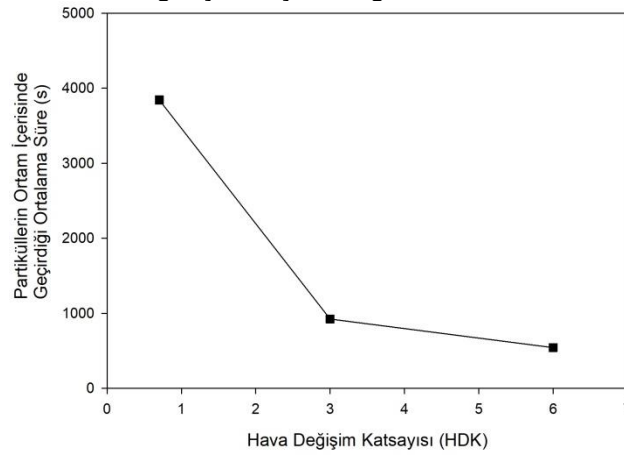
3.2. Hava Hız Dağılımının Değerlendirilmesi

Oda orta düzlemi boyunca farklı HDK değerleri için elde edilen hız konturları ve akım çizgileri Şekil 5'te verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, HDK değerindeki artışa bağlı olarak hava jetinin hızı artmakta ve karşı duvar komşuluğunda yüksek hız değerlerine ulaşılmaktadır. Akım çizgileri incelendiğinde, artan hava hızıyla beraber odanın sol alt bölgesinde resirkülasyon hücresinin belirginleştiği ve bu hücre merkezinin kısmen sol duvara doğru yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca, sağ duvar alt köşelerinde daha küçük yapıda resirkülasyon hücreleri görülmektedir. Resirkülasyon bölgelerinin içerisine giren partikülleri uzun süreler muhafaza ederek partiküllerin ortam içerisindeki geçirdikleri süreyi artırabileceği vurgulanmalıdır.



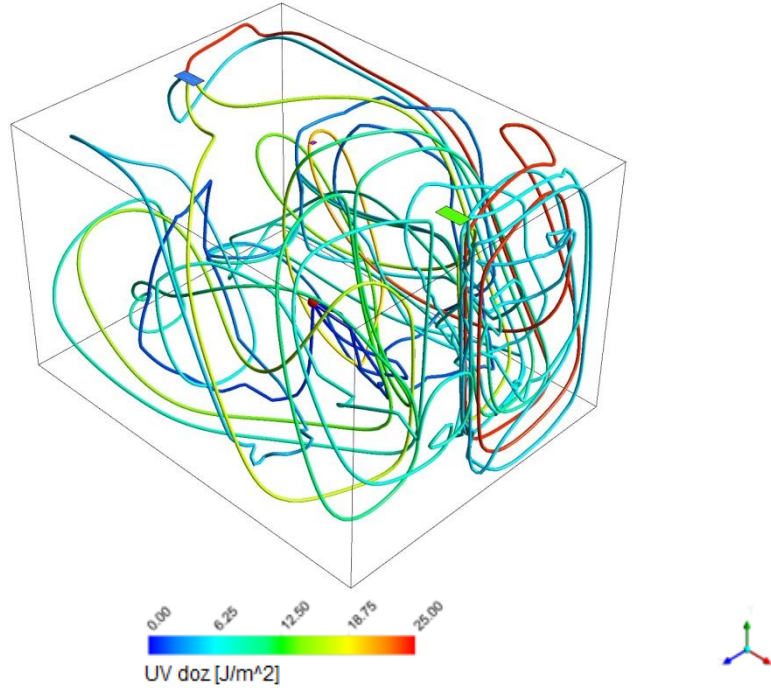
Şekil 5. Farklı HDK değerleri için oda merkez düzlemi üzerindeki eş hız eğrileri ve akım çizgileri. (a) 0.7 HDK (b) 3 HDK (c) 6 HDK

Akış alanları dikkatli bir şekilde incelendiğinde, artan HDK ile oda içerisindeki hava hızlarının daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Partikül taşınımında belirleyici büyüklüğün sürüklenme/yerçekimi kuvveti olduğu hatırlanacak olursa, hava hızındaki artışın sabit yerçekimi kuvveti karşısında bu oranı arttıracak ve partikülün taşınımını hızlandıracağı açıktır. Diğer bir deyişle hava hızındaki bu artış, partiküllerin ortam içerisinde geçirdikleri süre üzerinde belirleyici mekanizmayı oluşturmaktadır. Artan hava hızları ile birlikte partiküllerin ortam içerisinde geçirdikleri sürede azalacaktır. Şekil 6'da hava değişim katsayısına bağlı olarak, partiküllerin ortam içerisinde geçirdikleri ortalama süreler sunulmaktadır. İlgili grafik incelendiğinde artan HDK ile birlikte partiküllerin ortam içerisinde geçirdikleri sürenin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Farklı HDK değerleri için partiküllerin ortam içerisinde geçirdiği ortalama süreler.

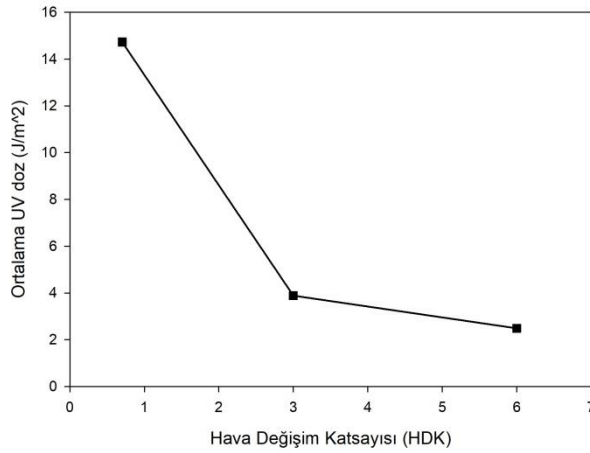
3.3. HDK'nın Hava Dezenfeksiyon Performansı Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi



Şekil 7. Oda içerisine salınan partiküllerin UV doz alım süreci (Görsel için 4 adet partikül ile sınırlı tutulmuştur).

Oda içerisine salınan partiküllerin UV doz alım süreçleri Şekil 7’de sunulmuştur. Oda içerisine salınan her bir partikül, ortama sıfır UV doz değeri ile girmektedir. Akış yapısına bağlı olarak farklı yörüngeler üzerinde hareket eden partiküller, hareketlerini sürdürdükleri yörüngeler üzerinde konuma bağlı olarak farklı ışınım miktarlarına maruz kalmaktadırlar. Dolayısıyla her bir partikülün aldığı UV doz miktarı değişkenlik göstermektedir. İlgili görsel UV doz alım süreci hakkında detaylı bilgi sunmaktadır.

Farklı HDK için elde edilen ortalama UV doz miktarları Şekil 8’de verilmiştir. Ortalama UV doz miktarları, partikül salım noktasından çıkış menfezine kadar takibi yapılan her bir partikülün almış olduğu kümülatif UV doz değerlerinin aritmetik ortalaması üzerinden hesaplanmıştır. İlgili şekil incelendiğinde, artan HDK değeri ile birlikte ortalama UV doz miktarının azaldığı net bir biçimde görülmektedir. Bu durum literatürde de not edilmiştir [23], [34], [35]. Ortalama UV doz değerindeki bu azalma, artan HDK ile birlikte ortam içerisinde daha yüksek hızların oluşmasına ve dolayısıyla partiküllerin Uzak UVC ışınım bölgesi içerisinde geçirdikleri sürenin azalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 9. Farklı HDK değerleri için ortalama UV doz değerleri.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bir ofis odası havasının Uzak-Ultraviyole C (222 nm) ışınları ile dezenfeksiyonu sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada HDK'nın Uzak UV-C hava dezenfeksiyon sisteminin etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- 60° aydınlatma açısına sahip bir Uzak UV-C lamba kullanılarak elde edilen ışınım dağılımının odanın tamamını kaplamadığı görülmüştür. Daha büyük aydınlatma açılarında sahip lamba kullanımının oda içerisindeki ışınım hacmini ve dolayısıyla dezenfeksiyon etkinliğini arttıracak açıktır.
- Artan HDK ile birlikte partiküllerin ortam içerisindeki geçirdikleri süre azalmaktadır.
- Uzak UV-C hava dezenfeksiyon sistemlerinin düşük hava değişim katsayısına (HDK) sahip ortamlarda daha etkin olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] R. C. Reiner vd., "Modeling COVID-19 scenarios for the United States", *Nat Med*, c. 27, sy 1, 2021, doi: 10.1038/s41591-020-1132-9.
- [2] H. Xu vd., "Possible environmental effects on the spread of COVID-19 in China", *Science of the Total Environment*, c. 731, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139211.
- [3] C. Rao, "Medical certification of cause of death for COVID-19", *Bulletin of the World Health Organization*, c. 98, sy 5, 2020. doi: 10.2471/BLT.20.257600.
- [4] S. Gautam ve L. Hens, "COVID-19: impact by and on the environment, health and economy", *Environment, Development and Sustainability*, c. 22, sy 6, 2020. doi: 10.1007/s10668-020-00818-7.
- [5] Md. B. Hasan, M. Mahi, T. Sarker, ve Md. R. Amin, "Spillovers of the COVID-19 Pandemic: Impact on Global Economic Activity, the Stock Market, and the Energy Sector", *Journal of Risk and Financial Management*, c. 14, sy 5, 2021, doi: 10.3390/jrfm14050200.
- [6] T. Dbouk ve D. Drikakis, "On coughing and airborne droplet transmission to humans", *Physics of Fluids*, c. 32, sy 5, 2020, doi: 10.1063/5.0011960.
- [7] J. Schijven, L. C. Vermeulen, A. Swart, A. Meijer, E. Duizer, ve A. M. de Roda Husman, "Quantitative microbial risk assessment for airborne transmission of sars-cov-2 via breathing, speaking, singing, coughing, and sneezing", *Environ Health Perspect*, c. 129, sy 4, 2021, doi: 10.1289/EHP7886.
- [8] Y. Li vd., "Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - A multidisciplinary systematic review", *Indoor Air*, c. 17, sy 1, 2007. doi: 10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x.
- [9] L. Morawska, "Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection?", içinde *Indoor Air*, 2006, c. 16, sy 5. doi: 10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x.
- [10] M. Nicas, W. W. Nazaroff, ve A. Hubbard, "Toward understanding the risk of secondary airborne infection: Emission of respirable pathogens", *J Occup Environ Hyg*, c. 2, sy 3, 2005, doi: 10.1080/15459620590918466.
- [11] X. Li, J. Niu, ve N. Gao, "Co-occupant's exposure of expiratory droplets Effects of mouth coverings", içinde *HVAC and R Research*, 2012, c. 18, sy 4. doi: 10.1080/10789669.2011.607879.
- [12] J. Gralton, E. Tovey, M. L. McLaws, ve W. D. Rawlinson, "The role of particle size in aerosolised pathogen transmission: A review", *Journal of Infection*, c. 62, sy 1, 2011. doi: 10.1016/j.jinf.2010.11.010.
- [13] S. L. Miller vd., "Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event", *Indoor Air*, c. 31, sy 2, 2021, doi: 10.1111/ina.12751.
- [14] World Health Organization, "Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19", 2021.
- [15] E. R. Blatchley vd., "Far UV-C radiation: An emerging tool for pandemic control", <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2084315>, 2022, doi: 10.1080/10643389.2022.2084315.



- [16] E. Eadie, I. M. R. Barnard, S. H. Ibbotson, ve K. Wood, "Extreme Exposure to Filtered Far-UVC: A Case Study†", *Photochem Photobiol*, c. 97, sy 3, 2021, doi: 10.1111/php.13385.
- [17] R. P. Hickerson vd., "Minimal, superficial DNA damage in human skin from filtered far-ultraviolet C", *British Journal of Dermatology*, c. 184, sy 6. 2021. doi: 10.1111/bjd.19816.
- [18] S. Kaidzu, K. Sugihara, M. Sasaki, A. Nishiaki, T. Igarashi, ve M. Tanito, "Evaluation of acute corneal damage induced by 222-nm and 254-nm ultraviolet light in Sprague–Dawley rats", *Free Radic Res*, c. 53, sy 6, 2019, doi: 10.1080/10715762.2019.1603378.
- [19] N. Yamano vd., "Long-term Effects of 222-nm ultraviolet radiation C Sterilizing Lamps on Mice Susceptible to Ultraviolet Radiation", *Photochem Photobiol*, c. 96, sy 4, 2020, doi: 10.1111/php.13269.
- [20] T. Fukui vd., "Exploratory clinical trial on the safety and bactericidal effect of 222-nm ultraviolet C irradiation in healthy humans", *PLoS One*, c. 15, sy 8 August, 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0235948.
- [21] S. Kaidzu vd., "Re-Evaluation of Rat Corneal Damage by Short-Wavelength UV Revealed Extremely Less Hazardous Property of Far-UV-C†", *Photochem Photobiol*, c. 97, sy 3, 2021, doi: 10.1111/php.13419.
- [22] A. G. Buchan, L. Yang, ve K. D. Atkinson, "Predicting airborne coronavirus inactivation by far-UVC in populated rooms using a high-fidelity coupled radiation-CFD model", *Sci Rep*, c. 10, sy 1, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-76597-y.
- [23] T. Xia, K. Guo, Y. Pan, Y. An, ve C. Chen, "Temporal and spatial far-ultraviolet disinfection of exhaled bioaerosols in a mechanically ventilated space", *J Hazard Mater*, c. 436, s. 129241, Ağu. 2022, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2022.129241.
- [24] A. G. Buchan, L. Yang, D. Welch, D. J. Brenner, ve K. D. Atkinson, "Improved estimates of 222 nm far-UVC susceptibility for aerosolized human coronavirus via a validated high-fidelity coupled radiation-CFD code", *Scientific Reports 2021 11:1*, c. 11, sy 1, ss. 1-9, Eki. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-99204-0.
- [25] "ANSYS Fluent Theory Guide 15".
- [26] F. Chen, S. C. M. Yu, ve A. C. K. Lai, "Modeling particle distribution and deposition in indoor environments with a new drift-flux model", *Atmos Environ*, c. 40, sy 2, ss. 357-367, Oca. 2006, doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.09.044.
- [27] S. A. Morsi ve A. J. Alexander, "An investigation of particle trajectories in two-phase flow systems", *J Fluid Mech*, c. 55, sy 2, 1972, doi: 10.1017/S0022112072001806.
- [28] Y. (Don) Guan, A. Ramesh, ve F. Memarzadeh, "The effects of patient movement on particles dispersed by coughing in an indoor environment", *Applied Biosafety*, c. 19, sy 4, 2014, doi: 10.1177/153567601401900401.
- [29] D. al Assaad, C. Habchi, K. Ghali, ve N. Ghaddar, "Effectiveness of intermittent personalized ventilation in protecting occupant from indoor particles", *Build Environ*, c. 128, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.11.027.
- [30] R. Perez-Padilla, A. Schilman, ve H. Riojas-Rodriguez, "Respiratory health effects of indoor air pollution", *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, c. 14, sy 9. 2010.
- [31] V. K. Pareek ve A. A. Adesina, "Light intensity distribution in a photocatalytic reactor using finite volume", *AIChE Journal*, c. 50, sy 6, 2004, doi: 10.1002/aic.10107.
- [32] ACGIH, "TLVs and BEIs (2021)", 2021.
- [33] C. K. Ho, S. S. Khalsa, H. B. Wright, ve E. Wicklein, "Modeling UV Disinfection Using Integrated Computational Fluid Dynamics and Discrete Ordinates Radiation Models", *Proceedings of the Water Environment Federation*, c. 2009, sy 1, 2012, doi: 10.2175/193864709793848103.
- [34] C. J. Noakes, P. A. Sleigh, L. A. Fletcher, ve C. B. Beggs, "Use of CFD modelling to optimise the design of upper-room UVGI disinfection systems for ventilated rooms", *Indoor and Built Environment*, c. 15, sy 4, 2006, doi: 10.1177/1420326X06067353.
- [35] C. A. Gilkeson ve C. Noakes, "Application of CFD simulation to predicting upper-room UVGI effectiveness", *Photochemistry and Photobiology*, 2013, c. 89, sy 4. doi: 10.1111/php.12013.



ÖZGEÇMİŞ

Fatih ATCI

1994 Milas doğumludur. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2020 yılından itibaren KTÜ Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü'nde başladığı doktora eğitimini halen devam ettirmektedir.

Yunus Emre ÇETİN

Berlin Teknik Üniversitesi Hermann Rietschel Enstitüsü'nde doktora sonrası araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Havalandırma, binalarda enerji verimliliği, temiz odalar ve ameliyathaneler gibi kontrollü sahalarda kirletici dağılımı vb. konularda çalışmaktadır.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Araştırma ilgisi, mikro-elektro-mekanik sistemlerde akış ve ısı geçişi, elektronik soğutma ve enerji depolama gibi konuları kapsamaktadır.

BİR KUAFÖRÜN FARKLI İŞLEM UYGULANAN ORTAMLARINDA PARTİKÜL KİRLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation Of Particle Pollution Occurring In Two Separate Environments Of A Hairdresser Where Different Services Are Applied

Nurdan Özbey
Demet Arslanbaş

ÖZET

Yapılan birçok epidemiyolojik çalışma ile partikül maddeden kaynaklanan hava kirliliği seviyesi ile solunum yolları hastalıkları, akciğer, kardio ve solunum yolu problemleri nedeniyle hastanelere başvuru ve ölüm vakaları arasında ilişki tespit edilmiştir. Kuaförlük dünya çapında geniş ve hızlı büyüyen profesyonel bir grubu temsil eder. Son yıllarda da popüler bir endüstri haline gelmiştir. Kuaförler, görünümelerini iyileştirmek ve güzelleştirmek isteyen insanlar için saç bakımından kişisel bakıma kadar çeşitli hizmetler sunmaya yardımcı olmaktadır. Çeşitli kimyasal ürünün bulunduğu iç ortamlarda çalışan (kuaför, kozmetolog, güzellik uzmanları gibi) ve belli bir dereceye kadar o iç ortamda bulunan müşteri/kişiler ortamda uygulanan faaliyetler sebebiyle oluşan kirliliğe potansiyel olarak hem solunum hem de deri aracılığıyla maruz kalmaktadırlar. Bu maruziyetin belirlenebilmesi için seçilen bir kuaför salonunun farklı hizmetler sunulan 2 ayrı odasında iç ortamlardaki partikül maddeler boyutlarına göre belirlenerek, hizmet farklılığının boyut dağılımına katkısı incelenmiştir. Bunun için Grimm Environmental Dust Monitor (EDM) 107 toz konsantrasyonu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Örneklem sonucunda 0.2-0.5 µm, 0.5-1.0 µm, 0.5-1.0 µm ve >5.0 µm olmak üzere 4 farklı boyut aralığındaki toz konsantrasyonları tespit edilmiştir. En yüksek toz konsantrasyonu hem saç salonu hem de tırnak salonu için de 0.2-0.5 aralığındaki boyut için elde edilmiştir. Bu boyut için konsantrasyon 2000 cm³/partikül'e kadar çıkarken 0.5-1.0 için 100 cm³/partikül seviyelerindedir. Partikül boyutu büyüdükçe konsantrasyonun 1.0-5.0 aralığı için 1,6 cm³/partikül'e, >5.0 için ise 0.1 cm³/partikül'ün altına kadar düştüğü görülmüştür. Kuaför salonlarında çalışan ve hizmet alanlar için bu tozların kontrolü ve havalandırma sıklıklarının dikkatle üzerinde durulması gereken hususlar olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuaför, saç bakımı, tırnak bakımı, iç ortam, partikül madde, boyut dağılımı

ABSTRACT

Many epidemiological studies have found a relationship between the level of air pollution caused by particulate matter and the cases of admission to hospitals and deaths due to respiratory diseases, lung, cardio and respiratory tract problems. Hairdressing represents a large and fast growing professional group around the world. It has also become a popular industry in recent years. Hairdressers help provide a variety of services, from hair care to personal care, for people who want to improve and beautify their appearance. Customers/persons working in indoor environments with various chemical products (such as hairdressers, cosmetologists, beauticians) and to a certain extent, are exposed to pollution caused by the activities applied in the environment, potentially both through respiration and skin. In order to determine this exposure, the contribution of the service difference to the size distribution was examined by determining the particulate matter in the indoor environment in 2 separate rooms of a selected hairdressing salon, where different services are offered. For this, the Grimm Environmental Dust Monitor (EDM) 107 dust concentration measuring device was used. As a result of the sampling, dust concentrations in 4 different size ranges were determined as 0.2-0.5 µm, 0.5-1.0 µm, 0.5-1.0 µm and >5.0 µm. The highest particulate matter concentration was obtained for the size range of 0.2-0.5 for both hair salon and nail salon. For this size, the concentration is up to 2000 cm³/particle, while for 0.5-1.0 it is 100 cm³/particle. As the particle size increased, the

concentration decreased to 1.6 cm³/particle for the range of 1.0-5.0 and below 0.1 cm³/particle for >5.0. The control of these airborne particles and their ventilation frequency are issues that should be carefully considered for those working in hairdressing salons and service users.

Key Words: Hairdresser, hair care, nail care, indoor environment, particulate matter, size distribution

1. GİRİŞ

İç mekan hava kalitesi, çevre koruma ajansları tarafından halk sağlığı için başlıca beş çevresel riskten biri olarak kabul edilmektedir [1]. İnsanlar zamanlarının büyük bir bölümünü kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bu nedenle iç ortam havasının insan sağlığı üzerinde çok büyük bir etkisi vardır. Yapılan çalışmalar, havada yüksek miktarda bulunan bileşiklerin astım ve alerjik rinite, hipersensitif pnomoni ve hasta bina sendromuna neden olduğunu göstermiştir [2].

Kuaförlerin kullandığı malzemeler, saç bakım ürünleri ve saç bakım aletleridir. Bunlara saç rengini açıcı, kalıcı ve yarı-kalıcı saç boyaları, saç şampuanları, şekillendiriciler, perma ve saç düzleştirme ürünleri örnek verilebilir. Güzellik salonlarında ise tırnak ve cilt bakımında tırnak ürünleri ve çeşitli ekipmanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ürünlerin mesleki olarak kullanımı esnasında başlıca deri ve solunum yolu ile çok sayıda tahriş edici, alerjik ve karsinojenik potansiyeli olan kimyasallara maruziyet söz konusu olur. Bu mesleki maruziyetlerin kişisel maruziyetlere göre çok daha fazla ve uzun süreli olduğu bilinmektedir [3].

Kuaförler, görünümelerini iyileştirmek ve güzelleştirmek isteyen insanlar için hizmet sunmaktadır. Saç kesme, düzleştirme, şekillendirme, kıvrırma ve renklendirme gibi çok çeşitli hizmetler sunmaktadır. Kuaförler, güzellik uzmanları ve belli bir dereceye kadar müşteriler, kuaför ve güzellik salonlarında yapılan işlemler sırasında kullanılan çeşitli kimyasal ürünlere maruz kalmaktadırlar. Güzellik salonlarında (yüz temizliği, tırnak ve vücut bakımı, akne tedavisi, makyaj, epilasyon, vücut ve yüz masajı vb.) yapılan faaliyetler sırasında çeşitli kimyasal ürünler kullanılmaktadır.

Yapılan birçok epidemiyolojik çalışma ile partiküller maddeden kaynaklanan hava kirliliği seviyesi ile solunum yolları hastalıkları, akciğer, kardiyak ve solunum yolu problemleri nedeniyle hastanelere başvuru ve ölüm vakaları arasında ilişki tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı; çalışanlar ve hizmet alan müşteriler açısından uzun zamanlar geçirilmek zorunda kalınan kuaför ve güzellik salonlarında yapılan aktivitelerin ortamdaki toz miktarına ve boyut dağılımına etkisini belirleyerek maruz kalınan partikül madde miktarlarını boyutsal olarak sınıflandırmaktır. Bu amaçla seçilen bir kuaför salonunun farklı hizmetler sunulan 2 ayrı odasında iç ortamlardaki partikül maddeler boyutlarına göre belirlenerek, hizmet farklılığının boyut dağılımına katkısı incelenmiştir.

2. KUAFÖRLERDE İÇ ORTAM HAVA KİRLİLİĞİ

Kuaför salonu, 2021 itibarıyla ABD'de 874.408 işletme ve 1,2 milyondan fazla çalışan (kuaför, güzellik uzmanı olarak) ve artan toplam gelire dünya çapında popüler bir sektördür. Birleşik Krallık'ta 2015 ile 2016 arasında 10.000 kuaför kaydedilirken, 2018'de 43.300'e çıktığı için belirtilmektedir [4].

Türkiye'de hemen her mahallede berber ya da kuaför bulunmaktadır. Ticaret Bakanlığı'nın verileri de bu gözlemi destekler niteliktedir. Bakanlığın 10 Eylül 2019'da yayımladığı ancak 2016 yılındaki raporlara dayanan istatistiklere göre, Türkiye'de kadın ve erkek kuaförü olarak çalışan **85967** işletme bulunmaktadır. Yani kadın ve erkek kuaförlüğü **491** meslek kolu arasında en çok işletmenin olduğu üçüncü sektör durumundadır. Farklı bir işkolu olarak listeye dahil edilen güzellik salonu işletmeciliği yapılan işyeri sayısı ise 3328'dir. Bu sayılar dikkate alındığında Türkiye'de **90000** yakın berber, kuaför ve güzellik merkezi olduğu anlaşılmaktadır.

Kuaförlük ağırlıklı olarak kadın müşterilerin hizmet aldığı bir sektördür. Özellikle Kadın kuaförlerinde çalışanların büyük bir kısmı da kadınlardır. İlgili faaliyetler, çalışanların kısa süreler için çeşitli kimyasalları sık sık kullandığı saç yıkama, kesme, boyama, şekillendirme, kurutma, vb. işlemlerini içerir. Kuaförlerin çalışma becerileri ve meslekte kalma sürelerinin uzunluğu potansiyel olarak işle ilgili stres, kötü çalışma şartları, tekrarlayan iş görevleri, solunum yolu mukoza zarlarına hassaslaştırıcı ve tahriş edici maddelere maruz kalma gibi çeşitli faktörlerden etkilenir.

Kuaförler, genellikle önlük, uygun el eldivenleri ve solunum maskeleri gibi kişisel koruyucu ekipman kullanmadan, çalışma ortamlarında saç şekillendirme ürünlerinde bulunan çok sayıda kimyasala maruz kalmaktadır. Kullanılan ürünler arasında aromatikler (toluen, ksilen), esterler ve ketonlar (etil asetat, aseton vb.), kokulu terpenler (pinen, limonen, kafur) gibi uçucu organik bileşikler içerebilen solventler, yapıştırıcılar, sertleştiriciler, saç spreyleri ve şampuanlar bulunur.

Saç şekillendirme sırasında kullanılan kimyasallardan kaynaklanan potansiyel olarak tehlikeli emisyonlar, çalışma ortamında havada asılı kalır ve bu nedenle, özellikle birçok salonun sorununu daha da artıran yeterli mekanik havalandırma sistemlerinden yoksun olması nedeniyle salonun iç hava kalitesinden yetersiz bir duruma ulaşır. Bunun, kuaförler arasında astımın şiddetlenmesi, bronşit, rinit, öksürük ve balgam üretimi gibi artan akut solunum yolu hastalığı insidansını içeren çok çeşitli olumsuz sağlık etkileri ile ilişkili olduğu bildirilmiştir [5].

Güzellik salonlarındaki iç mekan hava kalitesi, amonyak (NH₃), uçucu organik bileşikler (VOC'ler) ve partikül madde (PM) gibi çeşitli kirleticilerden etkilenebilir. Güzellik salonlarındaki kirletici konsantrasyonları, kullanılan ürünlerin türüne, işletmenin alanına, hava değişiminin verimliliğine ve ortamda bulunan kişi sayısına bağlıdır.

Kuaförler, çalışma ortamında mevcut mesleki maruz kalma sınırlarını karşılayan veya aşan formaldehit konsantrasyonlarına kronik olarak maruz kalmaktadır. Bu maruziyetler ağırlıklı olarak saç düzleştirme ürünlerinin kullanımıyla ilişkilidir [6-10]. Ayrıca, benzen ve etilbenzene uzun süre maruz kalmanın kanser riski değerleri önerilen seviyelerden çok daha yüksek olabilir [12].

Kuaförlük ve güzellik salonlarında birkaç iç hava kalitesi ve/veya maruz kalma değerlendirme çalışması yapılmıştır, ancak bunların çoğu sınırlı sayıda hava kirleticiyi değerlendirmiştir. Ronda ve ark. (2009), konfor parametrelerini (hava sıcaklığı, bağıl nem), CO ve CO₂'yi incelemiş ve kuaförlerin çalışma ortamında otuz üç VOC için düşük maruziyet seviyeleri bulmuşlardır [13]. Gennaro ve ark. (2014), dış mekan konsantrasyonlarıyla karşılaştırıldığında, oksijenli bileşikler ve terpenler dahil olmak üzere çeşitli VOC'ler için kuaför salonlarında çok daha yüksek iç mekan seviyeleri bildirmiştir [14]. Goldin ve arkadaşları (2014) tarafından toplam uçucu organik bileşikler konsantrasyonu, CO₂ ve PM_{2.5}, manikür salonlarında ölçüldü. Çalışmalarının sonuçları, aerodinamik çapı 2,5 µm'den (PM_{2.5}) daha az olan TVOC'lerin ve PM'nin konut ortamlarında bulunan tipik seviyeleri aştığını göstermektedir [15].

Literatür araştırması kapsamına Alcalá vd., (2019) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde saç ve tırnak salonu çalışanları ile üreme, solunum şikayetleri ve endokrin bozulması ile ilgili olarak işyeri maruziyetleri üzerine yayınlanmış literatürü gözden geçirmek amacıyla 2014- 2019 yılları arasında yapılan çalışmalar incelenmiştir [16]. Uçucu organik bileşikler, partikül madde (PM) ve ftalatlar dahil olmak üzere kuaför salonlarında kimyasalların iç hava kalitesini ve hava konsantrasyonlarını ölçen 5 çalışma detaylı incelenmiştir. Kuaför çalışanları arasında, birkaç çalışma solunum semptomlarını, akciğer fonksiyon azalmalarını ve farklı ülkelerdeki kuaför çalışanlarında görülen iltihaplanma gibi olumsuz solunum sonucu ve risklerinin arttığı tespit edilmiştir. Shendell vd.. 2018 in 68 manikürcüde yaptığı çalışmada akut semptomlara rastlanmış ve katılan 68 salondan 40 salondaki çalışanların çoğu, işle ilgili göz, burun, boğaz ve cilt semptomları ile ilgili şikayetleri bildirmiştir. Çok az çalışan kişisel koruyucu ekipman kullanmıştır [17]. Kiec-Swierczynska vd. 2017 in çalışmasında 145 manikürcü 77 kontrol grubu ele alınmış manikürcülerde daha sık öksürük ve solunum semptomları bildirilmiştir. Atopik hastalıkların görülme sıklığı vakalar ve kontroller arasında benzer bulunmuştur [18]. Bir diğer çalışmada 145 manikürcü 152 kontrol grubunda yaptığı çalışma sonucunda daha yüksek seviyelerde UOB'lere maruz kalan tırnak teknisyenleri arasında, daha düşük seviyelere maruz kalanlara kıyasla semptomlar artış göstermiştir [19]. Park vd. 2014 çalışmasında 159 manikürcü 105 kontrol grubu üzerinde değerlendirmede bulunmuş ve tırnak teknisyenleri tarafından burun ve boğaz tahrişi en çok

görülen semptomlar olmuştur. Kişisel ölçümler sonucunda aseton %64, toluen %50, butil asetat %46 ve metil metakrilat %12 oranlarla Kore Mesleki Maruz Kalma Limitini aşmıştır [20].

Bu çalışmada uygulanan yöntem ile yapılmış bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ancak Saraga ve diğerleri tarafından yürütülen bir çalışma, Yunanistan'ın Atina kentinde çeşitli işyerlerinde (örn. barlar, okullar, fotokopi mağazaları, taksiler, alışveriş merkezleri, spor salonları vb.) Solunabilir PM'ye (RPM) yönelik kişisel maruziyeti değerlendirilmiştir. Yazarlar bir kuaförde PM seviyelerini izlemişler ve örnek alınan diğer işyerlerine kıyasla en yüksek ortalama RPM konsantrasyonlarına ($286 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve en düşük havalandırma oranlarına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bir diğer çalışmada Nilsson ve ark., kontrollü bir ortamda saç beyazlatma seansları sırasında kuaförlerin maruz kaldığı PM10 ve persülfat konsantrasyonları ölçülmüştür. Yazarlar, kontrollü bir oda ayarında saç ağartma uygulaması sırasında PM10 ve çok kalın parçacıkların ($>10 \mu\text{m}$) salındığını bildirdi.

2.1. Örneklemeye Çalışması

2.1.1. Örneklemeye alanı

Örneklemeye yapılan kuaför Kocaeli'nde bulunmaktadır. Örneklemeye Mart 2021 tarihinde yapılmıştır. Tek bir kat üzerinde içiçe 2 oda saç ve güzellik salonu olarak ayrılmıştır. Saç salonu 65 m^2 bir alana sahip olup 7 adet saç işlem masası ve müşteriler için oturma alanı mevcuttur. Ayrıca 2 yıkama bölümü ve küçük bir açık mutfak yer almaktadır. Mutfakta sadece içecek hazırlığı yapılmakta herhangi bir pişirme işlemi gerçekleştirilmemektedir.

Güzellik salonu olarak kullanılan oda 30 m^2 alanında olup 2 adet pedikür alanı ve tırnak ve makyaj işlemleri için 4 adet oturma alanı bulunmaktadır. Güzellik salonu bir kapı ile saç salonuna açılmaktadır. Alan klima ile ısıtılmakta havalandırma saç salonu için kapı ve sürgülü cam açılarak güzellik odası için pencere açılarak yapılmaktadır. Kuaför salonunun önünden bir araç yolu geçmekte olup trafik yoğunluğu az orta seviyesindedir. Salonlar içerisinde sigara içilmemektedir.



Şekil 1. Örneklemeye Noktası Konumu

2.2. Örneklemeye Cihazı

Partikül madde boyut analizi örneklemede, elektronik kayıtlı direkt ve sürekli bilgi eldesini sağlayan, havadan taşınan partiküllerin konsantrasyonunu ölçmek için geliştirilmiş olan —Grimm Environmental Dust Monitor (EDM) 107 toz konsantrasyonu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Grimm EDM 107 cihazından veriler sayısal veya grafiksel olarak görüntülenebilmektedir. Cihaz ölçüm modlarına göre 2 farklı şekilde çalışmaktadır; Sayı Dağılımı Modu (Count Distribution) (partikül/litre): Veriler, tüm partikül ölçüm kanalları için litredeki partikül konsantrasyon sayısı miktarı cinsinden sunulur, Çevre Modu (Environmental) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$): Bu ölçüm modunda ölçüm sonuçları, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ biriminde PM10, PM2.5 ve PM1 kütle fraksiyonları olarak sunulur. Çalışmada, iç ortamda bulunan parçacıkların boyutlarını tespit edebilmek için, Grimm EDM 107 cihazının PM dağılımını kaydeden Sayı Dağılımı Modu kullanılmıştır. Bu mod ile partikül çaplarının 0.25 μm -32 μm aralığında kaydı sağlanmıştır. Böylelikle, çalışmada 0.25-0.28-0.30-0.35-0.40-0.45-0.50-0.58-0.65-0.70-0.80-1.0-1.3-1.6-2.0-2.5-3.0-3.5-4.0-5.0-6.5-7.5-8.0-10.0-12.5-15.0-17.5-20.0-25.0-30.0-32.0 μm (toplamda 31 PM çapı) çaplarında partikül madde boyutlarının hacimsel olarak adet bazında tespiti mümkün olmuştur. Örnekler dakikalık olarak kaydedilmiştir. Bu çalışma kuaför ve benzeri ortamlarda daha sonra yapılması planlanan aktif toz örneklemesine alt yapı oluşturmak amacıyla ön çalışma olarak seçilen kuaförlerde tek gün olarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz seçilen kuaförde uygun konuma yerleştirilmiş, saat 13.⁰⁰ de açılmış aynı gün 19.⁰⁰ da kapatılmıştır.



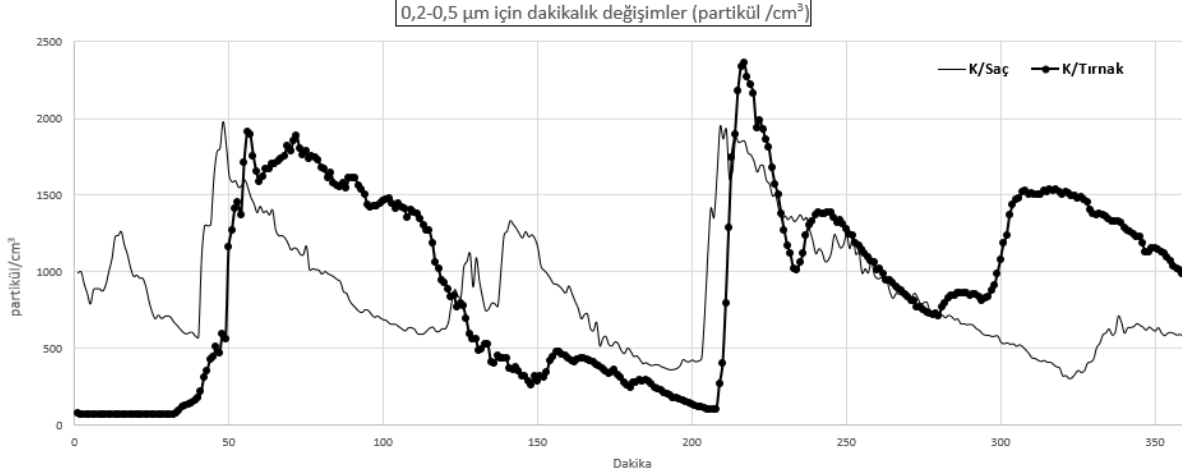
Şekil 2. Partikül madde ölçüm cihazı (Grimm EDM 107)



Şekil 3. Örneklemeye alanında cihaz görseli.

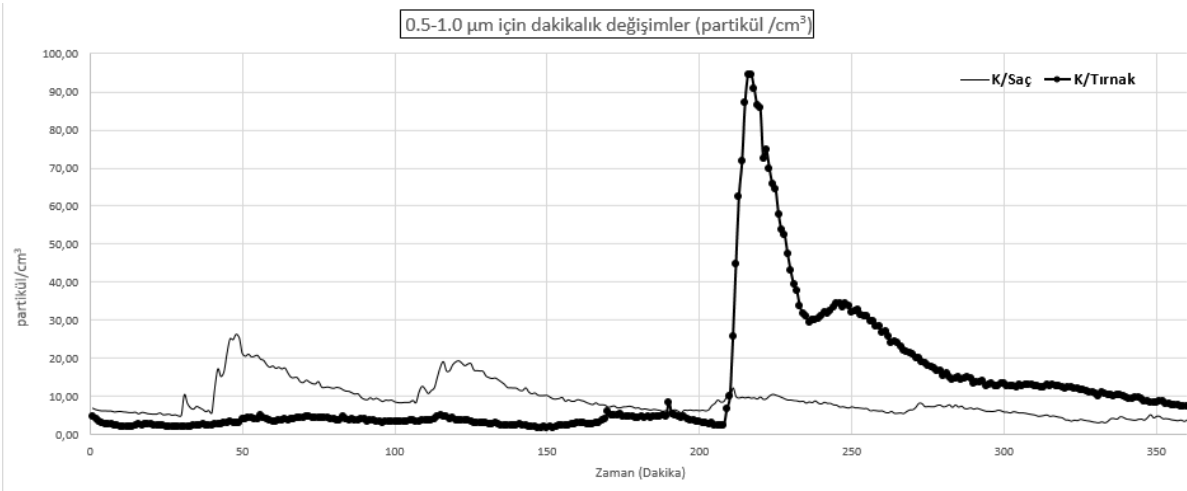
BULGULAR

Bu çalışmada Kocaeli ilinde seçilen bir kuaförün 2 farklı işlem uygulanan salonunda farklı günlerde aynı saatler arasında partikül sayıcı cihaz yardımıyla örnekleme yapılmıştır. Örnekleme öğlen 13.00'de başlatılıp akşam 19.00'da sonlandırılmıştır. Örnekleme her ortamda tek bir gün yapılmış, tekrarlanmamıştır. 31 ayrı boyutta ölçüm yapabilen cihazdan alınan veriler 0.2-0.5 μm , 0.5-1.0 μm , 1.0-5.0 μm ve >5.0 μm olarak sınıflandırılmış ve 2 salon arasındaki dakikalık değişimler Şekil 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir.



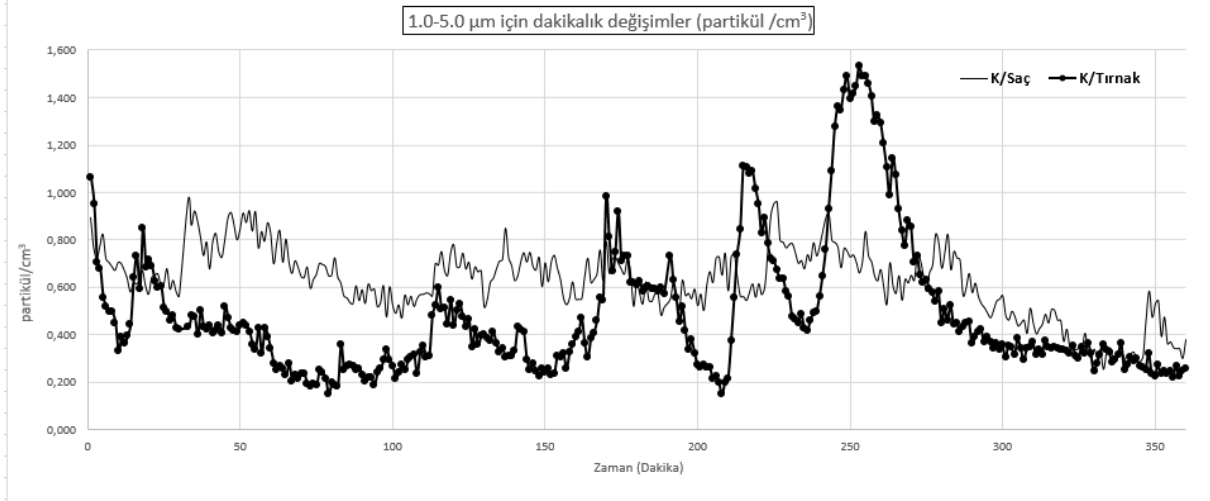
Şekil 4. Partikül boyutu 0.2-0.5 μm arası için konsantrasyon değişimleri

Yapılan örnekleme sonuçlarına göre her iki ortamda da en yüksek 0.2-0.5 μm arasındaki partikül boyutu tespit edilmiştir (Şekil 4). Hem saç işlemlerinin hem de tırnak bakımının gerçekleştiği salonlarda birbirine benzer seviyelerde partikül maddeye rastlanmıştır. Tırnak bakımı yapılan salon saç işlemleri uygulanan salona göre daha küçük olduğundan ve diğer salona göre havalandırılma sıklığı daha az olduğundan bu salondaki küçük boyuttaki toz konsantrasyonu daha yüksek seviyelerde görülmektedir. Özellikle tırnak salonu çalışanlarının 13.30-15.00 arasında ve 16.30-18.00 arasında müşteri yoğunluğunun arttığını belirtmiştir. Buna bağlı olarak tırnak törpüleme ve el-ayak bakımı sırasında ortama çok farklı boyutlarda yüksek oranlarda toz yayılmaktadır. Saç salonu kısmında da aynı zaman aralıklarında müşteri yoğunluğunun paralel olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda dış ortam tozlarının ortama giren insanlar aracılığıyla içortama taşınması ve küçük partiküllerin uzun süre askıda kalabilme özellikleri dikkate alındığında ortamdaki toz yoğunluğu beklenen bir durum olarak değerlendirilmiştir.

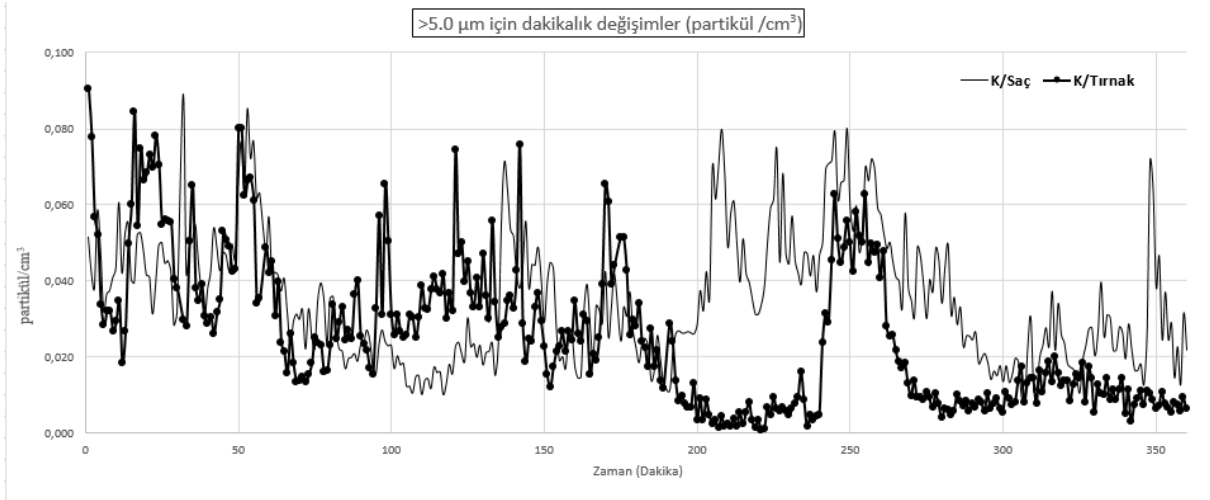


Şekil 5. Partikül boyutu 0.5-1.0 μm arası için konsantrasyon değişimleri

İkinci olarak yüksek konsantrasyonlarda rastlanan partikül boyutu 0.5 ila 1.0 μm arası tozlardır (Şekil 5). Farklı işlemler uygulanan salonlarda konsantras.yon miktarları paralel görülmeyle birlikte 210. dakikadan sonra tırnak salonunda ciddi bir yükseliş tespit edilmiştir. Salon çalışanlarından cihaz kapatılma esnasında alınan bilgiler müşteri yoğunluğunun saat 16,30 ila 18.00 saatleri arasında arttığı yönündedir. Salonda yapılan işlemlerin özellikle tırnak törpüleme ve pedikür bakımı sırasında uygulanan işlemlerle bu boyuttaki tozların artarak konsantrasyonu yükselttiği görüşü oluşmuştur. Ayrıca yine bu saatler arası bir havalandırma yapılmadığı belirtilmiştir.



Şekil 6. Partikül boyutu 1.0-5.0 μm arası için konsantrasyon değişimleri



Şekil 7. Partikül boyutu >5.0 μm arası için konsantrasyon değişimleri

Şekil 6 ve Şekil 7 de PM_{1-5} arası ve PM_5 den büyük partikül boyutları tespit edilmiş ve birbirine yakın değerler saptanmıştır. Bu boyutta tozların ölçülen diğer 2 boyuta göre daha kolay çökmesi ve havalandırma esnasında sirkülasyonla dışarı taşınması beklenen bir durumdur. Grafikteki dalgalanmalar saç salonunda insan hareketliliği ve özellikle fön makinalarının çalıştırılması ile çöken tozların havalanması ve tekrar çökmesi gibi etkenler sonucu sıkça görülmüştür.

SONUÇLAR

Yapılan literatür araştırmalarında nispeten az sayıda çalışmada güzellik salonlarında havadaki partikülleri ölçüldüğü görülmüştür. Ancak bu çalışmadakine benzer bir boyut dağılım çalışmasına rastlanmamıştır. Partikül maddelerin içeriğinde tespit edilen persülfat (S_2O_8)'a maruz kalma seviyeleri Mounier-Geysant ve diğerleri (2006) ve Nilsson ve diğerleri (2015) tarafından ölçülmüştür [21-22].

Shao ve ark. (2021), öncelikle Siyah/Latin müşterilere hizmet veren kuaför salonlarındaki iç mekan $PM_{2.5}$ ve PM_{10} konsantrasyonlarını karakterize etmiştir. Bulguları, kuaförlerin mevcut mesleki maruz kalma limitlerine dayalı olarak 8 saatlik bir vardiya sırasında potansiyel olarak solunabilir partiküllere aşırı maruz kalabileceğini göstermektedir [23]. Saraga ve ark. (2014), farklı iş yerlerinde solunabilir partikül seviyelerini incelemiş ve bir kuaför salonunda maksimum partikül konsantrasyonunu kaydetmiştir [24].

Çalışmadan elde edilen sonuçlar kuaför ve tırnak salonlarında özellikle $PM_{0.2-0.5}$ boyutundaki partiküllerin diğer bir çok ortama göre oldukça yüksek seviyelerde olduğunu ortaya koymuştur. Bu boyuttaki toz parçacıklarının ortamda kalma süreleri ve insan vücudunda ulaştıklarını noktalar dikkate alındığında bu kirleticilere yönelik daha detaylı çalışmaların yapılması önem taşımaktadır. Ortamdaki havalandırma ve oluşan tozun kontrolüne yönelik önlemlerin açık olarak ortaya konması hem çalışanların hem de hizmet alan müşterilerin sağlığı açısından öncelikli konular olarak dikkat çekmektedir. Çalışmanın devamında bu çalışmada yer verilen kuaför ve diğer benzer 2 kuaförde toz örnekleri aktif yöntemle toplanarak organik madde içerikleri incelenmekte ve sağlık riski açısından daha detaylı bir çalışma yürütülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi BAP biriminin desteklediği FYL-2021-2578 Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. KOU BAP birimine, cihaz kullanımına olanak sağlayan Prof. Dr. Gülen Güllü hocamıza ve örneklememize katkı veren kuaför salonu çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] AL-MARSHAD, S., "Assessing Indoor Air Pollution within Different Areas of Female Beauty Centers and Exploring Their Relation to Various Respiratory Symptoms", *Pollution*, 2(3), 357-364, 2016.
- [2] MENTEŞE, S., "Bina İçi Hava Kalitesinin Belirlenmesi ve Kaynaklarının Tespiti", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009
- [3] AKTAŞ-ŞÜKÜROĞLU, A., BURGAZ, S., "Kuaför Salonlarındaki Kimyasallara Mesleki Maruziyet ve Sağlık Riski", *Türk Hijyen ve Deneysel Biyolojik Dergisi*, 75(2), 195-212, 2018.
- [4] KAIKITI, C., STYLIANOU, M., AGAPIOU, A. "TD-GC/MS analysis of indoor air pollutants (VOCs, PM) in hair salons". *Chemosphere*, Volume 294, 133691, May 2022.
- [5] ANA, R.G., ALLI, A S., UHIARA, D. C., SHENDELL, D.G., "Indoor air quality and reported health symptoms among hair dressers in salons in Ibadan, Nigeria," *J. Chem. Health Saf*, 26, 1, 23–30, 2019.
- [6] PIERCE, J. S., ABELMANN, A., SPICER, L. J., ADAMS, R. E., GLYNN, M. E., NEIER, K., ... & GAFFNEY, S. H., "Characterization of formaldehyde exposure resulting from the use of four professional hair straightening products." *Journal of occupational and environmental hygiene*, 8(11), 686-699., 2011.
- [7] STEWART, M., BAUSMAN, T., KUMAGAI, K., NICAS, M., Case study: formaldehyde exposure during simulated use of a hair straightening product", *Journal of occupational and environmental hygiene*, 10(8), D104-D110, 2013.



- [8] PETEFFI, G. P., ANTUNES, M. V., CARRER, C., VALANDRO, E. T., SANTOS, S., GLAESER, J., ... & LINDEN, R., "Environmental and biological monitoring of occupational formaldehyde exposure resulting from the use of products for hair straightening". *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 908-917, 2016.
- [9] AGLAN, M.A., MANSOUR, G.N., "Hair Straightening Products and The Risk of Occupational Formaldehyde Exposure in Hairstylists", *Drug and Chemical Toxicology*, 0148-0545, 1525-6014, 2018.
- [10] DAHLGREN, J. G.; TALBOTT, P. J., "Asthma from hair straightening treatment containing formaldehyde: two cases and a review of the literature", *Toxicology and industrial health*, 34.4: 262-269, 2018.
- [11] PEEXE, M. E., MARCANTE, A., LUZ, M. S., FERNANDES, P.H.M., NETO, F.C., SATO, A.P.S., OLYMPIO, K.P.K., "Hairdressers are exposed to high concentrations of formaldehyde during the hair straightening procedure," *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27319-27329., 2019.
- [12] NOROUZIAN-BAGHANI, A., ROSTAMI, R., ARFAEINI, H., HAZRATI, S., FAZLZADEH, M., DELIKHOON, M., "BTEX in Indoor Air Of Beauty Salons: Risk Assessment, Levels and Factors Influencing Their Concentrations," *Ecotoxicology and Environmental Safety* 159 (2018), 102-108, 2018.
- [13] RONDA, E., ELI-HOLLUND, B., MOEN, B.E., "Airborne Exposure to Chemical Substances in Hairdresser Salons", *Environ Monit Assess* (2009), 153, 83-93, 2009.
- [14] DE GENNARO, G., DE GENNARO, L., MAZZONE, A., PORCELLI, F., & TUTINO, M. "Indoor air quality in hair salons: Screening of volatile organic compounds and indicators based on health risk assessment." *Atmospheric environment*, 83, 119-126, 2014.
- [15] GOLDIN, L. J., ANSHER, L., BERLIN, A., CHENG, J., KANOPKIN, D., KHAZAN, A., ... & ALLEN, J. G., "Indoor air quality survey of nail salons in Boston," *Journal of immigrant and minority health*, 16, 508-514, 2014.
- [16] QUIROS-ALCALA, L., POLLACK, A. Z., TCHANGALOVA, N., DESANTIAGO, M., & KAVI, L. K., "Occupational exposures among hair and nail salon workers: a scoping review." *Current environmental health reports*, 6, 269-285, 2019.
- [17] SHENDELL, D. G., GRABER, J. M., MILICH, L. J., & PRATT, M. E. "Assessing acute symptoms related to occupational exposures among nail salon technicians," *Journal of occupational and environmental medicine*, 60(4), 343-349, 2018.
- [18] KIEC-SWIERCZYŃSKA, M., SWIERCZYŃSKA-MACHURA, D., CHOMIĆZEWSKA-SKÓRA, D., KRĘCISZ, B., & WALUSIAK-SKORUPA, J., "Screening survey of ocular, nasal, respiratory and skin symptoms in manicurists in Poland," *International journal of occupational medicine and environmental health*, 30(6), 2017.
- [19] EVTYUGINA, M., VICENTE, E. D., VICENTE, A. M., NUNES, T., LUCARELLI, F., CALZOLAI, G., ... & ALVES, C. A. "Air quality and particulate matter speciation in a beauty salon and surrounding outdoor environment: Exploratory study". *Atmospheric Pollution Research*, 12(11), 101174, 2021.
- [20] PARK, S. A., GWAK, S., & CHOI, S., "Assessment of occupational symptoms and chemical exposures for nail salon technicians in Daegu City, Korea," *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(3), 169, 2014.
- [21] MOUNIER-GEYSSANT, E., OURY, V., MOUCHOT, L., PARIS, C., & ZMIROU-NAVIER, D. "Exposure of hairdressing apprentices to airborne hazardous substances". *Environmental Health*, 5(1), 1-8, 2006
- [22] NILSSON, P. T., MARINI, S., WIERZBIĆKA, A., KÅREDAL, M., BLOMGREN, E., NIELSEN, J., ... & GUDMUNDSSON, A. "Characterization of hairdresser exposure to airborne particles during hair bleaching". *Annals of Occupational Hygiene*, 60(1), 90-100, 2016.
- [23] SHAO, Y., KAVI, L., BOYLE, M., LOUIS, L. M., POOL, W., THOMAS, S. B., ... & QUIROS-ALCALA, L. "Real-time air monitoring of occupational exposures to particulate matter among hairdressers in Maryland: A pilot study" *Indoor air*, 31(4), 1144-1153, 2021.
- [24] SARAGA, D. E., VOLANIS, L., MAGGOS, T., VASILAKOS, C., BAIRACHTARI, K., & HELMIS, C. G. "Workplace personal exposure to respirable PM fraction: a study in sixteen indoor environments", *Atmospheric Pollution Research*, 5(3), 431-437, 2014.



ÖZGEÇMİŞ

Nurdan ÖZBEY

1994 yılı Kdz.Ereğli/Zonguldak doğumludur. Lise öğrenimini Alaplı Anadolu Lisesi'nde tamamladı.2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü, 2018 yılında Çevre Mühendisi olarak tamamladı.2019 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Mart 2020'den beri özel sektörde Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Demet ARSLANBAŞ

1974 yılı Kocaeli doğumludur. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2001 yılında Yüksek Mühendis, 2008 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1998-2011 yılları arasında aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2011 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Bölümü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Hava Kirliliği ve içortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır.

CAMİLERDE İÇ ORTAM PARTİKÜL MADDE SEVİYELERİNİN VE DIŞ ORTAM İLE İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assessment Of Indoor Particulate Matter Levels In Mosques And Their Relationship With The Outdoor

**Kaan Sarı
Ahmet Yüksel
Müslüm Arıcı
Mihriban Civan**

ÖZET

Partikül madde (PM)'ler sebep olduğu sağlık riskleri ve taşıdıkları kanserojenik kirleticiler sebebi ile önemli iç ortam hava kirleticileri arasında yer almaktadır. Bu sebeple insanların çalıştıkları, yaşadıkları, vakit geçirdikleri iç ortamların seviyelerinin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Özellikle hassas alt gruplar tarafından ziyaret edilen camilerde iç hava kalitesi dikkat edilmesi gereken bir husustur. Duvardan duvara halı kaplı olması, özellikle Covid-19 pandemi sürecinde havalandırma için camların uzun süre açık tutulması, ziyaret sıklığı ve özel dini günlerde ziyaretçi sayısının fazlalığı camilerin iç ortam havasında partikül madde (PM) miktarlarını arttırabilmektedir. Bu çalışmada camilere en yüksek katılımın olduğu ramazan ayı boyunca toplam 18 camide iç ortam solunabilir boyutta partikül madde (inhalable, $D < 80-100 \mu\text{m}$) (PM_{80-100}) ve alveollere ulaşan partikül maddelerin (respirable, $D < 4 \mu\text{m}$) (PM_4) gravimetrik yöntemle ölçümleri yapılmıştır. İç ortam ölçümü yapıldığı gün, dış ortamın iç ortam etkisini değerlendirebilmek için PM_4 ölçümü dış ortamda paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Hava örnekleri SKC pompa ile teflon filtre üzerine toplanmış ve camilerin günlük ortalama konsantrasyonlarını ölçebilmek için sabah namazı başlatılmış ve yatsı namaz sonunda bitirilmiştir. Örneklem yapıldığı günler cemaat sayıları kayıt edilmiştir. Cami iç ortam ortalama PM_{80-100} ve PM_4 konsantrasyonları sırasıyla $159,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $30,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmışken dış ortam PM_4 konsantrasyonu $36,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Cami iç ortam/dış ortam (I/D) değerlerinin 0.19 ila 9,78 arasında değişmiştir. PM_4 konsantrasyonu en yüksek tarihi binada halıları nispeten eski camide ölçülmüşken en yüksek PM_{80-100} konsantrasyonu trafiğin yoğun olduğu kent merkezinde bulunan camide tespit edilmiştir. Ayrıca Yenimahalle Cami (9,78) hariç diğer camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede olması camilerin dış ortam kirliliğinden etkilendiğini göstermektedir. Sınırlı sayıda örneklemeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam PM kirliliğinin etkilediğini göstermektedir. Daha somut çıktılar elde edilebilmesi için farklı özellikteki daha çok sayıda camide ayrıntılı bir örnekleme programı ile çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Cami iç ortam, partikül madde, iç/dış ortam oranları, insan aktiviteleri

ABSTRACT

Particulate matter (PM) is one of the most important air pollutants due to their carrying of carcinogenic pollutants and causing health risks. Therefore, it is crucial to determine their levels indoors where people work/live and spend their time. Indoor air quality in mosques where frequently visited by susceptible subgroups should be taken into consideration. The presence of wall-to-wall carpets, keeping the windows open for a long time for ventilation, especially during the Covid-19 pandemic, visit frequency and large number of congregations can increase the concentration of particulate

matter (PM) in the indoor air of mosques. This study aims to measure the indoor inhalable PM ($D < 80-100 \mu\text{m}$) (PM_{80-100}) and respirable PM ($D < 4 \mu\text{m}$) (PM_4) in 18 mosques during Ramadan, when the mosques have a large number of congregations. Concentrations were determined by gravimetric method. The outdoor PM_4 measurements were carried simultaneously with indoor measurements in order to evaluate the effects of outdoor levels on the indoor environment. Air samples were collected on a Teflon filter with SKC pump and morning prayer was started and ended at the end of night prayer in order to measure the daily average concentration of the mosques. The number of congregations on the days during the sampling was recorded. While the mean PM_{80-100} and PM_4 indoor concentrations of the mosques were calculated as $159.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $30.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, that of outdoor was $36.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The indoor/outdoor (I/O) ratios of the mosques varied between 0.19 and 9.78. The highest PM_4 concentration was measured in the historical building while the highest PM_{80-100} , was detected in the mosque located in the city center having high traffic load. Beside the I/O ratios are comparable in the mosques except for Yenimahalle Mosque (9.78), indicating affecting mosques from outdoor pollution. Evaluation of the data obtained from a limited number of samples shows that many factors such as the construction year of the mosque, the year of use of the carpet, the location of the mosque affect the indoor PM pollution of the mosque. The conduct of studies with a detailed sampling program in more different type of mosques are advised to obtain more concrete outputs.

Key Words: Mosque indoor air, particulate matter, indoor/outdoor Ratios, human activities

1. GİRİŞ

Farklı kirleticiler için rezervuar olan partikül madde'ler (PM) havada bir süre askıda kalırlar, çökerler ve ortam hareketleri ile tekrar havalanabilirler. Ortamda havada kalma süresi partikülün boyutu (çapı) ile ilgilidir. Bu sebeple partiküller çaplarına göre farklı şekillerde adlandırılabilir. Örneğin iç ortam maruziyetlerinde alveollere kadar ulaşabilen çapı $4 \mu\text{m}$ ve altı olan tozlar solunabilen (respirable) PM (PM_4) olarak, çapı 80-100 mikrometrenin altında kalan üst solunum sistemini (burun, ağız, boğaz) etkileyebilecek tozlar ise nefes alınan (inhalable) PM olarak adlandırılır (PM_{80-100}) [1]. Diğer yaygın sınıflandırma ise ultra ince ($D < 0,1 \mu\text{m}$), ince ($D < 2,5 \mu\text{m}$) ve kaba ($D > 2,5 \mu\text{m}$) partiküller olarak üç boyut aralığına ayrılabilir (Hinds, 1999). Çok sayıda araştırma, farklı PM boyutunun olumsuz sağlık etkileri olduğunu bildirmiştir [2,3].

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar kısa süreli yüksek maruziyetin solunum ve kardiyopulmoner etkileri olduğunu ve kardiyopulmoner ölümleri artırdığını ortaya koymuştur [4,5]. PM maruziyeti çocuklarda ve yaşlılarda pulmoner inflamasyon [6] ve astımı tetikleme veya arttırmasına sebep olabilmektedir [7]. Uzun süreli kronik maruziyetlerde ise pulmoner ve kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümlerde artışa sebep olabilmektedir [8,9]. Pope ve ark. [10] tarafından 16 yıl süre ile 552.000 kişinin sağlık sorunları ve maruziyetleri incelenmiş ve her $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2,5}$ konsantrasyon artışının kardiyovasküler ölümlerde %8-18 artışa yol açtığını tespit etmişlerdir. PM'nin ana kaynağının dış ortam havası olduğu düşünülse de yürüme, oturma, toz alma, elektrik süpürgesi kullanımı gibi insan aktiviteleri ve çöken tozun yeniden havalanması ile sonuçlanan pek çok ikincil iç ortam kaynağı vardır [11, 12, 13]. İnsan faaliyetlerinin, özellikle elektrikli süpürge ile süpürmenin partikül boyutuna bağlı olarak konsantrasyonları 1,2 kat ila 29,5 kat artabilmektedir [14,15].

Camiler diğer dini yapılardan farklı olarak ayakkabıyla girilmesi yasak olan ve zemini duvardan duvara halı kaplı ibadethanelerdir. Özellikle Cuma namazı ve teravih gibi özel vakitlerde tamamen dolu hale gelmesinden dolayı yoğunluk $1,5 \text{ kişi}/\text{m}^2$ 'ye kadar çıkabilmektedir [16]. Süpürme sıklığı camiden camiye değişen halılar, namaz vakitleri dışında PM'ler için rezervuar olurken namaz vakitlerinde cemaatin hareketinden dolayı tekrar havalanmasından dolayı kaynak olmaktadır. Bununla birlikte, ibadet sırasında PM maruziyeti, solunum yolu hastalıkları olan kişiler ve yaşlılar gibi hassas alt grupları için bir sağlık sorunu olabilmektedir. Camilerdeki iç mekan hava kalitesi (IAQ) ile ilgili ulusal ve uluslararası literatürde yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Genelde yapılan çalışmalarda termal konfor sorunları incelenmiştir [17, 18]. Ocak ve ark [16] tarafından İzmir'de kırsal bir bölgede bulunan bir camide Cuma günleri öğle namazında dokuz örnekleme gününde, üç farklı temizlik

programında ortalama 4 saat boyunca PM_{2.5} konsantrasyonları ölçülmüştür. Ölçülen PM_{2.5} ortalaması (44,5 µg/m³) literatürdeki diğer iç ortamlarla karşılaştırılabilir düzeyde olduğu bildirilmiştir [16].

Bu çalışmanın amacı, ramazan ayı boyunca Kocaeli'nin farklı bölgelerinde bulunan 18 camide iç ortam ve dış ortam PM seviyelerini değerlendirmek ve bu seviyelerin cami özellikleri, temizlik programı ve doluluk oranı ile ilişkisini araştırmaktır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1.Örnekleme:

Cami iç ve dış ortam partikül madde konsantrasyon ölçümleri camilerin en fazla ziyaretin olduğu Ramazan ayı boyunca gerçekleştirilmiştir. Örnekleme 8-24.04.2022 tarihleri arasında yapılmıştır. Örnekleme için Kocaeli'nin farklı bölgelerinde bulunan farklı dış ortam özelliklerine sahip 20 cami belirlenmiştir. Ancak ramazan ayı boyunca 19 camide örnekleme yapılabilmemiş, bir cami (Yeni Cuma) ve diğer camilerin bazı örneklerinde hatalı sonuçlar olduğu tespit edildiğinden toplam 18 cami ve 47 örnekleme sonucu değerlendirilmiştir. Örneklerin gün boyu PM kirliliğini temsil edebilmesi için örnekleme sabah namazı başlatılmış ve yatsı namazı sonunda bitirilmiştir.

Örnekleme Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) yöntemleri 0500 ve 0600'a (NIOSH 1994; 1998) göre 2,5 L/dk akış geçirilerek teflon filtreler ile (SKC 225-1709 (37) ve SKC 225-0102 (37); gözenek boyutu 2 µm, çap 37 mm, SKC, ABD) örnekleme yapılmıştır. Numune alma pompaları (SKC, ABD) numune alma işleminden önce ve sonra kalibre edilmiştir. Örnekleme SKC 225-69 siklon örnekleme başlığı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, %50'sinin aerodinamik çapı 4 mikrometrenin altında kalan alveollere ulaşabilen tozlar PM₄ olarak, %50'sinin aerodinamik çapı 80-100 mikrometrenin altında kalan trokal ve alveollere ulaşım üst solunum sistemini etkileyen tozlar ise PM₈₀₋₁₀₀ olarak gösterilmiştir (EN 481, 1995). İç ortam partikül madde seviyelerinin cami özellikleri, cemaat sayısı, halı süpürme sıklığı ile ilişkisini değerlendirmek için bu bilgiler cami imamından toplanmış veya örnekleme boyunca camii içinde gözlemlenerek not edilmiştir. Örnekleme yapılan camilerde klima olduğu ancak örnekleme döneminde kullanılmadığı tespit edilmiştir. Örnekleme tarihleri, camilerin özellikleri ve halı süpürme sıklığı Tablo 1'de verilmiştir.

Teflon filtreler, İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü (İSGÜM) Kocaeli Şubesi'nde bulunan %40~45 bağıl nem ve 21~23°C sıcaklıkta olan tartım odasında örneklemeden önce ve sonra en az 24 saat bekletilerek dengelenmiş ve 0,00001 g doğrulukla hassas terazi (ME5-F, Sartorius, ABD) ile tartımları yapılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. PM Seviyeleri:

Tablo 2, örnekleme yapılan camilerde iç ve dış PM₄ ve iç PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonunun sonuçları sunulmuştur. Tüm camilerde ölçülen PM₄ (n = 17) konsantrasyonları 5,22 ile 57,64 µg/m³ arasında değişirken PM₈₀₋₁₀₀ (n=14) konsantrasyonları 20,86 ile 332,8 µg/m³ aralığında ölçülmüştür.

PM₄'ler genelde fiziksel, mekanik işlemler (rüzgar erezoyonu, kırma, ufala, araç hareketi gibi) veya deniz sprelerinin atmosfere deniz tuzu formundaki katı/yarı sıvı partiküllerin taşınımı ile oluşmaktadır [19]. Havalandırma ve infiltrasyon ile iç ortama taşınan PM'ler yürüme, oturma, toz alma, elektrik süpürgesi kullanımı gibi insan aktiviteleri ve çöken tozun yeniden havalanarak ikincil iç ortam kaynağı oluşturmaktadır. Kaydedilen en düşük ve en yüksek PM₄ konsantrasyonları, sırasıyla yarı kentsel bölgede bulunan Arızlı Irak Konutları Cami ve kent merkezinde bulunan Orhan Cami örnekleme

yerlerinde gözlemlenmiştir. Her iki camiye gelen ortalama cemaat sayısı (Tablo 1) 12 ve 21 kişi iken iki cami arasında en belirgin özellik cami yapım yılları ve halı süpürme sıklığı olduğu görülmektedir. Orhan Camii her gün süpürülürken Arızlı Irak Konutları Cami ise iki haftada bir süpürülmektedir. Malezya'da 25 cami'de yapılan çalışmada süpürge ile temizleme işleminin PM₁₀ konsantrasyonunun düşürmek için etkili olmadığını vurgulamıştır [20]. Arızlı Irak Konutları Cami depremzedeler için 2014 yılında inşa edilmişken Orhan camii (1337) eski yerleşim yerinde olan tarihi bir camiidir. Orhan caminin halılarının değişimi 5 yıl önce yapılmışken Arızlı Irak Konutları Cami halıları daha yenidir (2 yıl). Orhan Cami'nin ibadet edilen bölümü ahşap ve tavan ahşap çitlidir. Muhtemelen ahşap kısımlarda biriken toz Orhan camii iç ortam PM₄ seviyesinin artmasına sebep olmaktadır. Örnekleme yapılan camiler arasında Orhan Cami gibi tarihi bir cami bulunmasa da Seka Cami 1956 yılında, Yenimahalle Cami 1957 yılında ve Yeşil Cami 1967 yılında inşa edilmiştir. Bu camiler arasında Yenimahalle Cami yüksek PM₄ konsantrasyonu (49,38 µg/m³) diğer iki camide ise sırasıyla 16,28 ve 10,61 µg/m³ seviyelerindedir. Özellikle Yenimahalle Cami PM₄ I/D oranı 9,78 olması bu cami için baskın bir iç ortam kaynağının olduğunu göstermektedir. Çalışma her ne kadar sınırlı sayıda cami ve sınırlı örnekleme ile yapılmış olsa tarihi camilerin kubbe kısımlarında uzun yıllarca toz birikebileceği, havalandırma ve insan hareketleri ile PM'lerin hava akımına karışabileceği ve dolayısıyla ince PM seviyelerine katkı yapabileceği düşünülmektedir.

PM₈₀₋₁₀₀ ise doğal süreçler veya toprak tozu, dizel kamyonlar, enerji santralleri, odun sobaları ve endüstriyel süreçler dahil olmak üzere insan faaliyetleri yoluyla atmosfere salınırlar [21]. Ölçülen en düşük PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonları ise yine PM₄'de olduğu gibi Arızlı Irak Konutları Cami olurken ve en yüksek konsantrasyon Yeşilova Camii'de gözlemlenmiştir. Yeşilova camii ise trafik yoğunluğu yüksek olan Turan Güneş Caddesi üzerinde, daha çok düzensiz kentleşmenin olduğu mahallede bulunmaktadır. Örnekleme yapılan camiler arasında orta düzey kalabalıklığa sahip olan bu caminin iç ortam PM₄ konsantrasyonunda ölçülen en yüksek üçüncü sıradadır. Yeşil Camii dış ortam PM₄ konsantrasyonu ölçülen camiler arasında en yüksek değere sahip (78,92 µg/m³). olması bu caminin dış ortam kirliliğinden etkilendiğini göstermektedir.

Tablo 1: Camii özellikleri

Camii Adı	Konum özelliği	Örnekleme Tarihi	Gün	Günde ibadete gelen ortalama kişi sayısı	Ayda Süpürme sıklığı	Havalandırma Süresi (dakika)	Bina Yapım Yılı	Halı Değişimi (yıl)
Akça Cami	kent merkez	08-04-22	Cuma	46	4	30	1968	8
42 Evler Cami	kent	19-04-22	Salı	44	4		1970	4
Akşemseddin Cami	yarı kentsel	27-04-22	Çarşamba (Kadir Gecesi)	188	4	232	2010	13
Arızlı Köyü Cami	yarı kentsel	12-04-22	Salı	12	2		1978	30
Bahçekent Cami	kırsal	24-04-22	Pazar	20	4		1995	28
Derince Gaziosmanpaşa Cami	yarı kentsel	25-04-22	Pazartesi	68	8		2012	11
Derince Yeni Merkez Cami	kent	22-04-22	Cuma	165	30	60	2011	11
Fevziye Cami	kent	15-04-22	Cuma	201	30	sürekli açık	2002	4
Hayrisevenler Cami	kent	18-04-22	Pazartesi	90	4		1988	4
Irak Kalıcı Konutları Cami	kent merkez	14-04-22	Perşembe	15	2		2014	9
Körfez Cami	yarı kentsel	23-04-22	Cumartesi	39	4		1989	10
Orhan Cami	kent merkez	26-04-22	Salı	21	30		1337	5
Seka Cami	kent merkez	09-04-22	Cumartesi	60	8	30	1956	7
Şirintepe Merkez Cami	kent	29-04-22	Cuma	48	4	70	1976	18
Umuttepe Cami	yarı kentsel	20-04-22	Çarşamba	9	4		2014	9
Yenicuma Cami Cami	kent	16-04-22	Cumartesi	88	30	sürekli açık	1568	2
Yenimahalle Kuruçeşme Cami	kent	21-04-22	Perşembe	25	4		1957	8
Yeşil Cami	kent	10-04-22	Pazar	35	4	120	1967	7
Yeşilova Merkez Cami	kent merkez	28-04-22	Perşembe	87	4	150	2001	12

Tablo2: Camilerde iç ve dış ortamda ölçülen partikül madde konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cami ismi	PM ₄	PM ₈₀₋₁₀₀	PM ₄	PM ₄
	İÇ		DIŞ	I/D
Akça Cami	23,01		9,21	2,5
42 Evler Cami	-	105,8	-	-
Akşemseddin Cami	32,52	268,5	10,84	3,01
Arızlı Irak Konutları Cami	5,22	20,86	20,86	0,25
Arızlı Köyü Cami	21,02		10,41	2,02
Başiskele Bahçekent Cami	39,77	141,1	56,82	0,69
Başiskele Körfez Cami	41,56	131,2	46,75	0,89
Derince Gazi Osman Paşa Cami	11,2	121,7	22,41	0,5
Derince Yeni Merkez Cami	48,19	139,7	72,29	0,67
Fevziye Cami	11,41	170,4	57,06	0,19
Hayirsevenler Cami	5,46	107,1	21,86	0,25
Orhan Cami	57,64	166,7	55,64	1,04
Seka Cami	16,28		21,71	0,75
Şirintepe Merkez Cami	41,45	286,2	31,09	1,33
Umuttepe Cami	53,33	103,3	51,33	1,04
Yenimahalle Cami	49,38	134,3	5,05	9,78
Yeşil Cami(Kuruçeşme)	10,10	-	-	-
Yeşilova Cami	45,98	332,8	78,82	0,58
Örnek Sayısı	17	14	16	16
Ortalama	30,21	159,3	36,02	1,59
Standart Sapma	18,14	83,09	24,1	2,33
En düşük konsantrasyon	5,22	20,86	5,05	0,19
En yüksek konsantrasyon	57,64	332,8	78,82	9,78

Daha önce de bahsedildiği gibi cami iç ortam hava kalitesi ile ilgili PM değerlendirmesi yapan çok fazla çalışma mevcut değildir. Yapılan sınırlı çalışmalar Tablo 3'de listelenmiştir. Tabloda listelenen PM boyutları çalışmada ölçülenlerden farklı olsa da kaba bir kıyaslama yapabilmek için faydalı olacaktır. Kocaeli oldukça fazla sayıda sanayiye ev sahipliği yapan nüfus yoğunluğu en yüksek şehirlerden biri olmasına rağmen İzmir'de kırsal alanda bulunan camide ölçülen ortalama PM_{2,5} konsantrasyonlarından daha düşük PM₄ konsantrasyonu ölçülmüştür. İzmir'deki camide cemaat sayısı 120 ila 155 arasında değişirken bu çalışmada camiye ibadet için gelenlerin sayısı 9 ila 201 arasında değişmektedir. Ayrıca örnekleme sürelerinde de farklılıklar vardır. İzmir Gülbahçe'de bulunan Camii'de PM_{2.5} ölçümü Cuma namazı süresince yapılmışken bu çalışmada yaklaşık 18 saat örnek toplanmıştır. Dolayısıyla dış ortam kirliliğinin yanında camilerin halı süpürme sıklığı, halı yaşı, camiye ibadet için gelenlerin sayısı ve örnekleme süresi PM konsantrasyonlarını etkileyen önemli parametreler arasında olacağı düşünülmektedir. Bunun dışında Malezya/Pulau Pinang ölçülen PM₁₀ konsantrasyonu ($27,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bizim değerlerimizden oldukça düşük Hindistan/Kumbar'da ölçülen değerler ($658,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ise oldukça yüksektir [20, 22].

Tablo 3: Farklı ülke ve şehirlerde cami iç ortamında ölçülen PM konsantrasyonları ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ülke/Şehir	Cami konumu	PM	Örnek sayısı	Konsantrasyon (ortalama+Std Sapma)	Kaynak
Türkiye/Kocaeli	Kent, yarı kentsel, kırsal	PM ₄	17	30,21±18,14	Bu çalışma
		PM ₈₀₋₁₀₀	14	159,29±83,09	
Türkiye/İzmir	yarı kentsel	PM _{2,5}	9	44,5±34.5	Ocak ve ark. [16]
Malezya/Pulau Pinang	kent	PM ₁₀	25	27,95±17,75	Rasli ve ark. [20]
Hindistan/Kumbar	kent	PM _{2,5}	10	658.30± 112.6	Bhadoria ve ark [22]

3.2. I/D Oranları

PM konsantrasyonlarının iç ortam seviyeleri hem dış ortam seviyelerinden hem de bina malzemeleri ve insan faaliyetleri gibi iç mekan kaynaklarından etkilenebileceği için iç/dış (I/D) oranları oldukça önemlidir. Bazı iç ortam kirletici seviyeleri dış ortama göre çok yüksek olabilir [23]. Cami PM₄ I/D oranları Tablo 2'de listelenmiştir. Yenimahalle cami (I/D=9,78) hariç diğer ölçüm yapılan camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede veya dış ortam seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. Yenimahalle hariç diğer camilerin I/D oranı ortalaması 0,97 hesaplanmıştır. 1957 yılında yapılan Yenimahalle cami yarı kentsel bölgede olduğu için dış ortam PM seviyesi oldukça düşük ölçülmüşken eski bina ve halıların 8 yıllık olmasından dolayı iç ortam PM₄ konsantrasyonu ortalamasının üzerinde ölçülmüş olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu cami için I/D oranı oldukça yüksek ve iç ortam kaynaklı PM₄ kirliliği olduğu görülmektedir.

Literatürde çeşitli araştırmalar okullarda PM I/D oranlarını hesaplamış ancak özellikle iç ortamlarda birçok olası faktör PM seviyelerini etkilediğinden tutarlı sonuçlar elde edilememiştir. Cavallo ve ark. [24] PM₁₀ konsantrasyonlarının iç ve dış mekanlarda kıyaslanabilir seviyede olduğunu bildirirken Blondeau ve ark. [25] I/D PM oranlarının 1'den büyük olduğunu bulmuş ve insan yoğunluğunun iç mekan PM konsantrasyonları üzerinde etkisini olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacılar, I/D oranının birden büyük olması anaokullarında biriken partiküllerin yeniden havalandırılmasının, anaokulu çocuklarının sınıf içinde daha çok hareketli olması nedeniyle ilkököl veya ortaokullardakinden çok daha yüksek olabileceğini vurgulamışlardır. Fromme ve ark. [26] anaokullarındaki PM konsantrasyonunun Almanya'daki sigara içilmeyen evlerdekinden yaklaşık iki kat daha yüksek olduğunu ve sınıftaki sürekli hareket sırasında parçacıkların yeniden havalandırılmasının bir neden olabileceğini belirtmişken Mon ve ark. [27] insan faaliyetinin evlerdeki yüksek iç mekan seviyelerinde önemli bir faktör olduğunu bildirmiştir. Örnekleme günü en yüksek cemaat sayısı olan Fevziye Cami (201 kişi), Akşemseddin Cami (188 kişi) ve Derince Yeni Merkez Cami (165 kişi) I/D PM oranları sırasıyla 0,19, 3,01, ve 0,67 hesaplanmışken en düşük cami yoğunluğuna sahip Umuttepe Cami (9), Arızlı Cami (12) ve Arızlı Irak Konutları Cami (15) 'de I/D oran 1,04, 2,02 ve 0,25 olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmada ölçülen I/D oranlarının doğrudan camiye ibadet için gelen kişi sayısı ile ilişkisi bulunamamıştır. Bunun dışında cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam kirliliğinin etkilediği düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Toplam 18 cami'de iç ve dış ortam partikül madde konsantrasyon ölçümleri camilerin en fazla ziyaretin olduğu Ramazan ayı boyunca gerçekleştirilmiştir. Cami iç ortam ortalama PM₈₀₋₁₀₀ ve PM₄ konsantrasyonları sırasıyla 159,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 30,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmışken dış ortam PM₄ konsantrasyonu ortalaması 36,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bulunmuştur. Örnekleme yapılan camiler arasında en yüksek PM₄ konsantrasyonları tarihi camilerde ölçülmüştür. Tarihi camilerin kubbe kısımlarında uzun yıllarca toz birikebileceği, havalandırma ve insan hareketleri ile PM'lerin hava akımına karışabileceği ve

dolayısıyla ince PM seviyelerine katkı yapabileceği düşünülmektedir. Dış ortamı nispeten daha kirli camilerde PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonlarının yüksek tespit edilmesi dış ortam kirliliğinin iç ortam PM₈₀₋₁₀₀ konsantrasyonlarını etkilediğini göstermektedir. Yenimalle cami (I/D=9,78) hariç diğer ölçüm yapılan camilerde I/D oranları kıyaslanabilir seviyede veya dış ortam seviyelerinin yüksek olduğu görülmektedir. /D oranlarının doğrudan camiye ibadet için gelen kişi sayısı ile ilişkisi bulunamamıştır. Sınırlı sayıda örneklemeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile cami yapım yılı, halı kullanım yılı, caminin konumu gibi birçok etkenin cami iç ortam PM kirliliğinin etkilediğini göstermektedir. Hassas grupların ziyaret ettiği camilerde daha iyi bir iç ortam hava kalitesi elde edebilmek için etkin çözümlerin alınmasına katkı sağlayacak farklı özellikteki daha çok sayıda ve organik ve inorganik kirlleticilerin ölçüleceği çalışmaların yapılması, kaynakların ve katkı oranlarının tespit edilmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi BAP biriminin desteklediği FYL-2021-2578 Yüksek Lisans Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada İSGÜM Laboratuvarı'na ait örnekleme cihazları kullanılmıştır. KOU BAP birimine, İSGÜM Laboratuvarı'na ve örneklememize katkı veren cami çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] EN 481, İşyeri Atmosferleri. Havadan Kaynaklanan Parçacıkların Ölçümü İçin Boyut Kesir Tanımları, 1995.
- [2] HAUSER, R., GODLESKI, J.J., HATCH, V., CHRISTIANI, D.C., "Ultrafine particles in human lung macrophages" Archives of Environmental Health 56, 150-156, 2001.
- [3] POPE, C.A., DOCKERY, D.W., "Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect" Journal of the Air and Waste Management Association 56, 709-742, 2006
- [4] SAMET, J.M., DOMINICI, F., CURRIERO, F.C., COURSAK, I., ZEGER, S.L., "Fineparticulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities" 1987-1994. N. Engl. J. Med. 343, 1742-1749, 2000.
- [5] LE TERTRE, A., MEDINA, S., SAMOLI, E., FORSBERG, B., MICHELOZZI, P., BOUMGHAR, A., VONK, J.M., BELLINI, A., ATKINSON, R., AYRES, J.G., SUNYER, J., SCHWARZ, J., KATSOUYANNI, K., "Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities." J. Epidemiol. Community Health 56, 773-779, 2002.
- [6] GHIO, A.J., KIM, C., DEVLIN, R.B., "Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in healthy human volunteers" American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 162, 981-988, 2000.
- [7] ANDERSEN, Z.J., WAHLIN, P., RAASCHOU-NIELSEN, O., KETZEL, M., SCHEIKE, T., LOFT, S., "Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark." Occupational and Environmental Medicine 65, 458-466, 2008.
- [8] GEHRING, U., HEINRICH, J., KRAMER, U., GROTE, V., HOCHADEL, M., SUGIRI, D., KRAFT, M., RAUCHFUSS, K., EBERWEIN, H.G., WICHMANN, H.E., "Long-term exposure to ambient air pollution and cardiopulmonary mortality in women. Epidemiology 17, 545-551, 2006.
- [9] MILLER, K.A., SISCOVICK, D.S., SHEPPARD, L., SHEPHERD, K., SULLIVAN, J.H., ANDERSON, G.L., KAUFMAN, J.D., "Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. N. Engl. J. Med. 356, 447-458, 2007.
- [10] POPE, C.A., BURNETT, R.T., THURSTON, G.D., THUN, M.J., CALLE, E.E., KREWSKI, D., GODLESKI, J.J., "Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution. Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease." Circulation 109, 71-77, 2004.



- [11] FROMME, H., DIEMER, J., DIETRICH, S., CYRYS, J., HEINRICH, J., LANG, W., KIRANOGLU, M., TWARDELLA, D., "Chemical and morphological properties of particulate matter (PM10, PM2.5) in school classrooms and outdoor air." *Atmospheric Environment* 42, 6597-6605, 2008.
- [12] STRANGER, M., POTGIETER-VERMAAK, S.S., VAN GRIEKEN, R., "Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium." *Indoor Air* 18, 454, 2008.
- [13] BRANIS, M., SAFRANEK, J., HYTYCHOVA, A., "Exposure of children to airborne particulate matter of different size fractions during indoor physical education at school." *Building and Environment* 44, 1246-1252, 2009
- [14] CORSI, R.L., SIEGEL, J.A., CHIANG, C., "Particle resuspension during the use of vacuum cleaners on residential carpet" *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 5, 232-238, 2008
- [15] QIAN, J., FERRO, A.R., FOWLER, K.R., "Estimating the resuspension rate and residence time of indoor particles" *Journal of the Air and Waste Management Association* 58, 502-516, 2008.
- [16] OCAK, YILMAZ, AKIN KILIÇVURAN, AYKUT BALKAN EREN, AYSUN SOFUOGLU, SAIT C. SOFUOGLU. "Exposure to particulate matter in a mosque." *Atmospheric environment* 56, 169-176, 2012.
- [17] AL-HOMOUD, M.S., ABDOU, A.A., BUDAIWI, I.M., "Assessment of monitored energy use and thermal comfort conditions in mosques in hot-humid climates". *Energy and Buildings* 41, 607-614, 2009.
- [18] AL-AJMI, F.F., "Thermal comfort in air-conditioned mosques in the dry desert climate". *Building and Environment* 45, 2407-2413, 2010.
- [19] KARACA F., ÜNAL B., GÖREN S., AĞA Ö., KARABURUN A "İç Ortam Hava Kalitesinin Dolmabahçe Saray Envanterinde Bulunan Tarihi ve Kültürel Mirasa Etkilerinin Araştırılması, Risk Değerlendirmesi ve Uygun Kirlilik Kontrol Sistemlerinin Önerilmesi", Tübitak 109Y272 proje sonuç raporu, 2012
- [20] RASLI N. B. I, RAMLI N. A, ISMAIL M. R, SHITH S, YUSOF N. F. F. M, ZAINORDIN N. S, EL-BAYOUMI M, NAZIR A. U. M. "Effects of Hoovering Activities on Biological Contaminants and Particulate Matter Levels in Main Prayer Halls of Malaysian Mosques. *Curr World Environ*;14(1). 2019
- [21] LİN, C.W., YEH, J.F. AND KAO, T.C "Source characterization of total suspended particulate matter near a riverbed in Central Taiwan. *Journal of hazardous materials*" 157(2-3), 418-422. 2008.
- [22] BHADAURIA, VISHAL, DIPTEEK PARMAR, RAJIV GANGULY, ABHINAV KUMAR RATHI, AND PRASHANT KUMAR. "Exposure assessment of PM2. 5 in temple premises and crematoriums in Kanpur, India." *Environmental Science and Pollution Research* 29, no. 25, 38374-38384, 2022.
- [23] GODİSH, T."Indoor air pollution control" CRC press. 1989.
- [24] CAVALLO D, ALCINI D, DE BORTOLI M, CARRETTONI D, CARRER P, BERSANI M, MARONI M , Cemical contamination of indoor air in schools and office buildings in Milan, Italy. In: *Proceedings*, 1993
- [25] BLONDEAU P, IORDACHE V, POUPARD O, GENIN D, ALLARD F "Relationship between outdoor and indoor air quality in eight" French schools. *Indoor Air* 15:2-12, 2005
- [26] FROMME H, LAHRZ T, HAINSCH A, ODDOY A, PILOTY M, RÜDEN H "Elemental carbon and respirable particulate matter in the indoor air of apartments and nursery schools and ambient air in Berlin (Germany)". *Indoor Air* 15:335-341, 2005
- [27] MONN CH, FUCHS A, HÖGGER D, JUNKER M, KOGELSCHATZ D, ROTH N, WANNER HU "Particulate matter less than 10 um (PM10) and fine particles less than 2.5 um (PM2.5): relationships between indoor, outdoor and personal concentrations" *Sci Total Environ* 208:15-2, 1997



ÖZGEÇMİŞ

Kaan SARI

1996 Aydın doğumludur. 2020 yılında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü tamamlamıştır. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmaya başlamış ve devam etmektedir. İç ve dış ortam hava kirleticileri konularında çalışma yapmaktadır.

Ahmet YÜKSEL

1991 yılı Erzurum doğumludur. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü tamamlamıştır. 2016 yılında Yalova Üniversitesi'nden Yüksek Mühendis ünvanı almıştır. Kocaeli Üniversitesi'nde Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalında doktora çalışmaları devam etmektedir. 2019 yılından beri Yalova Üniversitesi Yalova Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. 2019 yılından beri Bölüm Başkan Yardımcılığı ve 2022 yılından beri İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Program Başkanlığı görevlerini yürütmektedir. Isı pompalı yaş meyve-sebze kurutma sistemleri, indüksiyonlu akışkan ısıtıcıları, iç ortamlarda termal konfor ve binalarda enerji tüketimi konularında çalışmaktadır.

Müslüm ARICI

1980 yılı Şanlıurfa doğumludur. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2007 yılında von Karman Enstitüsü'nün "Diploma Course" programını bitirmiş ve Kocaeli Üniversitesinden 2010 yılında Doktora ünvanını almıştır. 2022 yılından beri Kocaeli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak görev almaktadır. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects; Gazi University Journal of Engineering and Architecture; Journal of Thermal Engineering; ve Energy, Ecology and Environment gibi dergilerde yardımcı editör/bölüm editörü olarak, ve Journal of Cleaner Production (Elsevier), Sustainable Energy Technologies and Assessment (Elsevier), Energy and Buildings (Elsevier), Energy for Sustainable Development (Elsevier) gibi dergilerde misafir editör olarak görev yapmaktadır. Stanford Üniversitesi raporuna göre 2020 ve 2021 yıllarında dünyanın en iyi %2'lik diliminde olan bilim insanları arasına girmiştir. Uzmanlık alanları arasında enerji verimli binalar, nanoakışkanlar, yenilenebilir enerji sistemleri, termal enerji depolama ve faz değiştiren malzemelerle termal yönetim yer almaktadır.

Mihriban CİVAN

1977 yılı Manisa doğumludur. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde 2010 yılında bütünleşik doktora programını tamamlamıştır. 2002-2010 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi, 2011 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Uzmanlık alanları arasında hava kirliliği, organik kirleticiler, iç ortam hava kirliliği, kirletici maruziyetleri yer almaktadır.

DÜŞÜK MALİYETLİ VE TAŞINABİLİR PARTİKÜL MADDE (PM) SENSÖRLERİNİN KALİBRASYONU

Calibration of Low-Cost and Portable Particulate Matter (PM) Sensors

Çağrı Şahin
Sait Cemil Sofuoğlu

ÖZET

Havadaki partiküller, özellikle mikron-altı fraksiyondakiler (PM_{10} , aerodinamik çapı $1 \mu m$ 'den az olan partiküller) sağlığa zararlı etkileri nedeniyle küresel bir endişe kaynağıdır. İç hava partikül madde konsantrasyonlarının izlenmesi tipik olarak, genellikle modelleme veya enterpolasyon yoluyla tahmin edilen uzamsal kapsamdaki boşluklara sahip az sayıda sabit izleme cihazları kullanılarak gerçekleştirilir. Fakat iç ortamların hacmi büyüdükçe noktasal olarak veri üreten bu cihazların, tüm alanı temsil etmeleri zorlaşmaktadır. Bu nedenle, çalışmalarda kullanılan cihazların sayısal olarak artırılması gerekmektedir. Bu durum ise düşük maliyetli ve taşınabilir hava kalitesi izleme cihazlarına olan talebi artırmaktadır. İzleme cihazı maliyetlerinin yüksekliği nedeniyle, düşük maliyetli ve taşınabilir sensörler tercih edilse de, bu sınıfta yer alan sensörlerin gerçeğe yakın sonuçlar üretebilmesi, daha güvenilir bir başka referans cihaz ile test edilmesi ile mümkün olmaktadır. Ayrıca, saha çalışmalarında faydalı olabilmesi için bu sensörlerin kesinlik ve doğruluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir.

Düşük maliyetli sensörler (DMS'ler), genellikle partikül maddeler için üretilen optik parçacık sayıcılar (OPC'ler), kullanıma hazır bir şekilde kullanıcıya teslim edilmesine rağmen, tam zamanlı veri üretmeleri ve uzaktan kontrol edilmeleri için bir IoT (Internet of Things – Nesnelerin interneti) sisteme uyum sağlayarak çalıştırılması gerekliliği; uzun süreli performanslarının, ışık saçılımı algılama konfigürasyonlarının optimize edildiği bir diğer cihazla karşılaştırılarak kalibre edilmelerini gerektirmektedir.

Bu çalışmada, PM izlemek üzere üretilmiş bir marka OPC'lerin, kesinliği ve doğruluğu sertifikalandırılmış bir izleme cihazı referans alınarak doğru veri üretme durumları incelenmiştir. Düşük maliyetli ve taşınabilir PM sensörlerinin performansı; farklı boyut dağılımlarının etkileri, sıcaklık, nem ve çığ noktası gibi parametrelerin kullanıldığı çok değişkenli doğrusal regresyon, yapay zeka veya makine öğrenmesi yöntemleri ile incelenmiş olup böylece, kalibre edilmiş OPC'lerin, derslikler gibi kalabalık iç ortamların her noktasında, partikül maddeye bağlı kirletici maruziyetlerinin değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Partikül madde, PM_{10} , sensör, IoT, makina öğrenmesi, yapay zeka, kalibrasyon.

ABSTRACT

Airborne particles, especially those in the sub-micron fraction (PM_{10} , particles with an aerodynamic diameter less than $1 \mu m$), are a global concern due to their harmful effects on health. Monitoring indoor particle matter concentrations are typically carried out using a limited number of fixed monitoring devices with spatial gaps, often requiring use of modeling or interpolation. However, as the volume of indoor environments increases, it becomes increasingly difficult for these point data-generating devices to represent the entire area. Therefore, the number of sensors used in studies needs to be increased. In turn, the demand for low-cost and portable air quality monitoring devices increases. The low-cost sensors generally have high levels of uncertainty. However, it is possible to

obtain realistic results from these sensors by testing them with a more reliable reference device. Additionally, it is necessary to evaluate the accuracy and precision of these sensors in order to be helpful in field studies.

Although low-cost sensors (LCSs) are often delivered ready-to-use by manufacturers, they need to be operated by integrating with an IoT (Internet of Things) system to produce real-time data, and be remotely controlled. This requirement necessitates a calibration and optimization that considers their long-term performance.

This study compares the accuracy and precision of OPCs produced for particulate matter monitoring with a certified monitoring device. The performance of low-cost and portable sensors has been improved by performing a calibration study using multiple linear regression and artificial intelligence or machine learning methods that evaluate the effects of different size distributions, temperature, humidity, and dew point parameters. As a result, the calibrated OPCs can be used to study particulate matter exposure in crowded indoor environments, such as classrooms.

Key Words: Particulate matter, PM₁, sensor, IoT, machine learning, calibration.

1. GİRİŞ

Havadaki partikül madde (PM) kirliliğine maruziyet, dünya genelinde akciğer kanseri, iskemik kalp hastalığı, inme ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) gibi hastalıklara bağlı yılda 4,2 milyon ila 8,9 milyon kişinin ölümüne neden olmaktadır [1–3]. COVID-19 pandemisi öncesinde yapılan bir araştırmaya göre, iç ortamdan kaynaklı PM maruziyeti için Türkiye’de toplam atfedilen ortalama erken ölüm oranı 6679/100000 kişi olarak verilmiştir (DSÖ, 2019). PM genellikle ortalama aerodinamik çapına göre, <10 µm (PM₁₀), <2,5 µm (PM_{2,5}), <1 µm (PM₁) ve <0,1 µm (PM_{0,1}) sırasıyla, kaba, ince, mikron-altı ve ultra ince olarak sınıflandırılırlar. Solunum yolu ile alınan PM sınıfları için, PM₁₀ solunum sistemine, PM_{2,5} bronşiyoller ile potansiyel olarak alveollere, PM₁ akciğer alt lobu ve alveollere ve PM_{0,1} ise hava-kan bariyerine aşarak dolaşım sistemine girebilmektedir [3,5]. Solunum yolu ile solunum sistemi ve akabinde dolaşım sistemine girebilen bu kirletici grubu için çalışmalar PM_{2,5} ve PM₁₀’un etkileri üzerinde odaklanmış, daha ince partiküllerin potansiyel olarak daha fazla sağlık etkilerine neden olacağı düşüncesiyle, PM₁ için çalışmaların azlığı günümüzde endişe kaynağı olarak değerlendirilmiştir [5]. Bugüne kadar, PM₁ çalışmalarının çoğu toplum sağlığı riski üzerinde içlerinde hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıklar ve otizm spektrum bozukluğu gibi uzun vadeli etkilere odaklanmıştır. Kısa vadeli maruziyetin neden olduğu kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümler ve genellikle zatürre ve KOAH nedenli acil servis başvuruları [6–8] PM₁ kirliliğinin insan sağlığını ne denli etkileyebileceğini göstermekte ancak PM₁ için uluslararası veya ulusal dış veya iç hava sınır değeri bulunmamaktadır.

Yüksek değişkenliğe sahip olan mikro çevrelerde, ince partikül maddeler gibi kirleticilerin haritalanmasını zorlaştıracak farklılıklar oluşmaktadır [9,10]. İlgili mekânsal değişimleri değerlendirmek için yoğun izleme ağlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek zamanlı partikül madde verilerinin toplanması ve gerekli eylemlerin uygulanması amacına yönelik dünya çapında mevcut bir eğilim vardır [11–13]. Partikül maddelerin oluşum dinamiklerindeki değişkenlikler nedeniyle, mekânsal ve zamansal kirlilik seviyelerinde önemli farklılıklar oluşmaktadır. Referans cihazlar ile oluşturulan izleme ağları, her bir iç ortam referans izleme cihazının yüksek maliyete sahip olması nedeniyle kısıtlıdır. Partikül maddeler ve gazlar dâhil olmak üzere havadaki çok çeşitli türlerin konsantrasyonlarını ölçmek için düşük maliyetli sensörlerin (DMS) geliştirilmesi bu denli zorlukların üstesinden gelmek için uygun bir seçenek oluşturmaktadır [14–17].

DMS, Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından belirtilen maliyeti 2500 \$’dan az olan cihazlar için tanımlanmış olsa da [18], günümüzde bu değer 100 \$ altındaki cihazlar için kullanılmaya başlanmıştır [19,20]. DMS’ler, elektrokimyasal hücre (EC), metal oksit yarı iletken (MOS), dağılmayan kızılötesi (NDIR) gibi teknolojiler kullanırken, PM için parçacık ışık saçılımı teknolojisini kullanan optik

parçacık sensörleri (OPS'ler) kullanılmaktadır. OPS'ler, nefelometreler ve optik partikül sayıcılar (OPC'ler) olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler [21]. Işık saçılımı kullanan bu iki teknolojiyen nefelometreler, parçacıkları topluluk halinde ölçerken, OPC'ler parçacıkları ayrı ayrı algılar, sayıları ve boyutları hakkında bilgi verir. Optik yöntemler doğrudan kütle konsantrasyonlarını ölçmez; bunun yerine, ışık saçılımı verilerini parçacık sayısı ve kütlesine dönüştüren kalibrasyonlara dayalı olarak kütle tahmin ederler. Muadilleri arasında en düşük maliyete sahip ama farklı PM boyutları hakkında bilgi vermesi açısından avantaja sahip olan OPC'ler için veri kalitesinin, yani belirsizlik düzeyinin, yeterli olup olmayacağı sorusu tartışılmaya devam etmektedir [13,22]. Hem gazlar hem de partikül sensörleri için bağıl nem (RH), sıcaklık ve diğer gaz fazı bileşikler gibi birçok etmen girişim yaratabilir [14,23,24]. Yüksek RH, kuru kütle tahmin edilmesine yol açan higroskopik partikül büyümesine neden olabilmekte ve partikül madde fraksiyonunun doğru tahminini zorlaştırmaktadır. Bu zorluklara rağmen, son çalışmalar OPC'lerin, bilinen girişimler için uygun düzeltmelerin uygulanması şartıyla büyük ölçekli çalışmalarda kullanabileceğini göstermiştir [12,19,23,25].

OPC'ler için, literatürde rapor edilen veri üretim kalitesi performansları değişkenlik göstermektedir [12,26–28]. Birçok üretici firmadan ticari olarak temin edilebilen çok çeşitli düşük maliyetli OPC'ler bulunmaktadır. OPC'lerin doğruluk ve kesinlik açısından yerleşik cihazlarla rekabet etmesi beklenmemekle birlikte, satın alınabilirlikleri ve boyutları, kişisel izleme gibi bir dizi çalışmada bu tür sensörlerin kullanımı için onları çekici kılmaktadır. Ancak bu tür çalışmalarda faydalı olabilmesi için bu cihazların kesinlik ve doğruluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Referans cihazlarla laboratuvar ortamında test edilen OPC'lerin performans değerlendirmeleri yeterli hassasiyetler ile umut verici sonuçlar göstermişlerdir [29]. Bir çalışmada, Alphasense firmasından temin edilen OPC-N2 marka sensörlerin, referans aerosoller (yol tozu, NaCl ve ark kaynağı ile üretilen duman) kullanan ve GRIMM marka taşınabilir aerosol spektrofotometre cihazı arasında boyut dağılımları ve parçacık kütlesi için kalibrasyonlar ile değerlendirmişlerdir [27]. Çalışmada aerosol spektrofotometre cihazı ile OPS'nin ürettiği veriler arasında anlamlı bir yakınlık görülmüştür. Referans aerosoller kullanarak laboratuvar ortamında gerçekleşen çalışmalarda sonuçlar umut verici olsa da, gerçek zamanlı alınan saha çalışmalarında karşılaşılan bazı karmaşıklıklar ile nem ve sıcaklık gibi parametrelerin veri kalitesi ve cihaz performansını düşürmesi nedeniyle ölçülen değerler gerçek konsantrasyonları temsil etmeyebilmektedir. OPC'lerin referans cihazlar ile testlerinin gerçekleştiği kısa süreli (4-5 gün) saha çalışmalarında iki farklı OPC tipi sensörün [30-31], kentsel ve kırsal dış hava ölçümlerinde iyi bir performans sergilediği belirtilmiştir. Bu durumun aksine yol kenarında konumlandırılmış partikül madde konsantrasyonunun izlenmesinin amaçlandığı iki OPC'nin referans cihazla kıyaslandığı bir başka çalışmanın sonuçları, OPC'lerin zayıf bir veri kalitesine sahip olduğunu göstermiştir [12]. Literatürden elde edilen sonuçlarda bu tür çelişkili bulguların yer alması nedeniyle, DMS'lerin referans cihazlarla test edilmesinin önemi anlaşılmakta, bu tip cihazlarının ölçüm stabilitesinin ve uzun ömürlülüğünün daha uzun vadeli değerlendirilmesi çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

OPC'ler için kurulan kalibrasyon modelleri tipik olarak referans monitör ölçümlerini kullanarak yanlılığı ayarlayarak OPC'deki sistematik hatayı ve OPC ölçümlerinin sıcaklık, RH, gibi ortam partikül özelliklerini etkileyen çevresel koşullara bağımlılığını düzeltir [13]. PM₁ için düşük maliyetli sensörlerin kalibrasyonu hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır [19,32]. Çalışmalar çoğunlukla PM_{2.5} üzerindeki hesaplamalara dayanmaktadır [13,33–38]. Bunun nedeni, 2021'de USEPA (Amerikan çevre koruma ajansı) tarafından yayınlanan "Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors: Use in Ambient, Outdoor, Fixed Site, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications" bölümünde partikül madde sensörlerinin performans değerlendirmelerini belirleyen kurallardır [39]. OPC genel olarak referans cihazlar ile değerlendirilmesi istatistiksel verilere bağlanmıştır. Bunların en başında OPC ve referans cihazların korelasyonu (Pearson korelasyonu r sabiti) değerlendirilmiş ve daha sonrasında basit doğrusal regresyon (BDR) modelinde verilen belirleme katsayısı (R²) ile ortalama karekök sapması (RMSE) değerlendirilmiştir.

Bu çalışma, kalibrasyon modelleri oluşturmak için gelişmiş makina öğrenimi algoritmaları kullanarak iç hava partikül madde izlemesi için piyasada bulunan OPC-R2 sensörlerinin performansını değerlendirmeyi ve veri güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bilinen literatürde OPC-R2 cihazları ile yapılan kalibrasyon çalışması mevcut değildir. Ayrıca bu çalışmada, çoklu doğrusal regresyon

(ÇDR), rastgele karar ormanları (RF) ve destek vektörü regresyon (SVR) gibi kalibrasyon modellerini değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Cihazlar

Sensörler ve referans cihazlarla ile veri üretimi Ağustos-Eylül 2022 tarihleri arasında laboratuvar ortamında birbirilerini etkilemeyecek en yakın mesafede konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Her cihaz için yaklaşık 10000 veri üretilerek (sensörlerin veri vermediği süre ve nem oranının yüksek olduğu >%70 koşullarda alınan verilerin çıkarılması hesaba katıldığında) kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Cihazların zamana bağlı hatalı sonuçlar üretmesini engellemek için bir saatlik ortalama veriler kullanılmıştır. Çalışmada değerlendirilen OPC, Alphasense (<http://www.alphasense.com>) tarafından ticari olarak üretilen OPC-R2'dir (Şekil 1). Geleneksel optik partikül sayıcılar gibi, OPC-R2 de bir lazer ışını yoluyla hava akımında taşınan ayrı parçacıklar tarafından saçılan ışığı ölçer. Bu ölçümler, partikül boyutunu¹ ve partikül sayısı konsantrasyonunu belirlemek için kullanılır. Partikül kütle yüklemeleri (PM₁, PM_{2.5} ve PM₁₀), daha sonra bir partikül yoğunluğu ve kırılma indisi (RI) varsayılarak partikül boyutu spektrumları ve konsantrasyon verilerinden hesaplanır. Ölçülen partikül sayısı konsantrasyonu, Avrupa Standardı EN481²'e göre PM₁, PM_{2.5} ve PM₁₀ boyut fraksiyonu için yerleşik fabrika kalibrasyonu yoluyla partikül kütle konsantrasyonlarına dönüştürülür. Varsayılan ayarlarda, ağırlık indeksi 2, yoğunluk 1,65 g/ml ve kırılma indisi (RI) 1,5+i0 olarak belirlenmiştir. Çoğu ticari OPC ile uyumlu olması amacıyla, şekilden bağımsız olarak tüm parçacıkların küresel olduğu varsayılır ve bu nedenle 'küresel eşdeğer boyut' atanır. Bu boyut, bilinen boyut ve kırılma indisine (RI) sahip küreler tarafından saçılmayı tahmin etmek için kesin bir teori olan Mie teorisi tarafından tanımlandığı gibi parçacık tarafından saçılan ışığın ölçümü ile ilgilidir. OPC-R2, bilinen bir çapa ve bilinen RI'ye sahip Polistiren Küresel Lateks Parçacıkları (PSL'ler) kullanılarak kalibre edilir. Farklı yoğunluk veya kırılma indisine sahip parçacıklardan kaynaklanan hatalar için düzeltme faktörleri uygulanabilir.



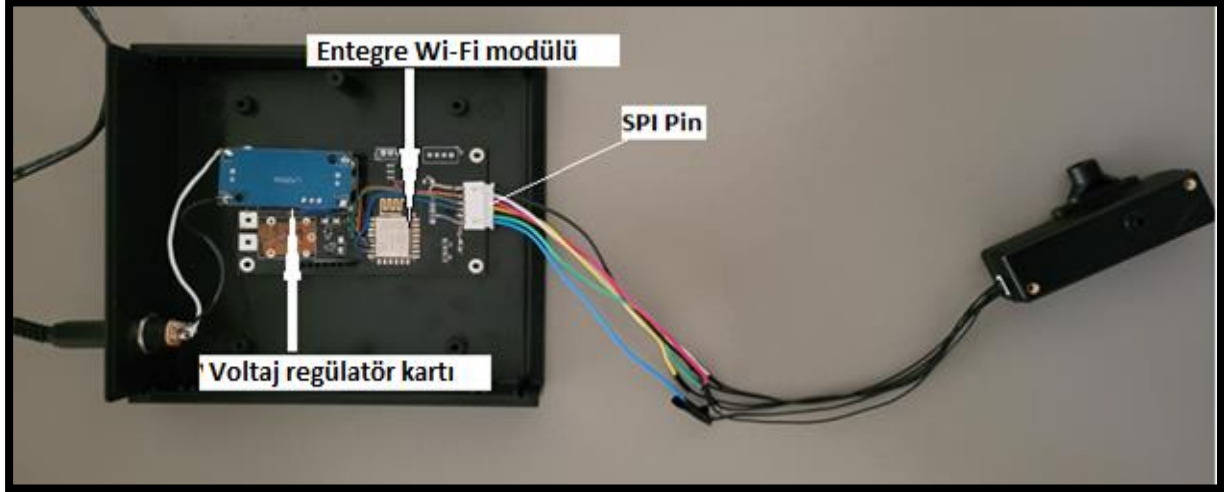
Şekil 1. OPC-R2 görseli.

Saniyedeki maksimum partikül ve algılanabilen maksimum kütlenin elektronik aksamın potansiyel performansına bağlı olduğunu ve gerçek ölçümlerde azalacağı firma tarafından belirtilmiştir. Ortaya çıkan parçacık boyutu histogramları, 1 ila 30 saniyelik süre boyunca kullanıcı tanımlı örnekleme süreleri ile değerlendirilebilir. Lazer, OPC-R2'de %25 görev döngüsüne sahiptir ve iki saniyeden büyük örnekleme süreleri tavsiye edilir. Bu histogram verileri, bir SPI arabirimi aracılığıyla bir ana bilgisayara iletilir. OPC-R2, ünite içinde partikül birikimini en aza indirecek ve böylece tozlu ortamlarda uzun süreli gözetimsiz çalışmaya izin verecek şekilde tasarlanmıştır.

¹ Mie saçılım teorisine dayalı bir kalibrasyon yoluyla saçılan ışığın yoğunluğu ile ölçülür.

² PM₁₀ için EN 481 standart tanımı, OPC-R2'nin ölçülebilir üst boyut sınırının ötesindeki parçacık boyutlarını kapsar. Bazı durumlarda rapor edilen PM₁₀ değerinin %10 daha az okunmasına neden olabilmektedir.

OPC-R2, firma tarafından sağlanan bir yazılım kullanarak bir kişisel bilgisayar aracılığıyla verileri kaydetmek için tasarlanmıştır. Fakat aynı anda birden fazla OPC-R2 kullanıldığında veya uzun süreli kişisel izleme yapılması istendiğinde yazılımı kullanmak uygun olmayabilmektedir. Bu nedenle, mikrodnetleyici sistemi kullanarak, karşılaştırmalar sırasında OPC-R2'den aktarılan verileri kaydetmek için özel olarak oluşturulmuş bir sistem geliştirilmiştir. SPI arabirimi ile mikrodnetleyiciye bağlanan OPC, voltaj düzenleyici kartı ile sabit 5V ile beslenmektedir. Oluşturulan sistem Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sensör için oluşturulan sistemin görseli.

OPC-R2'den aktarılan verilerin mikrodnetleyici sistemine aktarılması SPI birimi sayesinde taşınan ve üretici firma tarafından hazırlanan özel bir kod ile gerçekleşmektedir. Bu kod, bir Arduino UNO veya Leonardo gibi bir mikrodnetleyici üzerinde çalışan açık ölçekli OPC cihazını kontrol etmek için yazılmıştır. Kod, OPC cihazının seri numarasını ve bilgi metnini okur, cihazı başlatır ve konfigürasyon verilerini alır. Ayrıca, cihazın 10 saniyelik aralıklarla histogram verilerini almasını ve bunları seri port üzerinden yazdırmasını sağlar. OPC cihazının çalışmasını kontrol etmek için watchdog timer ve SPI arayüzünü kullanır. Fakat yazılan kodun sistem ile bütünleştirilmesi kullanıcıya aittir. Mikrodnetçiden okunan verinin bir depolama aygıtına veya bir depolama ağına aktarılması günlük olarak verilerin değerlendirilmesi için önemlidir. Ayrıca, IoT (Internet of Things) sistemlerinde veri depolama için bulut tabanlı hizmetler de kullanılabilir. OPC'lerden üretilen verilerin internet ortamına aktarılması server ve ağ bakım ücretleri ile ekstra maliyete neden olsa da, gerçek zamanlı müdahalenin yapılabilmesi ve referans cihaz ile koordine edilmesini kolaylaştırmaktadır. Mikrodnetleyiciler, genellikle Wi-Fi modülü ile IoT sistemine bağlanabilmektedir. Bu işlem, aşağıdaki adımları içermektedir.

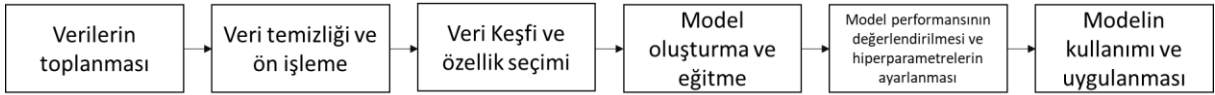
1. Mikrodnetleyicinin Wi-Fi modülünün gerekli yazılımın yüklenmesi: Mikrodnetleyicinin Wi-Fi modülünü kullanmasına izin verecek olan yazılım paketidir.
2. Wi-Fi modülünün konfigürasyonu: Bu adımda, mikrodnetleyici tarafından kullanılacak olan Wi-Fi ağının adı (SSID) ve şifresi gibi bilgiler girilir.
3. Bağlantı kurulması: Mikrodnetleyici Wi-Fi modülünü kullanarak IoT sistemi ile bağlantı kurar. Mikrodnetleyicinin IoT sistemi tarafından sağlanan IP adresi veya DNS adı gibi bilgileri kullanarak gerçekleştirilir.
4. Veri aktarımı: Bağlantı kurulduktan sonra, mikrodnetleyici, sensörler ve diğer cihazlar tarafından toplanan verileri IoT sistemi ile paylaşabilir. Bu veriler, genellikle HTTP veya MQTT gibi bir protokol kullanarak gönderilir.

Referans cihaz olarak kullanılan Thermo Scientific pDR-1500, iç ve dış ortamlarda havadaki toz, duman ve sislerin solunabilir fraksiyonunun ölçümü için ışık saçılımı algılama konfigürasyonu optimize edilmiş, oldukça hassas bir nefelometrik (yani fotometrik) monitördür. pDR-1500, yüksek RH yüzdesine sahip ortamlarda bile ölçüm hatalarını azaltmak için bir sıcaklık ve bağıl nem (RH) sensörü içerir. Ek olarak, akış kontrolü hacimseldir ve yerleşik barometrik basınç sensörü, sıcaklık sensörü ve

hassas bir orifis boyunca kalibre edilmiş diferansiyel basıncın dijital geri bildirim yoluyla korunur. Hacimsel akış debisinin ayarlanması ile iki tip başlık kullanılarak istenilen partikül madde boyut fraksiyonu ölçümleri vermektedir.

2.2. Veri Analizi

Sensörlerden alınan ham verilerin toplanmasından, kullanılan nihai regresyon modeline kadar izlenen akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Model kullanımı için akış şeması.

Sensörlerden toplanan ham verilerin doğruluğunun belirlenmesi amacı ile aykırı değerlerden temizlenmiştir. Partikül madde dışında diğer değişkenler belirlenerek bunlar arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Partikül maddeye ek olarak sıcaklık, bağıl nem, çığ noktası ve referans cihazdan ölçülen basınç değeri ile toplam 10 değişken seçilmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler yapılarak korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Veri setinin %20'si test için geri kalan %80'i ise eğitim için kullanılmıştır. Modelin performansı test verileri üzerinden değerlendirilmiş ve hiperparametreler ayarlanarak optimizasyon işlemi yapılmıştır. RF için çalışılan hiperparametreler; ağaç sayısı, ağacın maksimum derinliği, ağacın dallanması ile ilgili optimal değerlerin bulunması ile gerçekleştirilirken, SVR için toleransın ve kernel fonksiyonunun parametresini belirleyen optimal değerler olarak kullanılmıştır. İstatistiksel göstergeler; RMSE, ortalama mutlak hata (MAE) ve R^2 değerleri kullanılarak en uygun regresyon modeli seçilmiştir. Tüm analizlerde R versiyon 4.2.1 ("Funny-Looking Kid") kullanılmıştır.

2.2. Regresyon Modelleri

Kullanılan regresyon modelleri çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR), RF (Random Forest - Rastgele orman) ve SVR (Support Vector Regression- Destek Vektör Regresyonu) modelleridir. Çok değişkenli doğrusal regresyon, birden çok bağımsız değişken (öngörücü veya açıklayıcı değişkenler olarak da bilinir) ile tek bir bağımlı değişken (tepki veya sonuç değişkeni olarak da bilinir) arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan istatistiksel bir tekniktir. Yalnızca bir bağımsız değişken içeren basit doğrusal regresyonun (BDR) bir uzantısıdır.

Çok değişkenli doğrusal regresyon denkleminin temel formu Eşitlik-1'de gösterilmiştir.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (1)$$

Burada; Y: bağımlı değişken, B_0 : sabit(veya kesişme noktası, B_1, B_2, \dots, B_n ; her bir bağımsız değişken (X_1, X_2, \dots, X_n) için katsayılarıdır. Çok değişkenli doğrusal regresyonun amacı verilere en uygun katsayıların ($B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$) değerlerini tahmin etmektir. Katsayılar tahmin edildikten sonra model, bağımsız değişkenlerin yeni değerleri verildiğinde bağımlı değişkenin değeri hakkında tahminlerde bulunmak için kullanılmıştır.

Rastgele karar ormanı regresyonu, karar ağaçlarının oluşturulması için rastgele seçilen örnekler ve rastgele seçilen değişkenler kullanır [40]. Bu, her karar ağacının farklı bir yapıda olmasını ve farklı değişkenleri kullanmasını sağlar. Bu sayede, ağaçlar arasındaki varyasyon artar ve overfitting riski azaltılır. Ayrıca, her karar ağacının sadece belirli bir kısmı veri kümesiyle eğitilmesi, modelin genel performansını artırır. Rastgele orman regresyonunda, nihai tahmin, çoklu karar ağaçlarının tahminlerinin ortalaması alınarak yapılır. Her karar ağacı, verilerin rastgele bir alt kümesinde ve özelliklerin rastgele bir alt kümesinde eğitilir.

Rastgele karar orman regresyonunun son tahmini Eşitlik-2 ile temsil edilebilir:

$$Tahmin = \frac{1}{n} * \sum(\text{Her ağacın tahmini}) \quad (2)$$

Burada; n: ormandaki ağaç sayısı, Σ :toplama operatörüdür. Her ağacın tahmini, ormandaki her karar ağacı tarafından yapılan tahmindir.

Destek vektör makinası (SVM) regresyonu (SVR), denetimli öğrenim algoritmasıdır ve hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilir [41,42]. SVM regresyonun amacı, veri noktalarını farklı sınıflara ayırmak için yüksek boyutsal özellik uzayında bir doğrusal sınır belirlemektir. SVR'nin temel fikri, veri noktalarını iki sınıfa ayırmak için bir doğrusal sınır kullanmaktır. Birinci sınıf, sınırdan belirli bir mesafede olan veri noktalarıdır ("epsilon-tube"), diğer sınıf ise bu mesafenin dışındaki veri noktalarıdır. Mesafe, epsilon olarak adlandırılan bir hiperparametre tarafından kontrol edilir. SVR denklemi Eşitlik-3'teki gibi verilmektedir.

$$y = wx + b \quad (3)$$

Burada, y:tahmin edilen değer, w:ağırlık vektörü lineer sınırın katsayıları, x:özelliklerin girdi vektörü ve b: bias terimidir. SVR regresyonunun amacı, w ve b'nin optimal değerlerini bulmaktır ve bu değerler en büyük ayrımı sağlar. Bu ayrım sınır ve veri noktaları arasındaki mesafedir.

$$\text{minimize} \quad \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (4)$$

$$\text{koşul} \rightarrow |y(i) - (wx(i) + b)| \leq \text{epsilon}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

Burada, i:veri noktasının indeksi, n: veri noktalarının sayısı, y(i): i'deki veri noktasının gerçek değeri, x(i): i'deki veri noktasının özellik vektörüdür. Optimizasyon probleminin çözümü w ve b'nin optimal değerlerini verir ve bu değerler yeni veri noktaları için tahmin yapmak için kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kalibrasyon çalışmaları üç sensör ve üç referans cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sensörler; S1, S2 ve S3 olarak, referans cihazlar ise R1, R2 ve R3 olarak verilmiştir. OPC ve referans cihazdan gerçek zamanlı dakikalık veriler ortalama saatlik verilere çevrilerek iki ay boyunca toplanmıştır. İlk ay boyunca sensörler ile referans cihazlarının ürettiği verilerin değerlendirilmesi yapılarak, birbirlerine göre korelasyonları incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de ve korelasyon matrisi ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Sensör ve referans cihazlarının tanımlayıcı istatistikleri.

	S1	S2	S3	R1	R2	R3
Ortalama ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,53	2,91	15,5	8,86	8,44	8,95
Medyan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,33	2,56	3,57	8,19	7,61	8,15
Standart Sapma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,58	1,47	11,2	4,23	4,13	4,22
Shapiro-Wilk W	0,88	0,85	0,47	0,90	0,88	0,89
Shapiro-Wilk p	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001

Tablo 2. Sensör ve referans cihazları Pearson's r korelasyon matrisi.

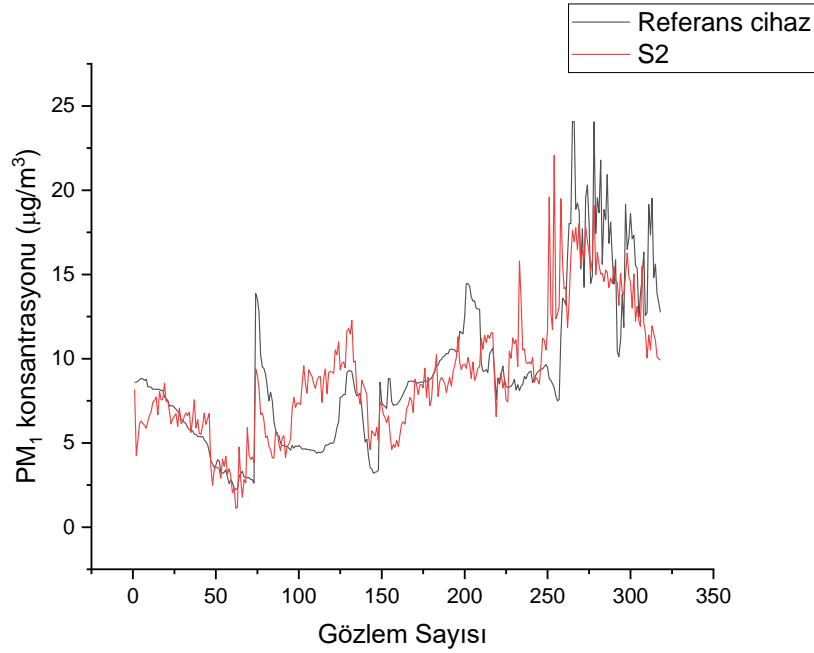
	S1	S2	S3	R1	R2	R3
S1	—					
S2	0,472	—				
S3	0,269	0,293	—			
R1	0,517	0,713	0,454	—		
R2	0,538	0,658	0,473	0,975	—	
R3	0,562	0,710	0,572	0,989	0,965	—

Pearson r korelasyon yaklaşımına göre, tüm sensörler arasında anlamlı bir korelasyon vardır ($p < ,001$). S2 ve S1, S3'e göre daha fazla ilişki gösterdiği belirlenmiştir. Referans cihazları kendi aralarında ve sensörler ile anlamlı bir korelasyon gösterirken, S3 cihazı nispeten daha düşük ilişki göstermektedir. Fakat bu istatistiksel yaklaşım her ne kadar sensör ve referans cihazların koordineli çalıştığı gösterse de, verilerin doğruluğunu tespit etmek ve referans cihazın ürettiği verilere yakınsamalarını sağlamak gereklidir. Sensör verilerinin doğruluğu BDR modeli ile belirlenebilir. Bu aşamadan sonraki analizler için üç referans cihazın ortalama değerleri kullanılmıştır. Tablo 3, doğruluğu incelemek için kullanılan BDR modelinin sonuçlarını özetlemektedir.

Tablo 3. Referans cihaz ve üç sensörün BDR modeli sonuçları.

	Model	Eğim (a)	Kayım (b)	R ²	RMSE	MAE
S1	$PM_{1, referans} = PM_1 * a + b$	1,26	4,42	0,22	3,72	2,75
S2		2,14	2,20	0,54	2,78	2,18
S3		0,15	8,12	0,20	3,75	2,69

Referans cihazların saatlik ortalama PM₁ verisine göre sensörlerin ürettiği saatlik ortalama PM₁ verileri kullanılarak kurulan modellerde, eğim, kayım, RMSE ve MAE değerlendirilmiştir. BDR modellemesi sonuçlarına göre, R² değeri göz önüne alındığında, S1 ile kabul edilebilir [39] değere sahip olmasına rağmen diğer iki sensör aynı durumu sağlamaktan uzaktır. Bunun olası nedeni OPC'ler üzerinde bağıl nemin (>%70) doğrusal olmayan önemli bir etkisi olmasıdır [43]. Aynı zamanda, sıcaklık, çiy noktası gibi diğer parametrelerin, referans cihazla birlikte kalibre edilmesi gereklidir. BDR modeli bu durumun değerlendirilmesi için yetersiz kaldığından, çok değişkenli doğrusal regresyon (ÇDR) modeli uygulanmıştır. Bu durumu değerlendirmek için sensörler üzerinde yapılan ÇDR analizinde değişkenlerin katkısı incelenmiştir. Referans cihazların da ölçüm yaptığı değişkenler (sıcaklık, nem ve basınç) dahil edilmiş ve sensörlerin verdiği tüm değişkenler (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀, sıcaklık, nem) ile sıcaklık ve nem değişkenine bağlı çiy noktasının (dew point) katkısı incelenmiştir. Higroskopik özelliklerini yansıtan yüksek bağıl nem koşulları altında su alımı nedeniyle parçacık boyutlarındaki değişiklikleri düzeltmek için algoritmalar kurulmuştur [44]. Önceki araştırmalarda çiy noktasını partikül maddelerin higroskopik büyümesinin iyi bir temsilcisi olduğunu göstermiştir [45,46]. Diğer partikül madde fraksiyonlarının hesaplamaya katılmasının nedeni OPC çalışma prensibinin 16 farklı kategoride boyutlarına göre partikül maddeyi sınıflandırmasıdır [47]. ÇDR analizi için eğitim/test validasyonu kullanılarak verilerin %20'si rastgele test için ayrılmıştır. ÇDR analizi sonuçlarına göre test veri setinde en düşük RMSE değerine sahip olan S2 sensörünün ve R² değeri ise 0,59 olarak bulunmuştur. Şekil 5'te referans cihazı ile S2 test veri setindeki grafiği verilmiştir.



Şekil 4. Test verileri için referans cihaz ve S2 sensörünün ÇDR modeli tahminin uyumluluğu.

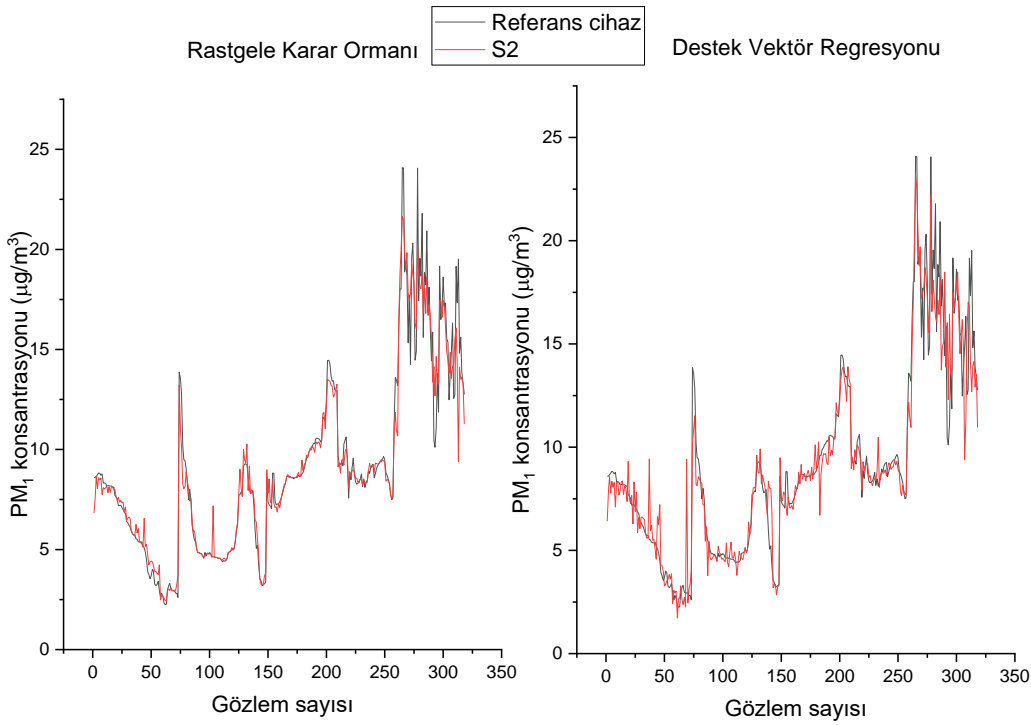
Gözlem sayısı 318 olan test verilerinde medyan değerleri referans cihaz ve sensör için sırasıyla 8.52 ve 8.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuştur. BDR modeli referans cihaz ile sensör verilerinin arasındaki etkileşimi ve diğer değişkenlerin katkısını anlamaya yardımcı olsa da sensörlerin referans cihaz ile her gözlem için yakın değerler vermesi için çalışmalar devam etmiştir. Regresyon modellerinin makina öğrenmesinde kullanıldığı bazı algoritmalar ile on değişkenin üzerinden referans cihaz ve sensör arasındaki yakınsaklık incelenmiştir. Kalibrasyon çalışmalarına destek vektör regresyonu ve rastgele karar ormanları regresyonu eklenmiştir. Modeller, en fazla uyum sağlayan hiperparametrelerin belirlenmesi ile valide edilmiştir. Kullanılan tüm modeller için istatistiksel veriler Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Uygulanan modellerden elde edilen istatistiksel göstergeler.

	RF			SVR			ÇDR		
	R ²	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE
S1	0,85	1,41	1,11	0,86	1,39	1,03	0,38	3,2	2,1
S2	0,90	1,29	0,93	0,93	1,11	0,7	0,59	2,67	2,08
S3	0,93	1,33	1,02	0,86	1,68	1,14	0,62	2,77	2,06

Tüm modeller için anlamlılık düzeyi 0,05 olarak ayarlanmıştır. Model sonuçlarına göre ÇDR modelinin görece yüksek RMSE ve MAE değerine sahip olması nedeniyle sensör performansı için yapılacak iyileştirme çalışmalarında, makina öğrenmesi modellerine göre daha zayıf olduğu görülmektedir. Makina öğrenmesi modellerine cihazlar tarafından verilen tepkiler değişiklik göstermektedir. Cihazlar için oluşturulan modelde hesaplanan MAE ve RMSE değerleri birbirine yakınlık gösterse de, S2 cihazının modellerle birlikte veri üretim performansının diğer cihazlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Üç cihaz için ortalama olarak incelendiğinde RF modeli ile kurulan modelin diğer iki modele göre daha yakınsak sonuçlar verdiği görülmektedir. SVR ve RF modelleri, ÇDR'ye göre veri kalitesini yükseltmede daha başarılı sonuç vermişlerdir. ÇDR modelinde hesaplanan RMSE değerine göre, üç cihaz için SVR modelinin $51,7 \pm 10,1\%$, RF modelinin ise $53,3 \pm 2,4\%$ oranında veri üretim performansını artırdığı hesaplanmıştır. Literatürde, OPC'lerin PM₁ verisi üretim performansını iyileştirildiği makina öğrenmesinin kullanılmadığı bir çalışmada, test verileri için bu oranın $25 \pm 1\%$

artırıldığı görülmüştür [32]. Makina öğrenmesinin OPC veri kalitesini artırmayı amaçladığı bir diğer çalışmada ise SVR dışında farklı iki makina öğrenmesi modeli kullanılmıştır. Üç farklı OPS cihazının farklı modeller ile farklı iyileştirme sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Örnek olarak verilen test PM_{10} verileri için R^2 en fazla 0,857 değerine ulaşırken, SVR modelinin R^2 değeri 0,841 olarak verilmiştir [19]. Çalışmada, az sayıda örneklem sayısının “overfitting” (aşırı öğrenme) durumunu azaltmasına rağmen örneklem sayısının artırılması gerekliliği vurgulanmıştır. Test verileri ile iki makina öğrenmesi modelinin referans cihazla uyumlu bir şekilde veri üretmesi, S2 cihazı için Şekil 5’de grafikleştirilmiştir. Toplam 318 gözlem sayısı ile yapılan test verilerinin iki regresyon modelinin çıktıları, referans cihaz ile uyum içindedir. Daha fazla örneklem sayısı ile daha fazla saha çalışması yapılarak ve farklı hiperparametre değerleri ve farklı makina öğrenmesi modelleri kullanılarak, düşük maliyetli partikül madde sensörlerinin veri üretim performansının iyileşeceği açıktır.



Şekil 5. S2 ve referans cihaz için rastgele karar ormanı ve destek vektör regresyonu modelleri ile test verilerinin uyumluluğu.

SONUÇ

Optik partikül sayıcılar ve referans cihazlar ile üretilen PM_{10} ham veri değerleri farklılık göstermektedir. Değişen zaman aralıklarında çevresel parametrelere karşı hassasiyet göstermektedirler. OPC’lerden gelecek ham veriler ile saha çalışmalarının yapılması, gerçeğe aykırı sonuçların üretilmesine neden olabilir. Yine de, referans cihazlarla anlamlı ilişim göstermeleri, bu cihazların belirli katsayılar veya modellerle gerçeğe yakın sonuçlar verebileceğine işaret etmektedir. Sadece PM değerine bağlı doğrusal model ile belirlenen katsayı, referans cihazla doğrusal bir veri üretmediği görülmüştür. Modele dahil edilen çevresel etmenler ile gerçekleştirilen basit doğrusal model, bulguların istenilen performans ile gerçek verilere yakınsamadığını göstermiştir. Aynı zamanda, bu modellerin aşırı uyum gibi modellemede istenmeyen durumlara yol açabilmesi söz konusudur. Bu nedenle, makina öğrenmesi algoritmaları kullanan model regresyonları, kalibrasyon çalışmalarına dahil edilmiştir. Kullanılan iki modelin, referans cihazlardan üretilen ham veriler ile benzer sonuç tahminlerine ulaştığı görülmüştür. Fakat, bulunan değerlerin OPC’lerden çıkan sonuçlara göre referans cihazı baz alarak tahmin edildiği değerler olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Kalibrasyon çalışmalarının farklı

aralıklarla yapılması, cihazların nispeten kısa ömürlü elektronik parçaları kaynaklı hataları düzeltmek için gerekli olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, örneklem sayısının büyüklüğü ile modellerin başarısı artırılabilir. En uygun hiperparametre değerlerinin modellere dahil edilmesi düşük maliyetli partikül madde sensörlerinin doğruluğunu ve kesinliğini artıracığından şüphe yoktur. Son dönemde çalışmalara konu olan yeni nesil makina öğrenmesi algoritmalarının da yakın gelecekte kalibrasyon çalışmalarına dahil olacağı düşünüldüğünde, iç hava partikül madde kirliliğinin her noktada kesinlik ve doğruluk içererek belirlenmesi, iç ortam havalandırma ve şartlandırma tasarımlarında yeni bir paradigmanın oluşmasına neden olabilir. İnsan sağlığı ve enerji tasarrufu çalışmalarına katkı sağlayabilecek bu denli çalışmalar ve yatırımların, iç ortamlarda daha fazla zaman geçiren insanların ve sürekli tükenen kaynaklarımızın korunmasında başrol oyuncusu olabilecek gelişmeleri beraberinde getirmesi kuvvetle muhtemel görülmektedir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma TÜBİTAK (120R040) ve İYTE BAP (2022İYTE-1-0007) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] COHEN, A. J., BRAUER, M., BURNETT, R., ANDERSON,, ve FOROUZANFAR, M. H., "Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015", *The Lancet* 389.10082, ss. 1907-1918, 2017.
- [2] BRAUER, M., FREEDMAN, G., FROSTAD, J., Van DONKELAAR,, ve COHEN, A., "Ambient Air Pollution Exposure Estimation for the Global Burden of Disease 2013", *Environ. Sci. Technol.*, 50.1, ss. 79-88, 2016.
- [3] KIM, K.-H., KABIR, E., ve KABIR, S., "A review on the human health impact of airborne particulate matter", *Environ. Int.*, 74, ss. 136–143, 2015.
- [4] DSÖ, (Dünya Sağlık Örgütü), Household air pollution attributable deaths [26-08-2022 tarihinde erişildi]. Online: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/household-air-pollution-attributable-deaths>, 2019.
- [5] WANG, X., XU, Z., SU, H., HO, H. C.,....., ve CHENG, J., "Ambient particulate matter (PM1, PM2.5, PM10) and childhood pneumonia: The smaller particle, the greater short-term impact?", *Sci. Total Environ.*, 772, s. 145509, 2021.
- [6] YIN, P., GUO, J., WANG, L., FAN, W.,....., ve DONG, Z., "Higher Risk of Cardiovascular Disease Associated with Smaller Size-Fractioned Particulate Matter", *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 7.2, ss. 95-101, 2020.
- [7] ZHANG, Y., DING, Z., XIANG, Q., WANG,, ve MAO, F., "Short-term effects of ambient PM1 and PM2.5 air pollution on hospital admission for respiratory diseases: Case-crossover evidence from Shenzhen, China", *Int. J. Hyg. Environ. Health.*, 224, s. 113418, 2020.
- [8] MENG, Q., ZHANG, J., KANG, J., ve WU, Y., "Effects of sound environment on the sleep of college students in China", *Sci. Total Environ.*, 705, s. 135794., 2020.
- [9] KAUR, S., NIEUWENHUIJSEN, M. J., ve COLVILE, R. N., "Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments", *Atmos. Environ.*, 41(23), ss. 4781-4810, 2007.
- [10] Van den BOSSCHE, J., PETERS, J., VERWAEREN, J., BOTTELDOOREN, D.,, ve De BAETS, B., "Mobile monitoring for mapping spatial variation in urban air quality: Development and validation of a methodology based on an extensive dataset", *Atmos. Environ.*, 105, ss. 148-161, 2015.
- [11] HEIMANN, I., BRIGHT, V. B., MCLEOD, M. W., MEAD, M. I.,....., ve JONES, R. L., "Source attribution of air pollution by spatial scale separation using high spatial density networks of low cost air quality sensors", *Atmos. Environ.*, 113, ss. 10-19, 2015.

- [12] BORREGO, C., COSTA, A. M., GINJA, J., AMORIM, M.,..., ve De VITO, S., “Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise”, *Atmos. Environ.*, 147, ss. 246–263., 2016.
- [13] deSOUZA, P., KAHN, R., STOCKMAN, T., OBERMANN, W., ..., ve KINNEY, P., “Calibrating Networks of Low-Cost Air Quality Sensors”, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 2022(March), ss. 1–34., 2022.
- [14] LEWIS, A. C., LEE, J. D., EDWARDS, P. M., SHAW, M. D., ..., ve GILLOT, S. R., “Evaluating the performance of low cost chemical sensors for air pollution research”, *Faraday Discuss.*, 189, ss. 85–103., 2016.
- [15] RAI, A. C., KUMAR, P., PILLA, F., SKOULOUDİS, A. N., ..., ve RICKERBY, D., “End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring”, *Sci. Total Environ.*, 607, ss. 691–705., 2017.
- [16] SNYDER, E. G., WATKINS, T. H., SOLOMON, P. A., THOMA, E. D., ..., ve PREUSS, P. W., “The changing paradigm of air pollution monitoring”, *Environ. Sci. Technol.*, 47(20), ss. 11369–11377., 2013.
- [17] BUČAR, K., MALET, J., STABILE, L., PRAŽNIKAR, ..., ve ŽITNIK, M., “Statistics of a sharp gp2y low-cost aerosol pm sensor output signals”, *Sensors (Switzerland)*, 20(23), s. 6707, 2020.
- [18] WILLIAMS, R., KILARU, V. J., SNYDER, E. G., KAUFMAN, A., ..., ve HAFNER, H., , “Air Sensor Guidebook”., US Environmental Protection Agency, 2014.
- [19] CHOJER, H., BRANCO, P., MARTINS, F. G., ALVIM-FERRAZ, M. C. M., ve SOUSA, S. I. V., “Can data reliability of low-cost sensor devices for indoor air particulate matter monitoring be improved?—An approach using machine learning”, *Atmos. Environ.*, 286, s. 119251., 2022.
- [20] MORAWSKA, L., THAI, P. K., LIU, X., ASUMADU-SAKYI, A., ..., ve WILLIAMS, R., “Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?”, *Environ. Int.*, 116, s. 286-299, 2018.
- [21] HAGAN, D. H., ve KROLL, J. H., “Assessing the accuracy of low-cost optical particle sensors using a physics-based approach”, *Atmos. Meas. Tech.*, 13(11), ss. 6343-6355, 2020.
- [22] KUMAR, P., MORAWSKA, L., MARTANI, C., BISKOS, G., ..., ve BRITTER, R., , “The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities”, *Environ. Int.*, 75, ss. 199–205., 2015.
- [23] MUELLER, M., MEYER, J., ve HUEGLIN, C., “Design of an ozone and nitrogen dioxide sensor unit and its long-term operation within a sensor network in the city of Zurich”, *Atmos. Meas. Tech.*, 10(10), ss. 3783–3799., 2017.
- [24] POPOOLA, O. A. M., STEWART, G. B., MEAD, M. I., ve JONES, R. L., “Development of a baseline-temperature correction methodology for electrochemical sensors and its implications for long-term stability”, *Atmos. Environ.*, 147, ss. 330–343., 2016.
- [25] MEAD, M. I., POPOOLA, O. A. M., STEWART, G. B., LANDSHOFF, P., ..., ve DICKS, J., “The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks”, *Atmos. Environ.*, 70, ss. 186–203., 2013.
- [26] CASTELLINI, S., MORONI, B., ve CAPPELLETTI, D., “PMetro: Measurement of urban aerosols on a mobile platform”, *Measurement*, 49, ss. 99–106., 2014.
- [27] SOUSAN, S., KOEHLER, K., HALLETT, L., ve PETERS, T. M., “Evaluation of the Alphasense optical particle counter (OPC-N2) and the Grimm portable aerosol spectrometer (PAS-1.108)”, *Aerosol Sci. Technol.*, 50(12), ss. 1352–1365., 2016.
- [28] VIANA, M., RIVAS, I., RECHE, C., FONSECA, A. S., ..., ve SUNYER, J., “Field comparison of portable and stationary instruments for outdoor urban air exposure assessments”, *Atmos. Environ.*, 123, ss. 220–228., 2015.
- [29] MANIKONDA, A., ŽÍKOVÁ, N., HOPKE, P. K., ve FERRO, A. R., “Laboratory assessment of low-cost PM monitors”, *J. Aerosol Sci.*, 102, ss. 29–40., 2016.
- [30] STEINLE, S., REIS, S., SABEL, C. E., SEMPLE, S., ..., ve LIN, C., “Personal exposure monitoring of PM_{2.5} in indoor and outdoor microenvironments”, *Sci. Total Environ.*, 508, ss. 383–394., 2015.
- [31] GAO, M., CAO, J., ve SETO, E., “A distributed network of low-cost continuous reading sensors to measure spatiotemporal variations of PM_{2.5} in Xi’an, China”, *Environ. Pollut.*, 199, ss. 56–65., 2015.
- [32] KOSMOPOULOS, G., SALAMALIKIS, V., PANDIS, S. N., YANNOPOULOS, ..., ve KAZANTZIDIS, A., “Low-cost sensors for measuring airborne particulate matter: Field evaluation and calibration at a South-Eastern European site”, *Sci. Total Environ.*, 748, s. 141396, 2020.

- [33] CARRICO, C. M., BERGIN, M. H., XU, J., BAUMANN, K., ve MARING, H., “Urban aerosol radiative properties: Measurements during the 1999 Atlanta supersite experiment”, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 108(7), 2003.
- [34] DUBEY, R., PATRA, A. K., JOSHI, J., BLANKENBERG, ..., ve RAVAL, S., “Evaluation of low-cost particulate matter sensors OPC N2 and PM Nova for aerosol monitoring”, *Atmos. Pollut. Res.*, 13(3), s. 101335., 2022.
- [35] HOLSTIUS, D. M., PILLARISSETTI, A., SMITH, K. R., ve SETO, E., “Field calibrations of a low-cost aerosol sensor at a regulatory monitoring site in California”, *Atmos. Meas. Tech.*, 7(4), ss. 1121–1131., 2014.
- [36] LE, T. C., SHUKLA, K. K., CHEN, Y. T., CHANG, S. C.,, ve TSAI, C. J., , “On the concentration differences between PM_{2.5} FEM monitors and FRM samplers”, *Atmos. Environ.*, 222, s. 117138, 2020.
- [37] NGUYEN, N. H., NGUYEN, H. X., LE, T. T. B., ve VU, C. D., “Evaluating Low-Cost Commercially Available Sensors for Air Quality Monitoring and Application of Sensor Calibration Methods for Improving Accuracy”, *Open J. Air Pollut.*, 10(01), ss. 1–17, 2021.
- [38] WANG, Y., DU, Y., WANG, J., ve LI, T., “Calibration of a low-cost PM_{2.5} monitor using a random forest model”, *Environ. Int.*, 133, s. 105161, 2019.
- [39] DUVALL, R., CLEMENTS, A., HAGLER, G., KAMAL, A.,, ve GREENE, D., “Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors: Use in Ambient, Outdoor, Fixed Sites, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications”, *US EPA Off. Res. Dev.*, 2021.
- [40] BIAU, G., ve SCORNET, E., “A random forest guided tour”, *Test*, 25(2), ss. 197–227, 2016.
- [41] NOBLE, W. S., “What is a support vector machine?”, *Nat. Biotechnol.*, 24(12), ss. 1565–1567, 2006.
- [42] WANG, L., *Support vector machines: theory and applications*, Vol. 177. Springer Science & Business Media, 2005.
- [43] ZHENG, T., BERGIN, M. H., JOHNSON, K. K., TRIPATHI, S. N.,, ve CARLSON, D. E., “Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high-and low-concentration environments”, *Atmos. Meas. Tech.*, 11(8), ss. 4823–4846, 2018.
- [44] Di ANTONIO, A., POPOOLA, O. A. M., OUYANG, B., SAFFELL, J., ve JONES, R. L., “Developing a relative humidity correction for low-cost sensors measuring ambient particulate matter”, *Sensors*, 18(9), s. 2790, 2018.
- [45] CLEMENTS, A. L., GRISWOLD, W. G., Rs, A., JOHNSTON, J. E., HERTING, M. M.,, ve HANNİGAN, M., “Low-cost air quality monitoring tools: from research to practice (a workshop summary)”, *Sensors*, 17(11), s. 2478, 2017.
- [46] MALINGS, C., TANZER, R., HAURYLIUK, A., SAHA, P. K.,, ve SUBRAMANIAN, R., “Fine particle mass monitoring with low-cost sensors: Corrections and long-term performance evaluation”, *Aerosol Sci. Technol.*, 54(2), ss. 160–174, 2020.
- [47] CRILLEY, L. R., SHAW, M., POUND, R., KRAMER, L. J.,, ve POPE, F. D., “Evaluation of a low-cost optical particle counter (Alphasense OPC-N2) for ambient air monitoring”, *Atmos. Meas. Tech.*, 11(2), ss. 709–720, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Çağrı ŞAHİN

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2013 yılında İTÜ Kimya Bölümünü bitirmiştir. 2017 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği, Bilimi ve Teknolojileri Bölümünde Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2017 yılında aynı bölümün doktora programına başlamıştır. 2018 yılında İYTE Çevre Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaya başlamıştır. Aynı yıl İYTE Çevre Mühendisliği Doktora Programına geçiş yapmıştır. Günümüzde doktora eğitimi devam etmektedir. Doktora tezinin konusu iç hava kalitesi ve kontrolü çalışmalarından oluşmaktadır.



Sait Cemil SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. Halen, İYTE Çevre Mühendisliği bölümünde Prof.Dr. unvanı ile çalışmakta, iç hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet – risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.

COVID19 PANDEMİSİ KAPSAMINDA TAM KAPANMA DÖNEMİNDE EVLERİN İÇ VE DIŞ ORTAM HAVASINDA UÇUCU ORGANİK BİLEŞİK DÜZEYLERİ

Indoor and Outdoor Levels of Volatile Organic Compounds in Homes During Lockdown Period of COVID19 Pandemics

Sibel Mentеше
Müge Aydın

ÖZET

Türkiye’de Covid19 pandemisi nedeniyle 29 Nisan - 17 Mayıs 2021 tarihleri arasında ülke genelinde tam kapanma uygulanmıştır. Kapanma döneminde iç ortam havasındaki uçucu organik bileşik (UOB) düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Çanakkale’nin Merkez İlçesinde yer alan 12 farklı ev ve dış ortamında eşzamanlı olarak pasif UOB örnekleri kapanma dönemi boyunca toplanmıştır. Evlerden bir tanesinde (izlem evi) kapanma döneminden sonraki bir ay boyunca hem iç, hem de dış ortam hava örnekleri toplanarak, kapanma döneminin UOB profiline katkısı araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, kapanma döneminde örnekleme yapılan evlerdeki toplam UOB (TUOB) düzeylerinin iç ortam-dış ortam (İ/D) oranı ortalama değer olarak 2,82 olarak hesaplanmıştır. İzlem evinde TUOB açısından İ/D oranı kapanma süresince 2,21 iken; kapanmadan sonra 1,30 olarak belirlenmiştir. Bu duruma kapanma sonrasında trafik yoğunluğundaki belirgin artış nedeniyle dış ortam havasındaki UOB düzeylerinin daha yüksek olarak gözlenmesi yol açmıştır. Kapanma süresince örnekleme yapılan evlerde ortalama TUOB düzeyi 171,5 µg/m³ iken; dış ortam havasında 96,6 µg/m³ olarak gözlenmiştir. İzlem evindeki TUOB düzeyi kapanma süresince iç ortam havasında 75,9 µg/m³ ve dış ortam havasında 34,3 µg/m³ iken; kapanmadan sonra iç ortam havasında 133,2 µg/m³ ve dış ortam havasında 102,3 µg/m³ olmuştur. Çalışma süresince mevsim koşullarına bağlı olarak ısınma amaçlı yakıt tüketiminin olmaması nedeniyle, dış ortam hava kompozisyonuna en çok katkısı olan kaynak trafik yoğunluğudur ve ev havasının kompozisyonunda da iç ortam aktivitelerine ilaveten trafik katkısının doğal havalandırma yoluyla açılma ile beraber arttığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Covid19 pandemisi, uçucu organik bileşikler, iç ortam hava kalitesi, dış ortam hava kalitesi, kapanma dönemi.

ABSTRACT

Due to the Covid19 pandemic, nationwide full lockdown was implemented in Turkey between April 29 and May 17, 2021. Passive volatile organic compounds (VOC) samples were collected from indoor air of 12 different houses and their outdoor environments in Central town of Çanakkale city to determine the VOC levels during lockdown period. By taking both indoor and outdoor air samples during and after the lockdown period in one of the houses (monitoring house), the contribution of the lockdown to the VOC profile was investigated. According to the results of the study, the average indoor-to-outdoor (I/O) ratio of the total VOC (TVOC) levels in all houses of the study was calculated as 2.82 during the lockdown period. I/O ratio for TVOC in the monitoring house was 2.21 during the lockdown, while it was 1.30 after the lockdown period. This result was explained by a remarkable increase in traffic density with the opening, leading to occurrence of higher outdoor VOC levels. The average TVOC level during the lockdown was 171.5 µg/m³ in the houses, while It was observed as 96.6 µg/m³ in outdoor air. TVOC level in the monitoring house was 75.9 µg/m³ in indoor air and 34.3 µg/m³ in outdoor air, while it was 133.2 µg/m³ in indoor air and 102.3 µg/m³ in outdoor air after the lockdown

period. The fact that domestic heating was not applied due to the seasonal conditions, traffic density was the major source contributor of outdoor air composition. In addition to indoor activities, the contribution of traffic sources might have increased indoor air composition through natural ventilation with the opening.

Key Words: Covid19 pandemic, volatile organic compounds, indoor air quality, outdoor air quality, lockdown period.

1. GİRİŞ

İç ortam hava kalitesi (İHK) kavramı, iç ortam havasının ne kadar temiz olduğu ile ilgili olan çok sayıda parametrenin etkisinin olduğu karmaşık bir yapıyı ifade eder. İnsanların yaşadıkları ortamın havasının kalitesi açısından beklentilerinin ve algı düzeylerinin farklı olması ve/veya konfor düzeylerinin farklı olması gibi nedenlerden dolayı İHK için sınırları kesin olarak belirlenmiş bir çerçeve oluşturmak çok kolay değildir. İnsanların zamanlarının %90 gibi bir kısmını sınırlı hacme sahip iç mekanlarda geçirdiği dikkate alındığında, yetersiz temiz hava sağlanması nedeniyle kirleticilerin bu ortamlardan giderilmesi çok kolay olmamaktadır ve bu durum nedeniyle İHK konusuna daha fazla önem gösterilmesi ve dikkat çekilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmalar, kirletici düzeylerinin iç ortam havasında, dış ortam havasına göre daha yüksek mertebelerde gözlenebildiğini göstermektedir [1-7]. Yetersiz İHK, solunum yolu ve kardiyovasküler hastalıklar, alerji semptomları, kanser ve prematüre bebek ölümü gibi olumsuz sağlık etkilerine yol açabilmektedir [6,8]. Bu nedenle, İHK'nin anlaşılması ve kontrol edilmesi, özellikle yaygın olarak iç ortamlarda gözlenen kirleticilerin düzeylerinin azaltılarak İHK nedeniyle ortaya çıkan sağlık şikayetlerini azaltma potansiyeli bulunmaktadır.

Hava ortamında gözlenen uçucu organik bileşiklerin (UOB) doğal kaynaklarına ilaveten, yakıtların yanma reaksiyonları ve endüstriyel uygulamalar gibi insan-kökenli temel kaynakları özellikle önem arz etmektedir [9-13]. Diğer taraftan; inşaa ve dekorasyon malzemeleri, yer kaplamaları, boyalar, pestisitler, evsel temizlik ürünleri, parfüm/deodorant gibi UOB kaynakları iç mekanlarda yaygın olarak bulunmaktadır [14-16]. UOBler solunum organları tahribatından kansere kadar çok geniş bir yelpazede sağlık etkisine yol açmaktadır [6,17]. Farklı fonksiyonel gruplara dahil olan çok sayıda bileşiğin yer aldığı UOBler arasından benzen bileşiği 1982'den bu yana insan kanserojen olarak sınıflandırılan en bilinen UOB türüdür [18]. UOBlerin çoğu ortamda yaygın olarak gözleniyor olması ve önemli sağlık etkilerine yol açmaları nedeniyle, düzeylerinin bilinmesi ve azaltıcı önlemlerin alınması önemlidir.

Covid19 pandemisinin etkisi 2019 sonlarında ilk tanının konulmasıyla beraber 2022 yılına kadar pek çok ülkede vakaların artış hızına bağlı olarak zaman zaman gevşek zaman zaman ise oldukça sıkı kapanma ve/veya karantina koşullarının uygulanması nedeniyle dünya genelinde önemli bir salgın halini almıştır. Karantina ve kapanma dönemlerinde sokağa çıkmanın kısıtlanması, eğitim faaliyetlerinin okullarda yapılmaması ve bazı iş kollarının da çevrim içi olarak işyeri dışında hizmet vermesi gibi çeşitli uygulamalar söz konusu olmuştur. Kısıtlamaların olduğu bu dönemlerde ülkelerdeki hava kalitesinin kapanma süresince nasıl değiştiği, kapanma öncesi veya sonrasındaki hava kalitesi baz alınarak değerlendirilmiştir. Ülkemizde ve dünyanın diğer ülkelerinde yapılan çalışmalar genel olarak kapanma dönemlerinde özellikle trafik ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğunun azalması nedeniyle hava kirletici düzeylerinin azalması suretiyle hava kalitesinin iyileştiğine işaret etmektedir [2,7,19-28]. Kapanma sonrası dönemi kapsayan çalışmalarda işaret edilen önemli bir nokta ise; hava kirletici düzeylerindeki azalmanın geçici bir durum olduğu; açılma ile beraber hava kalitesinin yine kapanma öncesi duruma hızla geçtiği ve hava kirleticilerin düzeylerinin tekrar artışa geçtiğidir.

Türkiye'de 2021 yılında Covid19 pandemisi nedeniyle 29 Nisan saat 19:00 ile 17 Mayıs saat 05:00 arasında ülke genelinde tam kapanma uygulanmıştır. Kapanma süresince, genel popülasyonun dışarıya çıkması sınırlandırılmıştır. Kapanma döneminde insanlar vakitlerinin tamamını iç ortamlarda geçirmek zorunda kaldıkları için, günlük hayat rutininde de değişim olmuştur. Kapanma süresince evdeki kişi sayısı azami düzeyde olacağı gibi; yemek pişirme, temizlik ve hobi amaçlı kişisel

faaliyetlerde de kapanma öncesine göre artış olması muhtemeldir. Özellikle pandemi ile beraber İHK ve sağlık etkilerine ilişkin olarak kamuoyu ve halk tarafından daha fazla dikkat edilmeye başlanmıştır.

Tam kapanmanın uygulanacağını kamuoyuna bildirilmesinden sonra, kapanma dönemindeki ev içi havasındaki uçucu organik bileşik (UOB) düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Çanakkale'nin Merkez İlçesinde yer alan 12 farklı ev ve dış ortamına eşzamanlı olarak pasif UOB örnekleme tüpü yerleştirilmiştir ve kapanma dönemi sonunda evlerden örnekleme tüpleri toplanmıştır. Evlerden bir tanesinde (izlem evi) kapanma döneminden sonraki bir ay boyunca hem iç, hem de dış ortam hava örnekleri toplanarak, kapanma döneminin UOB profiline katkısı araştırılmıştır.

2. METODOLOJİ

2.1. Çalışma Yeri

Çanakkale'nin Merkez İlçesinde yer alan 12 farklı evin oturma odaları ile dış ortamında eşzamanlı olarak bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu evlerin çevresel özellikleri ile evlerde yaşayan çalışmanın katılımcılarına ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmanın yapıldığı evlere ait özet bilgiler şöyledir: evlerin büyük bir kısmı apartman dairesidir, genellikle trafiğe yakınlığı az olan ara sokaklarda yer almaktadır, genellikle doğalgaz ısınma ve mutfak yakıtı olarak kullanılmaktadır, binalar genellikle 5 yıldan eski, çoğunda son tadilat 4 yıldan uzun süre önce yapılmış, evde yaşayan kişi sayısı 1 ila 4 kişi arasında, evlerin yarısından azında sigara içen kişi var, haftalık temizlik sıklığı 1-2 kez, günlük havalandırma süresi mevsim koşullarının da elvermesi nedeniyle 1 saatten 15 saate kadar geniş bir aralıkta değişmekte ve evlerin 2 tanesinde kedi ve 1 tanesinde köpek besleniyor. Evde yaşayan katılımcılara yapılan kısa memnuniyet anketine göre; katılımcıların büyük bir kısmı kadın, yaş aralığı 27-51 arasında ve doktor tarafından tanısı konulmuş bir hastalığı olmayan katılımcıların yarısında hasta bina sendromu (SBS) semptomlarından en az biri gözlenmiştir. En yaygın gözlenen SBS semptomları; cilt kuruluğu, hapşırma, baş ağrısı ve yorgunluk.

Tablo 1. Çalışmanın yapıldığı evler ve katılımcılara ait bilgiler.

Özellik	Ev no											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ev tipi	Apt.	Müs.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.	Apt.
Bulunduğu kat	5	3	4	4	1	5	4	5	3	1	4	3
Trafiğe yakınlık	orta	az	çok	orta	az	az	az	orta	orta	az	orta	orta
Son tadilat zamanı	12 y	6 y	6 y	4 y	7 y	1 y	10 y	1 h	6 y	2 y	4 y	5 y
Bina yaşı (yıl)	>20	10	6	13	16	20	10	11	6	2	5	>20
Isınma yakıtı	Doğ.	Elk.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Elk.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.
Mutfak yakıtı	Doğ.	Elk.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Elk.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.	Doğ.
Evde yaşayan kişi sayısı	4	3	1	4	3	4	3	4	1	2	3	1
Evde sigara içen kişi sayısı	0	0	1	2	2	0	0	0	0	1	0	1
Evde günlük içilen sigara adedi	0	0	20	30	30	0	0	0	0	5	0	10
Haftalık temizlik sıklığı	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1
Havalandırma süresi (saat/gün)	5	10	8	15	13	8	2	8	yok	5	1	4
Evcil hayvan varlığı	yok	kedi	kedi	yok	yok	yok	yok	köpek	yok	yok	yok	yok
Katılımcıya ait bilgiler												
Yaş	40	51	30	27	27	41	50	45	40	28	28	27
Cinsiyet	K	E	K	E	K	K	K	K	K	K	E	K
SBS semptomları var mı?	Yok	Evet -cilt k.	Yok	Evet -hapş.	Evet -baş ağ. -hapş. -cilt k.	Evet -cilt k.	Yok	Yok	Yok	Evet -yorg.	Evet -baş ağ.	Yok

Not: K: Kadın, E: Erkek, y: yıl, h: hafta, Doğ: doğalgaz, Elk: elektrikli, Apt: apartman, Müs: müstakil, cilt k: cilt kuruluğu, SBS: hasta bina sendromu, hapş: hapşırma, baş ağ: baş ağrısı, yorg: yorgunluk.

Çalışmanın yapıldığı evlerden bir tanesinde (izlem evi) kapanma sırasında ve kapanma döneminden sonra hem iç, hem de dış ortam hava örnekleri toplanarak, kapanma döneminin UOB profiline katkısı araştırılmıştır (Tablo 1'de yer alan Ev-1). Tablo 1'de verilen bilgilere ilaveten, izlem evine ait diğer özellikler özetle şöyledir: Boğazkent Mahallesi'nde yer alan evin ön cephesinde trafik lambasının yer aldığı orta işlekli bir dörtyol ve şehir içi otobüs durağı yer almaktadır. Örnekleme süresince odada ortalama 2-3 kişi bulunuyordu, örnekleme sırasında odanın kapısı ve pencereleri kapalı konumdaydı ve örneklemeden önce kimyasal madde içeren temizlik malzemesi ile ıslak temizlik yapılmadı. Örnekleme yapılan oda ahşap parkeli ve odanın alanı 30 m², odada 4 kanepeler, 1 yemek masası ve TV ünitesi yer almaktadır.

2.2. Örnekleme ve Analiz Teknikleri

Havadaki UOBler pasif örnekleme tekniğiyle toplanmıştır. UOB örnekleri bir tarafında difüzyon kapağı olan Tenax TA/Carbograph 1TD sorbentlerini içeren paslanmaz çelikten yapılmış termal desorber tüpleri içerisinde toplanmıştır [29-31]. Çalışmada hedef UOB türleri benzen, toluen ve ksilenler (*o*-, *m*- ve *p*-). Bu kirleticilerin tür ve konsantrasyon tayinlerinde standart solüsyon olarak UOB mix-1 (Dr. Ehrenstorfer) kullanılmıştır. Toplam UOB (TUOB) düzeyleri toluen-eşdeğeri olarak kromatogramlarda gözlenen C₆-C₁₆ arasındaki bileşikler için hesaplanmıştır [32]. Örnekleme alanından kapanma bittikten sonra toplanan örnekleme tüpleri içi aktif karbon ve silika jel ile dolu olan özel taşıma kutularında Laboratuvara getirilmiştir ve hemen analiz edilmiştir. Hava örneklerinin Termal Desorber/Gaz Kromatografi (TD/GC-FID) cihazlarında analizleri yapılarak bileşiklerin kaynama noktalarına göre tür ve miktar tayinleri yapılmıştır. Hava örneklerindeki hedef UOB türlerinin kütleli konsantrasyonu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Fick'in 1. difüzyon kanununa göre hesaplanmıştır [30].

2.3. Verilerin Değerlendirilmesi

Evlerde ve dış ortamlarında gözlenen BTX bileşikleri ve TUOB seviyeleri ile iç ortam/dış ortam (İ/D) oranları Tablo 1'de detaylı olarak verilen evlere ait çevresel bilgiler ve katılımcılara ait bilgiler de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma tabloları ile çalışmanın bulguları sunulmuştur.

3. BULGULAR

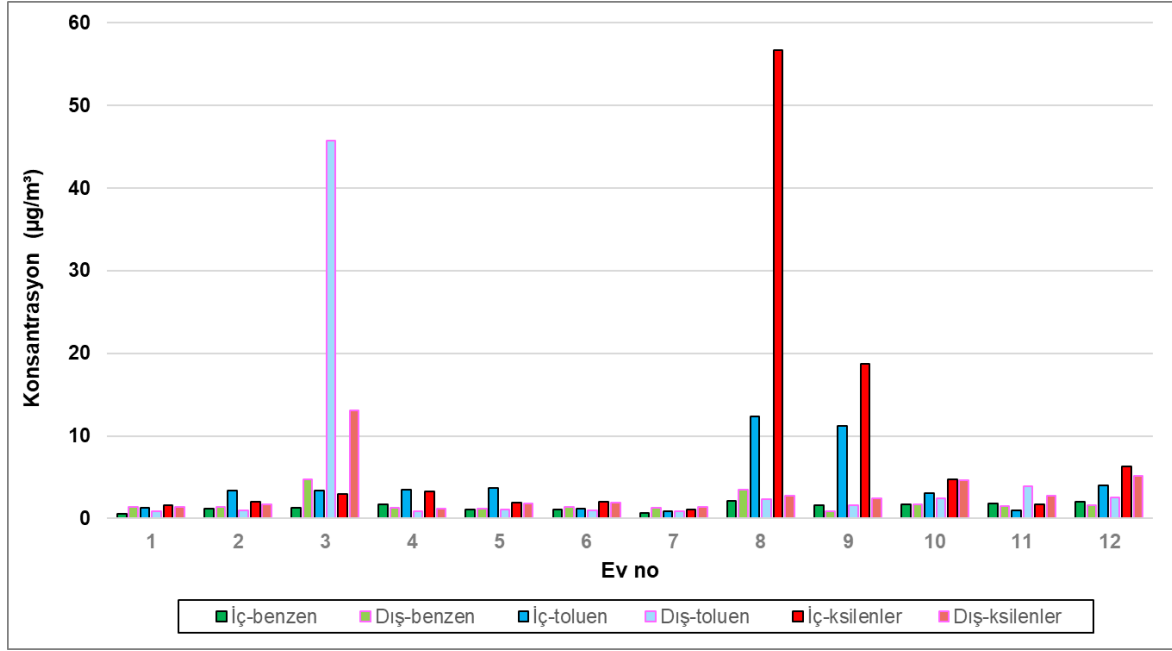
Bu çalışmada kapanma dönemi boyunca 12 evin oturma odalarında ve dış ortamında gözlenen UOB düzeyleri ile izlem evinde kapanma süresince ve sonrasında gözlenen UOB düzeyleri belirlenmiştir.

3.1. UOB Düzeylerinin Kapanma Döneminde Düzeyleri

Kapanma döneminde ortalama değer açısından benzen ve toluen dış ortamda daha yüksek olarak gözlenirken; ksilenler evlerde daha yüksek olarak gözlenmiştir. Çalışma genelinde evlerde benzen 0,61-2,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 1,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen 0,87-12,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 4,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve ksilenler 1,12-56,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 8,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) aralığında bulunmuştur. Dış ortam havasında ise çalışma genelinde benzen 0,89-4,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 1,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), toluen 0,85-45,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 5,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve ksilenler 1,15-13,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 3,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) olarak tespit edilmiştir. TUOB düzeyleri evlerde 51,7-729,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 171,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) olmak üzere oldukça geniş bir aralıkta değişim gösterirken; dış ortam havasında 21,5-38,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ortalama: 96,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) arasında gözlenmiştir.

Kapanma döneminde evlerin iç ve dış ortamlarında gözlenen benzen, toluen ve ksilenlerin düzeyleri Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre, iç ortam havasında en yüksek düzeyler ksilenler ve toluen açısından sırasıyla Ev-8 ve Ev-9'da gözlenmiştir. Ev-8'de duvar boyama, fayans değişimi gibi büyük ölçekli bir tadilatın kapanmadan hemen önce yapıldığı bilindiğinden; yüksek UOB düzeylerinin bina tadilatı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ev-9'da ise ev sahibi temizlik yaptıktan sonra kapanma süresince evde hiç bulunmadığını ve evin kapanma süresince hiç havalandırılmadığını belirttiğinden UOBler de dahil diğer hava kirleticilerin kapanma süresince ev havasında akümüle olduğu düşünülmektedir. Dış ortam

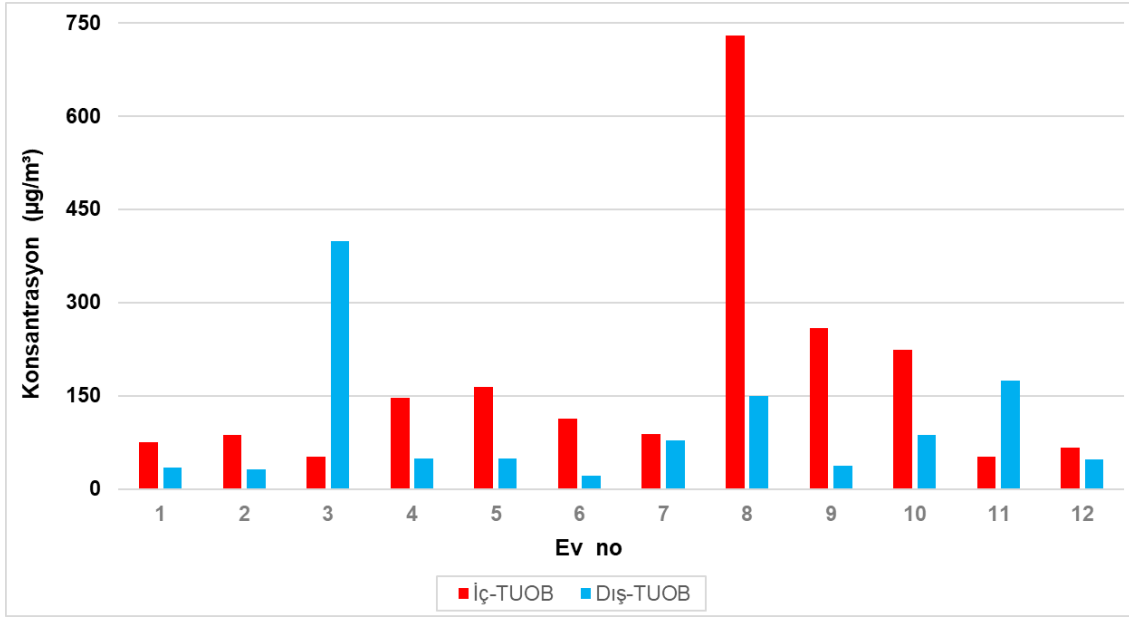
havasında en yüksek düzeyler toluen ve ksilenler açısından Ev-3'de gözlenmiştir. Ev-3'ün trafiğe yakınlığı diğer evlere göre daha fazla olması, dış ortam havasında daha yüksek UOB düzeyleri gözlenmiş olmasına neden olmuş olabilir.



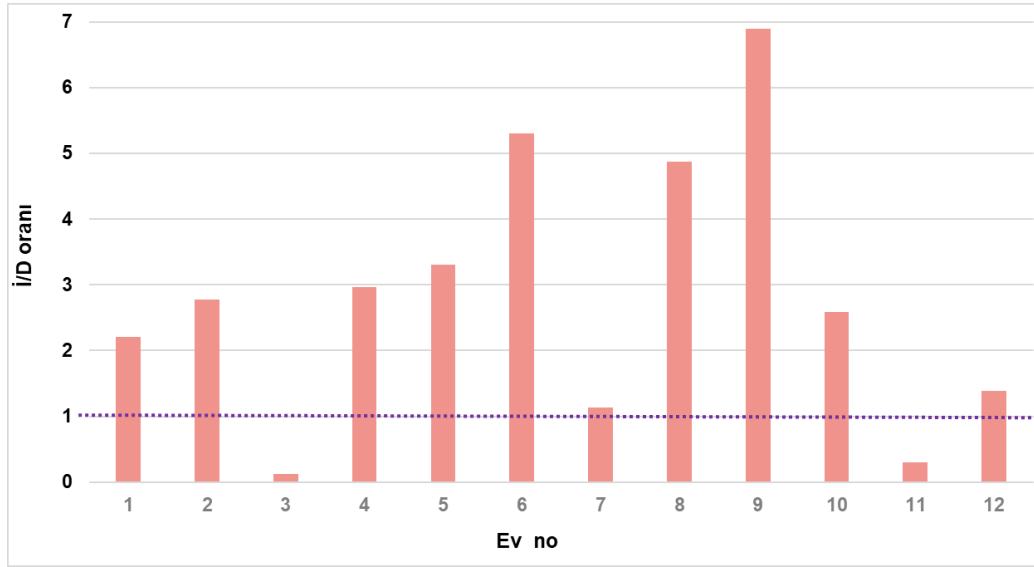
Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı evlerde kapanma döneminde benzen, toluen ve ksilenlerin konsantrasyonunun ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) iç ve dış ortam havasında değişimi

Kapanma döneminde evlerin iç ve dış ortamlarında gözlenen TUOB düzeyleri Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, iç ortam havasında en yüksek düzeyler ksilenler ve toluen açısından sırasıyla Ev-8, Ev-9 ve Ev-10'da gözlenmiştir. Ev-8'de örnekleme öncesi yapılan tadilat ve Ev-9'da havalandırmanın yapılmamış olması ksilenler ve toluen için gözlenen yüksek düzeylere paralel olarak TUOB düzeylerinde de yüksek seviyelerin gözlenmesi ile sonuçlanmıştır. Ev-10'un diğer evlere göre daha yeni olması, evde sigara içilmesi ve görece daha az havalandırmanın yapılmış olması TUOB düzeylerini etkilemiş olabilir. Dış ortam havasında en yüksek TUOB düzeyi, toluen ve ksilenler için gözlenen trende benzer şekilde trafiğe yakınlığı daha fazla olan Ev-3'de gözlenmiştir.

Çalışma genelinde kapanma boyunca iç ve dış ortamlarda gözlenen TUOB düzeylerinin oranı (İ/D oranı) 0,13 ila 6,89 arasında değişmiştir ve ortalama değer olarak 2,82'dir. Evler için TUOB düzeyleri açısından hesaplanan İ/D oranları Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre, Ev-3 ve Ev-11'de İ/D oranı 1'in altında bulunurken; diğer 10 evde bu oran 1'in üzerindedir. En yüksek İ/D oranı sırasıyla Ev-9 (6,89), Ev-6 (5,30) ve Ev-8'de (4,87) gözlenmiştir. Tablo 1'de verildiği üzere, Ev-9'da çalışma süresince havalandırmanın yapılmamış olması, Ev-6'da ev temizlik sıklığının fazla olması (her gün) ve Ev-8'de yeni yapılan tadilatın dış ortam havasına göre oldukça yüksek TUOB düzeylerinin gözlenmesine neden olan iç ortamdaki potansiyel kaynakları olduğu düşünülmektedir. Kapanma dönemlerinde hem iç ortam, hem de dış ortam havasında hava kirleticilerin düzeylerinin araştırıldığı çalışmalarda, genellikle kaynak yoğunluğunun azalması nedeniyle dış hava kalitesi iyileşirken [19,27,33]; iç ortamlarda aşırı temizlik malzemesi ve dezenfektan kullanımı ve mevsimsel koşullara bağlı olarak enerji tasarrufu amaçlı havalandırmanın azalması gibi nedenler ile iç hava kalitesinin ise kötüleştiğine işaret edilmektedir [2,7,23].



Şekil 2. Çalışmanın yapıldığı evlerde TUOB konsantrasyonunun ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kapanma döneminde iç ve dış ortam havasında değişimi

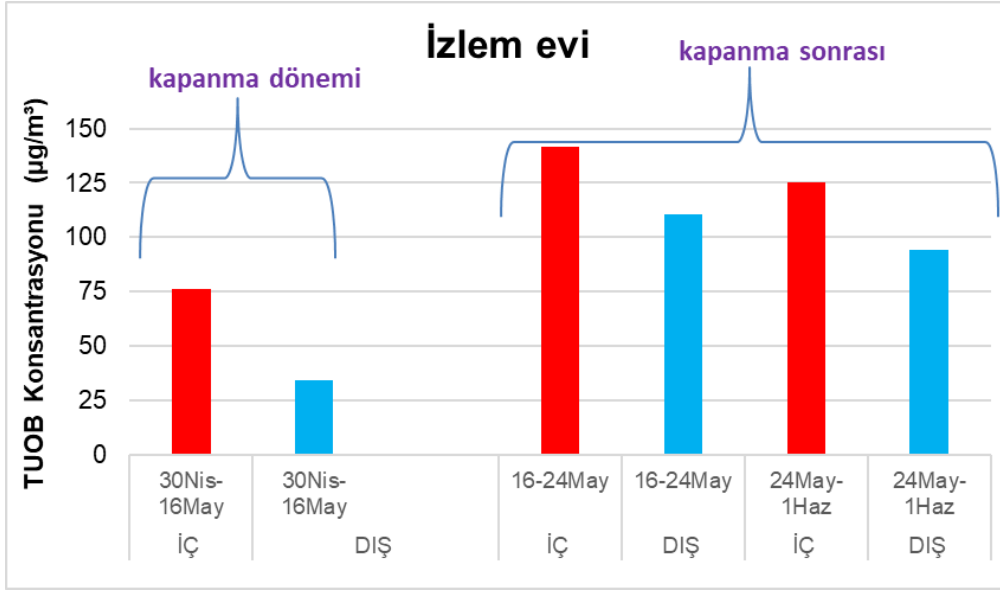


Şekil 3. Çalışmanın yapıldığı evlerde kapanma döneminde gözlenen TUOB düzeylerinin iç/dış (I/D) oranı

3.2. Kapanma Dönemi ve Sonrasında İzlem Evinde UOB Profilinin Değişimi

Kapanma süresince ve kapanmadan sonra izlem evinde gözlenen UOB düzeyleri Şekil 4'de verilmiştir. İzlem evindeki TUOB düzeyi kapanma süresince iç ortam havasında $75,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve dış ortam havasında $34,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken; kapanmadan sonra iç ortam havasında $133,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve dış ortam havasında $102,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olmuştur. İzlem evinde TUOB açısından I/D oranı kapanma süresince 2,21 iken; kapanmadan sonra 1,30 olarak belirlenmiştir. Bu duruma kapanma sonrasında trafik yoğunluğundaki belirgin artış nedeniyle dış ortam havasındaki UOB düzeylerinin daha yüksek olarak gözlenmesi yol açmıştır. Yapılan benzer çalışmalarda da genel olarak kapanma dönemlerinde özellikle trafik ve endüstriyel faaliyetlerin yoğunluğu azaldığı için, hava kalitesinin geçici olarak

iyileştiği; açılma ile beraber, hava kalitesinin yine kapanma öncesi duruma hızla geçtiği ve hava kirleticileri düzeylerinin tekrar artışa geçtiği belirtilmektedir [2,7,19-21].



Şekil 4. İzlem evinde TUOB konsantrasyonunun ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) kapanma döneminde ve sonrasında değişimi

SONUÇ

Türkiye’de Covid19 pandemisi nedeniyle 29 Nisan - 17 Mayıs arasında ülke genelinde uygulanan tam kapanma süresince, genel popülasyonun dışarıya çıkması sınırlandırılmış ve özel izin ile sadece aciliyeti olan iş kolları mensupları dışarıya sınırlı olarak çıkabilmiştir. Kapanma döneminde insanlar vakitlerinin tamamını iç ortamlarda geçirmek zorunda kaldıkları için, günlük hayat rutininde de çeşitli değişimler gerçekleşmiştir. Evdeki kişi sayısı azami düzeyde olacağı gibi; yemek pişirme, temizlik ve hobi amaçlı kişisel faaliyetlerin yoğunluğunda da kapanma öncesine göre artış olabilir.

Tam kapanmanın uygulanacağını kamuoyuna bildirilmesinden sonra, kapanma dönemindeki ev içi havasındaki uçucu organik bileşik (UOB) düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Çanakkale’nin Merkez İlesinde yer alan 12 farklı eve ve evlerin dış ortamına eşzamanlı olarak pasif UOB örnekleme tüpü yerleştirilmiştir ve kapanma dönemi sonunda evlerden örnekleme tüpleri toplanmıştır. Evlerden bir tanesinde (izlem evi) kapanma döneminden sonra bir ay boyunca hem iç hem de dış ortam örneği alınarak, kapanma döneminin evdeki UOB profiline katkısı araştırılmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre, evlerde ölçülen UOB düzeyleri dış ortam havasındakinden daha yüksek olarak gözlenmiştir ($I/D > 1$). Bu durum, özellikle kapanma döneminde insan aktivitelerin evlerde geçirilen süre ile paralel olarak artması ve trafik yoğunluğunun dış ortamda azalması nedeniyle dış ortam hava kalitesinin İHK’ya göre daha iyi olduğuna işaret etmektedir. İzlem evinde yapılan çalışmanın sonuçlarına göre; açılma ile beraber, trafik yoğunluğundaki belirgin artışın dış ortam havasındaki UOB düzeylerinin daha yüksek olarak gözlenmesine yol açtığı belirlenmiştir. Bu durum, kapanmadan sonra iç ortam havasındaki UOB düzeylerini de artış yönünde etkilemiştir. Çalışma süresince mevsim koşullarına bağlı olarak ısınma amaçlı yakıt tüketiminin olmaması nedeniyle, dış ortam hava kompozisyonuna en çok katkısı olan kaynak trafik yoğunluğudur. Ev havasının kompozisyonunda da iç ortam aktivitelerine ilaveten, doğal havalandırma yoluyla trafik katkısının açılma ile beraber arttığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BHAT, M. A., ERASLAN, F. N., AWAD, A., MALKOÇ, S., ÜZMEZ, Ö. Ö., DÖĞEROĞLU, T., & GAGA, E. O. "Investigation of indoor and outdoor air quality in a university campus during COVID-19 lock down period", Building and Environment, 219, 109176, 2022.
- [2] MENTESE, S. AYDIN, M. "A Case Study: Variation of VOCs Levels During the Lockdown Period of Covid-19 Pandemics in Çanakkale Province, Turkey", ATMOS22, 10th International Hybrid Symposium on Atmospheric Sciences 18-21 October 2022, Istanbul – Türkiye, 2022.
- [3] MENTESE S. YOUSEFİ RAD A. ARISOY M. GULLU G. "Bacteria and Fungi Levels in Various Indoor and Outdoor Environments in Ankara, Turkey", CLEAN-Soil, Air, Water, 37(6), 487-493, 2009.
- [4] MENTESE S. YOUSEFİ RAD A. ARISOY M. GULLU G. "Multiple Comparisons of Organic, Microbial, and Fine Particulate Pollutants in Typical Indoor Environments: Diurnal and Seasonal Variations, Journal of Air and Waste Management Association, 62(12), 1380-1393, 2012.
- [5] MENTESE S. YOUSEFİ RAD A. ARISOY M. GULLU G. "Seasonal and Spatial Variations of Bioaerosols in Indoor Urban Environments, Ankara, Turkey", Indoor and Built Environment, 21(6), 797-810, 2012.
- [6] MENTESE S. MİRİCİ N.A. ELBİR T. PALAZ E. MUMCUOĞLU D.T. COTUKER O. BAKAR C. OYMAK S. OTKUN M.T. "A Long-Term Multi-Parametric Monitoring Study: Indoor Air Quality (IAQ) and the Sources of the Pollutants, Prevalence of Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms, and Respiratory Health Indicators", Atmospheric Pollution Research, 11, 2270-2281, 2020.
- [7] NANDAN, A., SIDDQUI, N. A., SINGH, C., AERI, A., GWENZI, W., IGHALO, J. O., ... & RANGABHASHIYAM, S. "COVID-19 pandemic in Uttarakhand, India: Environmental recovery or degradation?". Journal of environmental chemical engineering, 9(6), 106595, 2021.
- [8] VARDOULAKIS, S., SHEEL, M., LAL, A., & GRAY, D. "COVID-19 environmental transmission and preventive public health measures" Australian and New Zealand Journal of Public Health, 44(5), 333, 2020.
- [9] KANSAL A. "Sources and reactivity of NMHCs and VOCs in the atmosphere: A review", Journal of Hazardous Materials, 166(1): 17-26, 2009.
- [10] MENTESE S. COTUKER O. SELCUK B, "Indoor Air Quality of a Cafeteria with a Rotor Turbine Ventilator (RTV) and Cross-Correlations between Indoor Air Pollutants, Occupancy Rate, and Meteorological Parameters", Environmental Engineering and Management Journal, 17(9), 2051-2059, 2018.
- [11] SALTHAMMER, T., MENTESE, S., MARUTZKY, R., "Formaldehyde in the indoor environment", Chemical Reviews, 110(4): 2536-2572, 2010.
- [12] GUNSCHERA, J., MENTESE, S., SALTHAMMER, T., ANDERSEN, J.R. "Impact of Building Materials on Indoor Formaldehyde Levels: Effect of Ceiling Tiles, Mineral Fiber Insulation and Gypsum Board" Building and Environment, 64:138-145, 2013.
- [13] MENTESE, S. AKÇA, B. "Hot - Spot Summertime Levels and Potential Sources of Volatile Organic Compounds (VOC) on Roads Around Çanakkale and Kilitbahir Harbors Across Dardanelles Strait", Atmospheric Pollution Research, 11, 2297-2307, 2020.
- [14] REHWAGEN, M., SCHLINK, U. HERBARTH, O. "Seasonal Cycle of VOCs in Apartments", Indoor Air, 13, 283-91, 2003.
- [15] SALTHAMMER, T. MENTESE, S. "Comparison of Analytical Techniques for the Determination of Aldehydes in Test Chambers", Chemosphere, 73, 1351-1356, 2008.
- [16] MENTESE, S., TASDİBİ, D. "Assessment of Residential Exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs) and Carbon Dioxide (CO₂)", Global NEST Journal, 19(4), 726-732, 2017.
- [17] PARISELLI, F., SACCO, M. G., & REMBGES, D. "An optimized method for in vitro exposure of human derived lung cells to volatile chemicals", Experimental and Toxicologic Pathology, 61(1), 33-39, 2009.
- [18] IARC "Some industrial chemicals and dyestuffs". IARC Monogr Eval Carcinog Risk Chem Hum, 29:1-398, 1982. <http://publications.iarc.fr/47> PMID:6957379.
- [19] AKAN, A. P. "Variations in the Concentration of Air Pollutants due to the COVID-19 Lockdown in Istanbul, Turkey", European Journal of Technique (EJT), 12(1), 49-56, 2022.
- [20] PEI, C., YANG, W., ZHANG, Y., SONG, W., XIAO, S., WANG, J., ... & WANG, X. "Decrease in ambient volatile organic compounds during the COVID-19 lockdown period in the Pearl River Delta region, south China", Science of The Total Environment, 823, 153720, 2022.

- [21] SINGH, B. P., KUMARI, S., NAIR, A., KUMARI, S., WABAIDUR, S. M., AVTAR, R., & RAHMAN, S. "Temporary reduction in VOCs associated with health risk during and after COVID-19 in Maharashtra", India. Journal of Atmospheric Chemistry, 1-24, 2022.
- [22] TIBREWAL, K., & VENKATARAMAN, C. "COVID-19 lockdown closures of emissions sources in India: Lessons for air quality and climate policy", Journal of Environmental Management, 302, 114079, 2022.
- [23] DOMINGUEZ-AMARILLO, S., FERNÁNDEZ-AGÜERA, J., CESTEROS-GARCÍA, S., & GONZÁLEZ-LEZCANO, R. A. "Bad air can also kill: residential indoor air quality and pollutant exposure risk during the COVID-19 crisis", International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(19), 7183, 2020.
- [24] HU, M., CHEN, Z., CUI, H., WANG, T., ZHANG, C., & YUN, K. "Air pollution and critical air pollutant assessment during and after COVID-19 lockdowns: Evidence from pandemic hotspots in China, the Republic of Korea, Japan, and India", Atmospheric pollution research, 12(2), 316-329, 2021.
- [25] GAUTAM, A. S., DILWALIYA, N. K., SRIVASTAVA, A., KUMAR, S., BAUDDH, K., SIINGH, D., ... & GAUTAM, S. "Temporary reduction in air pollution due to anthropogenic activity switch-off during COVID-19 lockdown in northern parts of India", Environment, Development and Sustainability, 23, 8774-8797, 2021.
- [26] GOREN, A. Y., GENİSOĞLU, M., OKTEN, H. E., & SOFUOĞLU, S. C. "Effect of COVID-19 pandemic on ambient air quality and excess risk of particulate matter in Turkey", Environmental Challenges, 5, 100239, 2021.
- [27] SAHOO, P. K., MANGLA, S., PATHAK, A. K., SALÁMAO, G. N., & SARKAR, D. "Pre-to-post lockdown impact on air quality and the role of environmental factors in spreading the COVID-19 cases-a study from a worst-hit state of India", International journal of biometeorology, 65, 205-222, 2021.
- [28] SHAKOOR, A., CHEN, X., FAROOQ, T. H., SHAHZAD, U., ASHRAF, F., REHMAN, A., ... & YAN, W. "Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China: two sides of COVID-19 pandemic", Air Quality, Atmosphere & Health, 13, 1335-1342 2020.
- [29] US EPA. "Compendium Method for the Determination of Organic Compounds in Ambient Air TO-17". EPA/625/R-96010b, 1999.
- [30] ISO 16017-2, "Indoor, ambient and workplace air — Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography — Part 2: Diffusive sampling", Geneva: ISO; 2004.
- [31] MENTEŞE S. BAŞ B. "A Year - Round Monitoring of Ambient Volatile Organic Compounds Across Dardanelles Strait", Journal of Chemical Metrology, 14(2), 177-189, 2020.
- [32] ISO 16000-6, Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID, indoor, ambient and workplace air sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography e Part 1: pumped sampling. Geneva: ISO; 2004.
- [33] DABBOUR, L., ABDELHAFEZ, E., & HAMDAN, M. "Effect of climatology parameters on air pollution during COVID-19 pandemic in Jordan", Environmental Research, 202, 111742, 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Sibel MENTEŞE

2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2007 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Bölümünden ikinci Yüksek Lisans derecesini almıştır. 2004-2009 yılları arasında Hacettepe Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır ve 2009 yılında iç hava kalitesi üzerine kapsamlı bir doktora tezi tamamlamıştır. Dr. Menteşe, Türkiye ve Almanya'da iç ortam hava kalitesi ve malzeme kalite uygunluk testi konuları üzerine çeşitli projeler yapmıştır. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde 2010 yılından bu yana



Yrd.Doç.Dr. olarak görev yapmıştır. 2015 yılında Amerikan Çevre Koruma Ajansı'nda hava kirleticilerin toksik etkileri konusunda projeler yapmıştır. 2017 yılında Doçent ünvanını almıştır ve halihazırda iç ve dış ortam hava kalitesinin sağlık etkilerine yönelik çeşitli bilimsel ve sosyal sorumluluk projeleri yürütmektedir.

Müge AYDIN

2018 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden lisans derecesini almıştır. 2022 yılında Doç. Dr. Sibel MENTEŞE'nin danışmanlığında hava kirliliği konusunda Yüksek Lisans tezini tamamlamıştır. Halihazırda hava kalitesi konusunda çeşitli proje konularında görev almaktadır.

ASTIMLI OKUL ÇAĞI ÇOCUKLARIN EVLERİNDE İÇ ORTAM MİKROBİYAL KİRLİTİCİLERİN İNCELENMESİ

Investigation of Indoor Microbial Pollutants in Homes of Asthmatic School-Aged Children

Afsoun Nikravan
Parisa Babaei
Gülen Güllü

ÖZET

Bazı araştırmalar, çocuklarda iç ortam mikrobiyolojik maruziyeti ile astım arasında çeşitli ilişkiler olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, konut yaşı, evin konumu, sigara dumanına maruz kalma, temizlik sıklığı vb. gibi çevresel faktörler ile çocuklarda astım şiddeti arasındaki ilişkiler hakkında çok az bilgi mevcuttur. Bu çalışmada, evdeki bakteriyel ve fungal kirleticilere maruz kalmak ve çevresel faktörlerin çocukluk çağı astım ile ilişkileri incelenmiştir. Ankara ilinde okul çağı çocukları (6-11 yaş) arasında bir vaka kontrol çalışması yapılmıştır. Vaka grubu için 109 astımlı çocuk ve kontrol grubu için 130 sağlıklı çocuk seçilmiştir. Çocukların oturma odalarından ve yatak odalarından toz örnekleri toplanmıştır ve çözünmüş toz örneklerinde, endotoksin, β -(1→3)-D-glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* spp. miktarları ölçülmüştür. Bu çalışmada, endotoksin düzeyi astım varlığı için ters bir risk faktör olarak ortaya çıkmıştır (OR=0.324, %95 CI:0.155-0.677). Çok değişkenli lojistik regresyona göre, yüksek β -(1→3)-D-glukan konsantrasyonu astım için bir risk faktörü olarak bulunmuştur (OR = 3.162, %95 CI: 1.101–9.028). Çok değişkenli lojistik regresyon analizinin sonucuna göre, evin yaşı (>20), evin bulunduğu kat (≤ 1), evde yeni mobilyalar, evde sigara dumanına maruz kalma ve ayrı bir mutfağı olmayan evler astım için risk faktörleri olarak bulunmuştur. Bu analiz sonucuna göre, *Aspergillus* ve *Penicillium* astım ile ilişkileri modellemede istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu araştırma, evde bitki ve çiçek bulunması ve nevresim ve çarşaf değiştirme sıklığının biyolojik kirleticilerin çoğuyla önemli ölçüde ilişkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Astım, endotoksin, β -(1→3)-D-glukan, *Aspergillus*, *Penicillium*, iç ortam hava kalitesi.

ABSTRACT

Some research have reported various associations between indoor microbiological exposure and asthma in children. Although, little is known about the associations of environmental factors such as dwelling age, location of the house, smoke exposures, cleaning frequency, etc., and aggravating asthma in children. This study examined indoor bacterial and fungal agents and potential determinants at home as a risk factor for asthma in children. A case-control study was conducted among school children (aged 6–11 years) in the province of Ankara, Turkey. As case and control groups, 109 children with asthma and 130 age- and sex-matched healthy children were identified. Dust samples were collected from children's living rooms and bedrooms, and endotoxin β -(1→3)-D-glucan, *Aspergillus*, and *Penicillium* spp. were measured in dust extracts. In this study, the endotoxin level was an inverse risk factor for the presence of asthma (OR = 0.324, 95% CI: 0.155–0.677). According to multivariate logistic regression, a high β -(1→3)-D-glucan level was a risk factor for the presence of asthma (OR = 3.162, 95% CI: 1.101–9.028). Among the potential determinants that fitted multivariate modeling, dwelling age (>20), house floor (≤ 1), new furniture at home, smoke exposures at home, and houses without a separate kitchen are risk factors for the presence of asthma. All associations with *Aspergillus* and *Penicillium* were statistically nonsignificant in multivariate logistic modeling.

Multivariate logistic regression analyses to determine the association between potential determinants and biological markers showed that having houseplants at home and the frequency of changing coverlets and bedsheets were the factors that were significantly associated with most of the biological markers.

Key Words: Asthma, endotoxin, β -(1 \rightarrow 3)-D-glucan, *Aspergillus*, *Penicillium*, indoor air quality.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri giderek ilgi görmektedir. Pek çok kaynaktan iç ortam havasına yayılan kirleticiler, akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar, iç ortam havasının pek çok kirletici açısından dış ortama oranla daha kirli olduğunu göstermektedir.

Tüm dünya genelinde özellikle de gelişmekte olan ülkelerde çocuklarda astım prevalansı artmaktadır. Astım, genetik özelliklere, yaşam stiline ve çevresel faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilen oldukça karmaşık bir hastalıktır. Çocukluk döneminde ortaya çıkan bu hastalığın çoğu durumda ömür boyu sürme olasılığı yüksektir. Küçük çocuklardaki hastalık sıklıklarındaki artış, hem uzun dönemli tedavi masraflarından hem de iş kaybı oluşturması nedeniyle aileler ve ülke ekonomisine yük getirmekte, sağlıksız nesiller yetişmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Hastalık sıklığındaki artışın nedeni olarak daha çok çevresel faktörler gösterilmektedir [1].

Mikrobiyal kirleticiler, biyoaerosoller olarak da adlandırılırlar ve iç ortam hava kirliliğinin ana nedenlerinden biri olarak bilinmektedirler. Biyoaerosoller bakteri ve mantarlar, bakteriyel endotoksinler, mikotoksinler, peptidoglikanlar, beta D(1 \rightarrow 3)-glukanlar, virüsler, yüksek molekül ağırlıklı alerjenler ve polenler, algler ve protozoalardan oluşmaktadır [2]. Biyoaerosoller hemen hemen her ortamda bulunabilmeleri nedeniyle herhangi bir ortamda onlardan kurtulmak mümkün değildir. Bu canlıların çap aralığı 0,01 ila 100 μ m arasında değişiklik göstermektedir [3]. Çapları 10 μ m'den küçük olan biyoaerosoller insanın akciğerine inebilmektedir. Biyoaerosollerin yan ürünleri ve fragmentleride bu özelliğe sahip olabilir.

İç ortam havasında bulunan bioaerosollerin kaynakları hem iç ortamda hem de dış ortamda bulunmaktadır. Biyoaerosollerin türleri ve konsantrasyonları çeşitli faktörlerden dolayı değişkenlik gösterebilir. Bu faktörler arasında iklim, mevsim, konum, sıcaklık, yağış miktarı, binanın yaşı ve kullanım türü, yapı malzemeleri ve havalandırma oranı gibi faktörler yer almaktadır [4]. Enerji tasarrufu amacı ile havalandırma oranını azaltmak biyoaerosollerin seviyesinin yükselmesine ve buna bağlı olarak hastalık risklerinin artmasına neden olabilir. Biyoaerosoller iç ortamda insan aktivitelerinden; örneğin yemek pişirme, sigara içme veya insanlar tarafından dış ortamdaki özellikle kıyafetler ve ayakkabı ile iç ortama taşınmaktadır. Biyoaerosollerin iç ortamdaki bazı kaynakları ev tozu, evcil hayvanlar, gıda maddeleri, ev bitkileri ve çiçek saksıları, duvar ve yer kaplama malzemeleri, tekstil ürünleri, halı, ahşap malzemeleri ve mobilya yüzeyleridir. Okullar, hastaneler, ofisler ve endüstriyel bölgeler biyoaerosollerin en yüksek görüldüğü alanlar olarak bilinmektedir [3,5].

Bu çalışmada mikrobiyal biyolojik kirletici olarak yer alan endotoksin, beta glukan, *aspergillus* ve *penecillium* ev tozlarında incelenmiştir. Endotoksinler genel olarak gram negatif bakterilerin yapısal bir komponenti olarak biliniyorlar. Endotoksinler bakterilerin duvarlarında yer alırlar ve lipopolisakkarit bir yapıya sahipler [6]. β -(1 \rightarrow 3)-D-glukan pek çok mantar ve maya, bazı bakteriler ve bitki gibi farklı türdeki organizmaların hücre duvarlarında bulunan glukoz polimerleridir. *Aspergillus* ve *Penicillium* spp. ise iç ortamda bulunan en çok mantar türleridir.

Son yıllarda yapılan epidemiyolojik çalışmalar, iç ortamlarda bulunan mikroorganizmalar ve bakteriyel endotoksin ve fungal beta-glukan başta olmak üzere onların bileşenlerine maruziyetin astım prevalansı üstünde önemli rolü olabileceğini vurgulamaktadır [7]. Yüksek düzeyde mikrobiyal biyo-kontaminantlara çocukluk döneminde maruz kalınması, çocuklarda astım gelişiminde koruyucu rol

oynağına ancak daha küçük çocuklarında wheezing artıran etkisi olduğuna yönelik çalışmalar mevcuttur [8,9].

Gerçekleştirilen bu çalışmada ev tozlarında bulunan bakteriyel endotoksin, fungal beta-glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* spp. seviyeleri ile iç ortamın kirlilik özelliklerini (evin konumu, bina yaşı, kullanılan malzeme ve cihazlar v.b) ve ortamdaki insan aktivitelerine (sigara içimi, havalandırma sıklığı vb.) göre değişkenlik gösteren biyolojik kirlleticilerin seviyelerinin belirlenmesi, kirlitici düzeyleri ile bu evlerde yaşayan 6-11 yaş aralığındaki okul çağı çocuklarının astım hastalığı üzerine etkilerini incelenmiştir.

2.Yöntem

2.1.Vaka ve Kontrol Grubu Seçimleri ve Anket Değerlendirilmesi

Vaka seçimi, Hacettepe Üniversitesi Çocuk Hastalıkları Alerji ve Astım Kliniğinde astım tanısı ile takipte olan 6-11 yaş arasındaki çocuklar arasından yapılmıştır. Kontrol grubunu oluşturmak amacıyla 6-11 yaş arası okul çağında olan ve astım tanısı konulmayan çocuklara Ankara il sınırlarında ulaşmamız için ilgili izin Ankara il Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından alınarak gerçekleştirilmiştir. Vaka ve kontrol grupları için toplam 239 çocuğa ulaşılmıştır. Vaka grubu sayımız 109 ve kontrol grubu sayımız 130 çocuktur. Genel olarak her iki grup için %50 kız ve %50 erkek çocuğa ulaşılmıştır. Kontrol ve astım grubunda yer alan çocukların yaşadıkları evlerin koşulları ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları ile ilgili yüzyüze yapılan anketlerde sorulan sorular kaydedilmiştir. Kontrol ve vaka grubunun yaş dağılımı, evlerin ısıtma özellikleri, ailelerin eğitim düzeyleri, deneklerin cinsiyet farklılıkları, sosyo-ekonomik koşulları arasında herhangi bir farklılık tespit edilmemiştir. Vaka ve kontrol grubu arasında istatistiksel farkın gözleendiği koşullar; yaşadıkları evin katı, bina yaşı, duvar boyası türü, çocuğun yatağının malzemesi gibi ev koşulları ile, ayrıca, evde sigara içimi, evde evcil hayvan besleme, evde yaşayan kişi sayısında, temizlikte çamaşır suyu kullanımı sıklığı gibi yaşam özellikleri ve alışkanlıklarında farklılık tespit edilmiştir.

2.2. Ev Tozu Örnekleme ve Biyolojik Kirliticilerin Ölçümleri

Endotoksin, beta-glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* analizleri için evlerden toplanacak toz örneklemeleri bu türden analizler için geliştirilmiş standart toz örnekleme protokolüne [10] uygun olarak evlerin salonu ve çocuk odasında 2 dakika süre ile ucuna filtre takılı elektrikli süpürge ile çekilerek alınmıştır. Bu standart metoda göre 1m² halıdan 2 dakika boyunca örnek toplanmıştır. Bu işlem çocuğun yatak odası ve en çok vakit geçirdiği yerde (genelde oturma odası veya salon) yapılmıştır. Eğer örnek yapılacak evde halı kullanılmıyorsa 4 dakika boyunca toz toplanmıştır. Bu işlemde Socks filtre kullanılmıştır. Endotoksin, fungal beta-glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* analizleri evlerden toplanan toz örnekleri tartıldıktan sonra 0,2 mm elekten geçirelek analizlerde kullanılacak miktarlara ayrılmıştır. Ev tozlarının endotoksin aktivitesi kalıcı-paralel-sıra metodu içeren Kinetik Turbometrik Limulus Amebocyte Lysate (LAL) testi ile belirlenmiştir. Toz örneklerinin Beta glukan seviyesi, uyarlanmış Limulus Amebocyte Lysate (LAL) yöntemiyle çalışan GlucateLL test (Associates of Cape Cod, East Falmouth, MA USA) kitleleri ile ölçülmüştür. Bu yöntemde de, daha önce ekstrakte edilmiş olan toz örneğinin supernatantı kullanılmıştır. *Aspergillus* ve *Penicillium* için örnekler Sabouraud-Antibiyotik besiyerlerinde üzerine yayıldıktan sonra 25°C'de 7 gün inkübe edilmiştir. Elde ettiğimiz *Aspergillus* ve *Penicillium* türleri bu türler için özel DCBR (Dichloran Rose-Bengal Chloramphenicol) besi yerlerinde ekim yapılarak üremeye bırakılmıştır. Nihai plakalar, 25°C'lik sabit bir sıcaklıkta 7 ila 10 gün süreyle inkübe edilmiştir. Plaklar üzerine üreyen mantarlar daha sonra koloni sayıcı üzerine yerleştirilen besiyerlerinde bulunan koloni sayısı floresan ışığı altında yarı-otomatik cihazla sayılmıştır. Sonuçlar her gram tozda oluşan koloni (CFU/g) olarak verilmiştir.

3. BULGULAR

Çalışma süresinde vaka ve kontrol grubu için 2019 kış aylarında evlerden topladığımız toz örneklerinde Endotoksin, Beta Glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* ölçüm sonuçları aşağıda özetlenmektedir. Astım ve kontrol grubu için toplanan toz miktarı, Endotoksin ve *Aspergillus* sayılarında student T testi ile yapılan değerlendirmede istatistiksel olarak anlamlı ölçüde fark gözlenmiştir ($p<0.05$). Ölçüm dönemi süresinde örnekleme yapılan ortam koşullarının kayıt altına almak için toplanan anket sonuçları ve astımlı çocukların sağlık kayıtları ile birlikte incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 1. Astım ve kontrol grupları arasında mikrobiyal kirleticilerin karşılaştırılması

	Astım Grubu (n=109)				Kontrol Grubu (n=130)				P-değeri
	<LOD	GO	Medyan	75th	<LOD	GO	Medyan	75th	
Toz miktarı (mg/m ²)	-	442.39	464.12	686.81	-	570.66	644.5	841.25	<0.001
Endotoksin (10 ³ EU/g)	-	7.63	8.23	15.05	-	16.11	15.1	33.32	<0.001
β-(1→3)-D-glukan (µg/g)	18	41.13	37.39	89.45	9	43.08	42.67	74.22	0.653
<i>Aspergillus</i> (CFU/g)	8	2032	1350	3525	12	2470	2600	5487	0.012
<i>Penicillium</i> (CFU/g)	15	3739	2780	6297	20	3493	3456	7655	0.468

LOD= ölçülebilen en düşük seviye, GO= geometrik ortalama, 75th =75 yüzdilik dilim

Astım ve kontrol grubunun dağılım parametrelerini incelediğimiz zaman toz miktarı, endotoksin ve *Aspergillus* miktarı kontrol grubunda astım grubuna göre daha yüksek medyana sahip oldukları gözlenmiştir. Beta Glukan seviyesi astım ve kontrol grubu için sırasıyla 37.39 ve 42.67 µg/g olarak belirlenmiştir. *Aspergillus* miktarı astım ve kontrol grubu için 0 ila 44500 CFU/g ve 0 ila 17500 CFU/g arasında değiştiği gözlenmiştir. *Penicillium* içinde bu miktarla astım ve kontrol grubu için sırasıyla 0 ila 57890 CFU/g ve 0 ila 21500 CFU/g arasında değişmektedir. Beta Glukan ölçümlerinde astım grubu için 18 evde ve kontrol grubu için 9 evde Beta Glukan saptanmamıştır (LOD=Limit of detection = ölçülebilen en düşük seviye). *Aspergillus* için astım grubunda 8 ev ve kontrol grubunda 12 evde *Aspergillus* miktarı ölçülen değerlerin altındadır. *Penicillium* ölçümlerinde ise 15 ev astım grubundan ve 20 ev kontrol grubundan ölçülen değerlerin altındadır.

Literatürde, az sayıda Endotoksin Beta Glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* ölçüldüğü çalışma bulunmaktadır [11]. Bu çalışmalara göre, kırsal bölgelerde hayvancılık yapılan evlerin ev tozlarında, hijyenik açıdan iyi durumda olmayan ve iç ortamda hayvan beslenen evlerde daha yüksek seviyelerde endotoksin, beta-glukan ve fungal türleri rastlanılmıştır [12, 13, 14]. Türkiye’de ev tozlarında mikrobiyal kontaminatlar arasından bir tek Endotoksin seviyesinin incelendiği tek bir çalışma bulunmaktadır [15]. Beta-glukan ölçümleri ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Yılmaz ve diğ. (2009) tarafından Adana’da alerji tanısı olan ve olmayan toplam 100 evin tozunda endotoksin incelemesi yapılmıştır. Endotoksin düzeyleri 0.05-209 EU/ml aralığında değiştiği geometrik ortalamasının 61.8 EU/ml olduğu ve genel olarak alerjik olan ve olmayan çocukların evlerinden alınan toz örneklerinin endotoksin seviyesinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek endotoksin seviyesi kırsal bölgede alerjisi olmayan çocukların evlerinde, en düşük düzeyde şehirde alerjisi olan çocukların evlerinde ölçülmüştür. Epidemiyolojik çalışmalar, benzeri şekilde çiftçi çocukları arasında astım ve atopi sıklığında azalma olduğunu desteklemektedir [16, 17]. Buna neden olan en önemli anahtar faktörün, yaşamın erken döneminde endotoksine maruz kalma olduğu bildirilmektedir. Avusturya, Almanya ve İsviçre’de benzer özelliklere sahip çiftçi ailelerinin çocukları ile yürütülen ALEX çalışmasına göre astım, saman nezlesi ve atopik duyarlanma sıklığı, ailesi çiftçi olmayan çocuklara göre anlamlı olarak daha azdır. Tablo 2’de dünyada yapılan bazı çalışmaların özeti verilmiştir.

Tablo 2. Dünya genelinde biyolojik kirleticiler için yapılan bazı çalışmaların özeti

Referans	Ülke	Örneklem grubu	Hedef madde	Bulgular
Tavernier ve ark. (2005)	İngiltere	90 Çocuk	Endotoksin	Endotoksin astım için bir risk faktörüdür
Tavernier ve ark. (2005)	İngiltere	90 Çocuk	Fungal türleri	Fungal türleri ve astım arasında ilişki bulunmamıştır
Lawson ve ark. (2012)	Kanada	310 Çocuk	Endotoksin	Endotoksin seviyesi astım ile koruyucu etkisi vardır
Gehring ve ark. (2008)	İtalya, Albanya, yeni zeland, İsveç, İngiltere	840 Çocuk	Endotoksin	Endotoksin seviyesi ve astım arasında ters ilişki bulunmuştur
Braun ve ark. (2001)	Almanya, Belçika, İsviçre	812 Çocuk	Endotoksin	Endotoksin seviyesi ve astım arasında ters ilişki bulunmuştur
Tischer ve ark. (2011)	Almanya, Hollanda	690 Çocuk	Fungal türleri	Fungal türleri ve astım arasında ters bulunmamıştır
Oluwole ve ark. (2018)	kanada	116 Ev	Endotoksin	Endotoksin seviyesi ve astım arasında ilişki bulunmuştur
Oluwole ve ark. (2018)	kanada	116 Ev	Beta Glukan	Yüksek Beta Glukan seviyesi astım ile ters ilişkilidir
Jacob ve ark. (2002)	Almanya	272 çocuk	<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>	Yüksek <i>Aspergillus</i> seviyesi solunum yolu hastalıklar için risk faktörüdür

Genel olarak iç ortamda mikrobiyal kirleticilere maruz kalmak çocukluk çağı solunum yolları hastalıklarını özellikle astımı etkilediği literatürde tartışılmaktadır [18]. Bazı çalışmalarda bakteriyel Endotoksin ve Beta Glukanın koruyucu etkisi olduğunu [19, 20], bazı çalışmalarda astım üzerine olumsuz etki yarattığını [21, 22, 23] ve bazı çalışmalarda ise bakteriyel Endotoksin ve çocukluk çağı astımın ilişkisi olmadığı bildirilmiştir [24, 25]. Araştırmalar ayrıca Endotoksine maruz kalmanın atopik astım ile ters ilişkisi olduğu belirlenmiştir [11]. Çeşitli sonuçların nedenleri henüz kesin olarak açıklanmamıştır, fakat coğrafi farklılıklar, örnekleme yöntemlerinin farklı olması ve astımlı çocukların alerjik durumları bu çeşitli sonuçların nedenleri olarak düşünülmektedir.

Bu çalışmada, örneklemede yer alan astım tanısı olan (astım grubu) ve olmayan (kontrol grubu) çocukların astım riskini etkileyen faktörleri (yaşadıkları evlerin koşulları ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları) Lojistik Regresyon Analizi ile modellenmesi yapılmıştır. Lojistik modele dahil edilecek bağımsız değişkenler, tek değişkenli lojistik regresyon analiziyle belirlendikten sonra, çok değişkenli modele dahil edilen her bir değişkenin önemi göstermektedir. Tek değişkenli modelde önemli bulunduğu halde çok değişkenli modelde önemsiz olan değişkenler model dışı bırakılmıştır. Böylece final model elde edilmiştir. Final modelin hem biyolojik olarak kabul edilebilir, hem de doğru sınıflama oranının yeteri kadar iyi olmasından dolayı, bu modelin risk faktörlerini belirleme de kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3 'de astım ve kontrol grubunda yer alan çocukların astım riskini etkileyen faktörleri modellemek amacıyla tek değişkenli lojistik regresyon analiz ve çok değişkenli lojistik regresyon analiz sonuçları verilmiştir. Bu modellemede astım tanısı olmak risk faktörü olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çocukların yaşadıkları evlerin aşağı katlarda olması (≤ 1) astım riskini 3 kat, bina yaşı 20 yılın üzerinde olması 2 kat, evlerde ayrı mutfak olmaması 6 kat, evde sigara içilmesi 2 kat, son bir yıl içinde eve yeni mobilya alınması 2 kat arttırmaktadır. Buna ek olarak tek değişkenli lojistik analizine göre evde haftada birden fazla kızartma yapmak 2 kat, evde haftada bir kezden daha az temizlik yapmak

ve evde son bir yılda tamirat yapılması astım riskini arttırmaktadır. Ayrıca, çocuğun yattığı yatağın malzemesinin yün olması astım olma riski üzerine 2 kat etkilidir. Bu modelin sonuçlarına göre daha yüksek katlarda oturmak, yeni binada oturmak, evde ayrı mutfak bulunması, evde nem oranının düşük olması ve evin iyice havalandırılması, evde daha az kızartma yapılması, evde sigara içilmemesi ve çocuğun yatağının malzemesi yün olmaması astım riskini azaltmaktadır. Ölçülen biyolojik kirlenmeler arasında lojistik regresyon analizine göre ev tozunda tespit edilen yüksek beta glukan seviyesi astım için bir risk faktörü olarak belirlenmiştir. Çok değişkenli lojistik regresyon analizine göre yüksek miktarda endotoksin miktarı astım ile ters ilişkilidir. Bu analizin sonucuna göre, *Aspergillus* ve *Penicillium* astım ile ilişkileri modellemede istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Potansiyel belirleyiciler ve biyolojik belirteçler arasındaki ilişkiyi belirlemek için yapılan çok değişkenli lojistik regresyon analizi, evde bitki ve çiçek bulunması ve nevreşim ve çarşaf değiştirme sıklığının biyolojik kirlenmelerin çoğuyla önemli ölçüde ilişkili olduğunu göstermiştir.

Tablo 3. Astım ve kontrol grupları için lojistik regresyon analizi

Parametreler	Tek değişkenli analiz (Univariate)			Çok değişkenli analiz (Multivariate)		
	OR	%95 CI	P değeri	OR	%95 CI	P değeri
Toz miktarı (mg/m ²)	0.470	0.253-0.873	0.017	-	-	-
Endotoksin (EU/g)	0.336	0.177-0.640	0.001	0.324	0.155-0.677	0.003
Beta glukan (µg/g)	1.384	1.070-2.488	0.098	3.162	1.101-9.028	0.032
Ayrı mutfak	5.263	1.438-19.23	0.012	6.329	1.461-27.77	0.014
Evin katı (≤1)	3.042	1.071-3.144	<0.0001	3.535	1.904-6.563	<0.0001
Bina yaşı (≥20)	1.835	1.185-2.603	0.027	2.354	1.235-4.487	0.009
Evde sigara içme	1.559	1.114-2.603	0.089	2.344	1.110-3.761	0.022
Evde kızartma (haftada birden fazla)	2.214	1.309-3.744	0.003	-	-	-
Temizlik sıklığı (haftadan birden az)	1.701	1.112-2.940	0.057	-	-	-
Nem kokusu	1.633	1.013-2.976	0.110	-	-	-
Evde tamirat	1.547	1.048-2.762	0.140	-	-	-
Yeni mobilya	2.019	1.144-3.562	0.015	2.361	1.202-4.634	0.013
Çocuğun yatak malzemesi (yün)	2.673	1.269-5.617	0.010	-	-	-

OR= odd ratio, %95 CI = %95 güven aralığı

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ev tozlarında bulunan bakteriyel endotoksin, fungal beta-glukan, *Aspergillus spp* ve *Penicillium spp* seviyeleri ile evlerin özellikleri (ana caddeye yakınlık, ısıtma türü, duvar boyası, nem vb.) ve ortamdaki insan aktiviteleri (sigara içimi, çamaşır suyu kullanım sıklığı, evde kızartma yapılması vb.) arasındaki ilişkiler ve kirlenme düzeyinin astım kontrolüne etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmaya 109 astım tanısı olan (vaka grubu) ve 110 astım tanısı olmayan (kontrol grubu), 6-11 yaş aralığındaki çocuklar gönüllü olarak katılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre, vaka ve kontrol grubunda yer alan evlerden alınan tozlarının Endotoksin, Beta glukan, *Aspergillus spp* ve *Penicillium spp* seviyelerinin kıyaslanması sonucu evlerden alınan toz miktarı ve Endotoksin düzeyinin kontrol grubunda astım grubuna göre daha yüksek medyan değerine sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Beta Glukan seviyesi astım ve kontrol grubu için sırasıyla 37.39 ve 42.68 µg/g olarak belirlenmiştir. En yüksek *Aspergillus* miktarı astım ve kontrol grubu için sırasıyla 44500 CFU/g ve 17500 CFU/g arasında değiştiği gözlenmiştir. *Penicillium* içinde bu miktarlar astım ve kontrol grubu için sırasıyla 57890 CFU/g ve 21500 CFU/g arasında değişmektedir.

Evlerde ölçülen endotoksin seviyesinin eve alınan yeni mobilya ile azaldığı, mobilya eskidikçe evlerdeki Endotoksin seviyesinin arttığı tespit edilmiştir. Çamaşırın kurutma makinasında

kurutulduğu ve üst katlarda yer alan evlerde en düşük endotoksin seviyeleri tespit edilmiştir. Ölçülen Endotoksin miktarları evlerin ısıtma sistemine göre de değişkenlik göstermektedir, en yüksek Endotoksin seviyesi sobalı evlerde tespit edilmiştir. Evde su ile ilgili hasarın bulunması, ev tozunda Beta Glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* seviyesini artırdığı tespit edilmiştir. Evde makina halısı kullanımının Beta Glukan ve *Aspergillus* seviyesini artırdığı, yüzey alanı küçük evlerde Beta Glukan seviyesinin yükseldiği tespit edilmiştir. Evlerde ölçülen *Aspergillus* ve *Penicillium* düzeyinin, evin duvarlarında veya pencere kenarlarında oluşan küf ile ilişkili olduğu, küf gözlenen evlerin ev tozlarında yaklaşık iki kat daha yüksek *Aspergillus* ve *Penicillium* kolonisi tespit edilmiştir. Fungal kirleticilerin kendi aralarında (Beta Glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium*) hem astım ve hem kontrol grubunda yüksek korelasyon değerlerine sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Genel olarak nem, rutubet ve küften kaynaklanan Beta Glukan, *Aspergillus* ve *Penicillium* arasında kuvvetli korelasyon gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, çocukların yaşadıkları evlerin aşağı katlarda olması (≤ 1), binanın eski olması, evlerde ayrı mutfak olmaması ve haftada birden fazla kızartma yapılması, evde sigara içilmesi ve son bir yıl içinde eve yeni mobilya alınması astım riskini arttırmaktadır. Buna ek olarak tek değişkenli lojistik analizine göre, evde daha az temizlik yapmak, evde tamirat yapılması ve çocuğun yattığı yatağın malzemesinin yün olması astım riski ile ilişkilidir. Genel olarak bu araştırmanın sonuçlarına göre, Endotoksin hariç diğer bioaerosollerin seviyelerinin yüksek olması çocuklarda astım riskini arttırmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Heinrich, J. "Influence of indoor factors in dwellings on the development of childhood asthma", International Journal of Hygiene and Environmental Health, 214, 1–25, 2011.
- [2] Flannigan B., R. A. Samson, and J. D. (J. D. Miller, Microorganisms in home and indoor work environments : diversity, health impacts, investigation and control, 2nd ed. CRC Press, 2011.
- [3] Cox and C. M. Wathes, Bioaerosols handbook. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995.
- [4] Khan A. A. H. and S. Mohan Karuppaiyil, "Fungal pollution of indoor environments and its management," Saudi J. Biol. Sci., vol. 19, no. 4, pp. 405–426, Oct. 2012.
- [5] N. Kalogerakis, D. Paschali, V. Lekaditis, A. Pantidou, K. Eleftheriadis, and M. Lazaridis, Indoor air quality—bioaerosol measurements in domestic and office premises, J. Aerosol Sci., 5, 751, 2005 .
- [6] Chew, GL., Douwes, J., Doekes, G., Higgins, KM., van Strien, R., Spithoven, J., Brunekreef, B. "Fungal extracellular polysaccharides, beta (1-->3)-glucans and culturable fungi in repeated sampling of house dust", Indoor Air, 11, 171-178, 2001.
- [7] Holst, G., Host, A., Doekes, H.W., Madsen, A.M., Sigsgaard, T. " Determinants of house dust, endotoxin, and b-(1-3)-D- glucan in homes of Danish children", Indoor Air, 25, 245–259, 2015.
- [8] Douwes J. et al., Does early indoor microbial exposure reduce the risk of asthma? The Prevention and Incidence of Asthma and Mite Allergy birth cohort study, J. Allergy Clin. Immunol., 117, 1067 2006.
- [9] Mendy, A., Gasana, J., Vieira, E.R., Forno, E., Patel, J., Kadam, P. and Ramirez, G. "Endotoxin exposure and childhood wheeze and asthma: a meta-analysis of observational studies", J. Asthma, 48, 685–693, 2011.
- [10] ASTM Standard Practice for Collection of Floor Dust for Chemical Analysis, (Designation: D 5438-00), 2004.
- [11] Schram, D., Doekes, G., Boeve, M., Douwes, J., Riedler, J., Ublagger, E., et al. "Bacterial and fungal components in house dust of farm children, Rudolf Steiner school children and reference children the PARSIFAL study", Allergy, 60, 611–8, 2005.
- [12] Chen, C.M., Thiering, E., Doekes, G., Zock, J.P., Bakolis, I., Norback, D., Sunyer, J., Villani, S., Verlato, G., Taubel, M., Jarvis, D. and Heinrich, J. "Geographical variation and the determinants of domestic endotoxin levels in mattress dust in Europe", Indoor Air, 22, 24–32, 2012.
- [13] Dassonville, C., Demattei, C., Vacquier, B., Bex-Capelle, V., Seta, N. and Momas, I. Indoor airborne endotoxin assessment in homes of Paris newborn babies, Indoor Air, 18, 480–487, 2008.

- [14] Gehring, U., Douwes, J., Doekes, G., Koch, A., Bischof, W., Fahlbusch, B. "β(1→3)- glucan in house dust of German homes: housing characteristics, occupant behavior, and relations with endotoxins, allergens, and molds", *Environ Health Perspect*, 109, 139–44, 2001.
- [15] Yilmaz M, Altıntaş DU, Bingöl-Karakoç G, Inal A, Kiliç M, Sütolukta Z, Güneşer-Kendirli S. Exposure to house dust endotoxin and allergic sensitization in allergic and nonallergic children living in Adana, Turkey. *Turk J Pediatr*. May-Jun;51(3):225-31, 2009.
- [16] Braun-Fahrlander, C., Riedler, J., Herz, U., Eder, W., Waser, M., Grize, L., Maisch, S., Carr, D., Gerlach, F., Bufe, A., Lauener, R.P., Schierl, R., Renz, H., Nowak, D., von Mutius, E. "Prevalence of hay fever and allergic sensitization in farmer's children and their peers living in the same rural community. *Clin Exp Allergy*, 29,28-34, 1999.
- [17] Riedler, J., Braun-Fahrlander, C.H., Eder, W., Schreuer, M., Waser, M., Maisch, S., Carr, D., Schierl, R., Nowak, D., Mutius, E., and the ALEX Study Team. "Exposure to farming in early life and development of asthma and allergy: a cross-sectional survey", *The Lancet*, 358, 1129-33, 2001.
- [18] Kanchnongkittiphon W., M. J. Mendell, J. M. Gaffin, G. Wang, and W. Phipatanakul, Indoor environmental exposures and exacerbation of asthma: An update to the 2000 review by the institute of medicine, *Environmental Health Perspectives*, 123 6, 2015.
- [19] Tischer C., U. Gehring, C.M. Chen, M. Kerkhof, G. Koppelman, S. Sausenthaler, et al. «Respiratory health in children, and indoor exposure to (1,3)-beta-D-glucan, EPS mould components and endotoxin,» *Eur. Respir. J.*, cilt 37 (5), 1050–1059, 2011.
- [20] Lawson J.A., J.A. Dosman, D.C. Rennie, J.R. Beach, S.C. Newman, T. Crowe, et al., 2012. «Endotoxin as a determinant of asthma and wheeze among rural dwelling children and adolescents: a case-control study,» *BMC Pulm. Med*, cilt 12, p. 56, 2012.
- [21] Tavernier, G.O.G., Fletcher, G. D., Francis, H. C., Oldham, L. A., Fletcher, A. M., Blacklock, G., Stewart, L., Gee, I. Watson, A., Frank, T. L., Frank, P., Pickering, C. A. C., Niven, R. Mc L. "Endotoxin exposure in asthmatic children and matched healthy controls: results of IPEADAM study", *Indoor Air*, 10, 25-32, 2005.
- [22] Thorne P. S., K. Kulhankova, M. Yin, R. Cohn, S.J. Arbes Jr., D.C. Zeldin, «Endotoxin exposure is a risk factor for asthma: the national survey of endotoxin in United States housing,» *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, cilt 172 (11), p. 1371–1377, 2005.
- [23] Chinn I.N., L.W. Williams, «Endotoxin exposure is a risk factor for asthma: the national survey of endotoxin in United States housing,» *Pediatrics*, cilt 120, p. S130, 2007.
- [24] Perzanowski M. S., R.L. Miller, P.S. Thorne, R.G. Barr, A. Divjan, B.J. Sheares, et al., «Endotoxin in inner-city homes: associations with wheeze and eczema in early childhood,» *J. Allergy Clin. Immunol.*, cilt 117 (5), p. 1082–1089, 2006.
- [25] Gehring U., M. Strikwold, D. Schram-Bijkerk, G. Weinmayr, J. Genuneit, G. Nagel, et al., «Asthma and allergic symptoms in relation to house dust endotoxin: phase two of the international study on asthma and allergies in childhood (ISAAC II),» *Clin. Exp. Allergy*, cilt 38 (12), p. 1911–1920, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Afsoun NIKRAVAN

1986 yılı Oroumieh, İRAN doğumludur. 2008 yılında Oroumieh Azad Üniversitesi Fen Fakültesi Uygulamalı Fizik Bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında Hacettepe Üniversitesi FBE Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamlamıştır. Aynı Üniversitenin Çevre Mühendisliği bölümünden 2022 yılında Doktor ünvanını almıştır.

Parisa BABAELI

1980 yılı Salmas, İRAN doğumludur. 2006 yılında Lahijan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimini bitirmiştir. 2018 yılından itibaren Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde doktora yapmaktadır.

**Gülen GÜLLÜ**

Dr. Gülen Güllü, 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor unvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987-1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996-1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik unvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosuna atanmış, halen Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Dr. Güllü, atmosferik kirlilik taşınımı, atmosfer kimyası, iç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır. Dr. Güllü, birçok ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmakta, Avrupa Birliğinin eşleştirme programlarında Hava Kalitesi konularında uzman olarak görev almaktadır. Dr. Güllü, atmosfer kimyası, çevresel veri analizi, çevresel etki değerlendirmesi, çevre kimyası, hava kirliliği kontrol prosesleri ve iklim değişikliği konularında yüksek lisans ve doktora dersleri vermektedir.

OKUL ÇAĞI ÇOCUKLARIN EVLERİNDE KALICI ORGANİK KİRLETİCİ SEVİYELERİNİN BELİRLENMESİ: VAKA KONTROL ÇALIŞMASI

Determination Of Permanent Organic Contaminant Levels In The Houses Of School-Age Children: Case Control Study

Parisa Babaei
Afsoun Nikravan
Gülen Güllü

ÖZET

Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve Polibromlu difenil eterler (PBDE'ler) gibi kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar), yaygın kullanımları, uzun mesafeli taşınmaları ve kalıcılıklarının bir sonucu olarak yaygın çevresel kirleticiler haline gelmiştir. Son araştırmalar, iç ortam havasında bulunan ince partiküllerin bileşeni olan kalıcı organik kirleticilere maruz kalmanın astımın başlangıcı ve artan astım semptomları ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı, ev tozlarında bulunan ve ortamdaki insan aktivitelerine (sigara içimi, havalandırma sıklığı vb.) ve ev koşullarına göre değişkenlik gösteren kalıcı türdeki kirleticilerin seviyelerinin belirlenmesi ve kirletici düzeyleri ile bu evlerde yaşayan 6-11 yaş aralığındaki okul çağı çocuklarının astım gelişimi üzerine etkilerini incelemektir. Çalışma için Ankara'nın farklı bölgelerinde bulunan 110 astım tanısı konmuş, 130 kontrol grubu okul çağı çocukların evlerinden toplanan ev tozu örneklerinde GC-MS ile, PAH, PCB ve PBDE analizi yapılmış, ailelerin ve çocukların sosyo-demografik özellikleri ve yaşam alışkanlıklarına ilişkin veriler yapılan anketlerle toplanmıştır. Demografik özellikler ve KOK'ların konsantrasyonlarının arasındaki ilişkileri değerlendirmek için çok değişkenli lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. Kontrol ve astım gruplarının dağılımına bakıldığında cinsiyet, yaş ve evlerin özellikleri genel olarak benzerlik göstermektedir. Analizlerin sonuçlarına göre, KOK konsantrasyonları genellikle astım tanısı olan çocukların evlerinde daha yüksek ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: PAH, PCB, PBDE, İç ortam hava kalitesi, Astım

ABSTRACT

Persistent organic pollutants (POPs) such as Polychlorinated biphenyls (PCBs), Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) have become common environmental pollutants as a result of their widespread use, long-distance transport and persistence. Recent research has shown that exposure to persistent organic pollutants, components of fine particles found in indoor air, is associated with asthma onset and increased asthma symptoms. The aim of this study is to determine the levels of persistent pollutants in house dust, which vary according to human activities in the environment (smoking, ventilation frequency, etc.) and house conditions, and to examine the relationship between the development of asthma in school-aged children aged 6-11 and the level of pollution in their homes. For the study, dust samples were collected from the homes of 110 asthmatic children and 130 control school-age children in different regions of Ankara, and GC-MS was performed PAH, PCB, and PBDE analyses of collected dust samples and socio-demographic parameters and living conditions of the families and school-aged children were recorded via structured surveys. Multivariate logistic regression was applied to evaluate the relationships between demographic characteristics and concentrations of POPs. Considering the distribution of control and asthma groups, gender, age and house characteristics are generally similar. According to the results

of the analyses, POPs concentrations were generally higher in the homes of children with a diagnosis of asthma.

Key Words: PAH, PCB, PBDE, Indoor air quality, Asthma

1. GİRİŞ

Son yıllarda, dış ortama göre daha kirli olduğu tespit edilen iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri giderek artan bir ilgi görmektedir. Her geçen gün enerji kaynaklarının fiyatlarının artması, insanları enerji verimliliği yüksek binalarda daha az havalandırılan ortamlarda yaşamaya itmiştir. Buna ek olarak günümüzde tüketici ürünlerinde binlerce kimyasal kullanılmaktadır. Yeni binaların ve malzemelerin, mobilyaların ve tüketici ürünlerinin hızlı gelişimi, iç ortamdaki yeni kimyasalların miktarında ve sayısında artışa neden olmuştur. İç ortamda sigara içimi, ana caddeye yakınlık, ısıtma sistemleri, yemek pişirme, temizlik malzemeleri, binalarda kullanılan yalıtım ve tüketim malzemeleri, ve buna ek olarak halı ve mobilyalarda kullanılan renk koruyucu, yanmaz özellik kazandırma, leke tutmama veya kirlenmeyi geciktirici maddelerin kullanımı, iç ortam havasının daha kirli olmasına yol açmaktadır.

Birçok iç mekan kirleticisi, başlangıçta havada asılı kalan ve daha sonra toz olarak çöken partikül maddeler tarafından emilir. Bu nedenle, çöken ev tozu, bir maruz kalma ortamı ve küresel konut kirliliğinin bir göstergesi olarak kabul edilir [1-3]. Tozun solunması ve yutulması, insanların kirleticilere maruz kalmasının önemli yollarıdır. Bu nedenle ev tozlarında yapılan kirletici ölçümleri dolaylı yoldan, evlerdeki potansiyel kirletici kaynakları ve onların etkilerini ortaya koyması açısından faydalı olacaktır. Antropojenik kirleticiler içeren havadaki ince partikül madde, astım gibi çeşitli solunum yolu hastalıklarının indüklenmesi nedeniyle büyüyen bir endişe kaynağıdır. Partiküller boyutlarına bağlı olarak akciğerlerin üst ve alt solunum yollarında bulunabilir. İç ortam kirliliğine neden olan pek çok kirletici, astım hastalığının nedenleri ile ilişkilendirilmektedir [4-7]. Bu çalışmaların sonuçlarına göre yüksek miktarda partikül akciğer hasarına neden olabilir ve artan astım semptomları sıklığı ile ilişkilidir. Astım şu anda farklı ülkelerdeki popülasyonların %1-18'ini etkilemektedir [8]. Astımın ortaya çıkışını belirleyen etmenler, genetikten, yaşam stiline ve çevresel faktörlere kadar geniş bir aralıkta gözlenebilmektedir. Çevresel etmenler, astım prevalansında gözlenen bölgesel farklılıkları ve son zamanlarda artan oranların nedenleri arasında öne çıkmaktadır. Vakitlerinin büyük bir kısmını kapalı ortamda geçiren çocukların ise vücut ağırlıklarına oranla daha yüksek hacimde hava solumaları nedeniyle çevresel kirleticilere daha duyarlı oldukları çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kapalı bir ortamda hangi düzeyde kirleticiye maruz kalındığının en iyi göstergesi olan ev tozlarında bulunan kalıcı organik kirleticilerin seviyelerinin belirlenmesi, kirletici düzeyleri ile bu evlerde yaşayan 6-11 yaş aralığındaki okul çağı çocuklarının astım hastalığı üzerine etkilerini incelemektir.

2. YÖNTEM

2.1. Vaka ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması, Anket Uygulanması ve Toz Örneklerinin Toplanması:

Bu çalışmada ev koşullarının belirlendiği ve evdeki aktiviteleri belirlemeye yönelik bir anket formu doldurulmuştur. Anket formunda, yaşanan konutun özellikleri (hangi katta yer aldığı, büyüklüğü, nem olup olmadığı, ısıtma sistemi, duvar kaplama türü, halı, mobilya vb.), evde hayvan beslenip beslenmediği, evdeki insan aktiviteleri (sigara içimi, yemek pişirme yöntemleri, havalandırma sıklığı, vb.) soruları bulunmaktadır. Anket formu gönüllü olarak çalışmaya katılmak isteyen çocukların ailelerine yüz yüze görüşme tekniği ile uygulanmıştır.

Araştırmada vaka gurubunu Hacettepe Üniversitesi Çocuk Hastalıkları Kliniğine astım tanısı ile takip amaçlı başvuran ve yine aynı klinikte yeni tanı alan 6-11 yaş grubu hastalar oluşturmuştur. Kontrol

grubunu oluşturmak amacıyla 6-11 yaş arası okul çağında olan ve astım tanısı konulmayan çocuklara Ankara il sınırlarında ulaşmamız için ilgili izin Ankara il Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından alınmıştır. Kontrol ve astım gruplarının dağılımına bakıldığında cinsiyet, yaş ve evlerin özellikleri genel olarak benzerlik göstermektedir.

Gönüllü olarak projeye katılmak isteyen ailelerin evlerinden 4 ay aralıkla bir yıl boyunca, 3 dönem evleri ziyaret edilerek elektrik süpürgesi ile toz örneği toplanmıştır. Önceki dönemlerde alınan toz örnekleri analizlere hazırlamak amacıyla, 0,1mm elek kullanılarak, elenmiştir ve -20°C'de analiz edilene kadar saklanmıştır. Tüm mevsimlerin örnekleri alındıktan sonra her ev için karışım bir toz örneği ölçüm için hazırlanmıştır.

2.2. Ev Tozlarında KOK'lerin Seviyelerinin Belirlenmesi:

Ev tozlarında, PAH, PCB ve PBDE analizleri için her 1 gr toz numunesine geri kazanım (recovery) standart enjekte edilerek 15 ml aseton:hegzan karışımı ilave edilip bütün gece oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ertesi gün numuneler 1 saat ultrasonik banyoda karıştırılıp ve sıvı fazı alınan örnekler hegzan ilavesi ile solvent değişimi yapılmıştır ve daha sonra azot gazı altında miktarları 1-2 ml'ye kadar düşürülerek ön-zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön-zenginleştirme işlemi yapılmış örnekler, temizleme kolonundan geçirilerek PAH, PCB ve PBDE bileşiklerinin ayrılması sağlanmıştır. Kolonlar 20 ml dikolorometan ve arkasından 20 ml petrolüym eteri ile ön yıkama yapılarak solvent akış hızı 0,1 ml/sn olarak ayarlanmıştır, sonrasında önzenginleştirme yapılmış örnek (2 ml) gas-tight şırınga ile kolona verilmiştir. Örnek kolona verildikten sonra kolondan 50 ml petrolüym eteri geçirilerek PAH, PCB ve PBDE örneklerinin ayrılması sağlanmıştır. Kolondan geçirilmiş olan PAH, PBDE ve PCB örnekleri önce rotary ile hacmi 5 ml düşürülüp daha sonra azot gazı altında miktarları azaltılıp hegzan solventi ilave edilmiştir. Son olarak örnekler 250 µl'ye kadar uçurulup, 250 µl kalan örnek viallerde analizi için hazır hale getirilmiştir. Temizleme işlemi ile hazır hale getirilen örnekler, konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla GC-MS (Agilent Technologies 5975C-6890N) cihazında analiz edilmiştir. Cihazın kalibrasyonu 16 PAH bileşiği, 13 hedef PBDE bileşiği (SRM 2580) ve 17 PCB bileşiği (Aroclor 1260) ve 4 geri kazanım (recovery) standartları için 6 farklı konsantrasyonda hazırlanmış kalibrasyon çözelti karışımları ile yapılmıştır. Analizlerin kalite kontrolü için ev tozu organik kirlenici standardı olan SRM2588 kullanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Astım ve kontrol gruplarında ölçülen PAH, PCB ve PBDE seviyelerinin kıyaslanması:

Ankara ilinin farklı semtlerinde bulunan 110 astım tanısı olan çocukların ve 130 kontrol grubunda (herhangi bir astım tanısı olmayan) yer alan çocukların yaşadıkları evlerden toplanan tozlarda ölçülen PAH, PCB ve PBDE konsantrasyonlarının geometrik ortalama ve medyan değerleri tablo 1'de verilmiştir. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro- Wilk testlerine göre veriler normal dağılmamaktadır, bu nedenle istatistik analizlerinde parametrik olmayan analizlerin sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 1 : Kontrol ve astım gruplarında ölçülen PAH, PCB ve PBDE değerleri (ng/g)

	Astım Grubu (n=110)		Kontrol Grubu (n=130)	
	GM	Medyan	GM	Medyan
PAHs				
HMW	1376.48	1317.96	1931.51	1734.80
LWM	884.74	873.67	1381.44	1196.70
Cpah	862.25	784.45	798.61	723.22
TPAH	2261.21	2206.52	833.32	669.83
PCBs				
PCB28	1.31	1.34	1.25	1.22
PCB52	1.17	1.39	1.26	1.30
PCB101	7.64	9.43	7.56	8.48
PCB118	1.59	1.49	7.71	9.46
PCB138	6.37	7.02	9.33	10.77
PCB153	4.80	6.92	4.45	5.16
PCB166	3.13	3.21	3.20	2.93
PCB180	0.47	0.36	0.67	0.50
BDEs				
BDE15	0.34	0.26	0.15	0.14
BDE17	0.28	0.28	0.42	0.37
BDE28	0.35	0.34	0.48	0.38
BDE47	0.49	0.40	0.44	0.41
BDE66	0.27	0.19	0.28	0.30
BDE71	0.44	0.40	0.43	0.46
BDE85	0.56	0.51	0.76	0.79
BDE99	5.84	5.34	5.77	6.87
BDE100	5.98	5.11	2.89	2.94
BDE138	1.05	0.89	1.36	1.22
BDE153	2.66	2.82	3.18	4.04
BDE154	3.37	3.02	5.07	5.37
BDE183	22.01	25.05	22.53	27.48
BDE190	4.57	4.96	6.43	5.91
BDE209	60.15	28.09	50.90	23.10

Tablo 1' de görüldüğü gibi PAH izomerleri genellikle astım tanısı olan çocukların evlerinde daha yüksek ölçülmüştür. Phe, 314.8 ng/g medyan değeri ile en baskın olan PAH izomeri olarak tespit edilmiştir. Bunu Ant, 181.2 ng/g medyan değeri ile izlemektedir. Phe ve Ant alerji ilaçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [9]. Astım tanısı olan çocukların evlerinden toplanan tozlarda yüksek ölçülen Phe ve Ant değerleri bu nedenden dolayı olması düşünülmektedir.

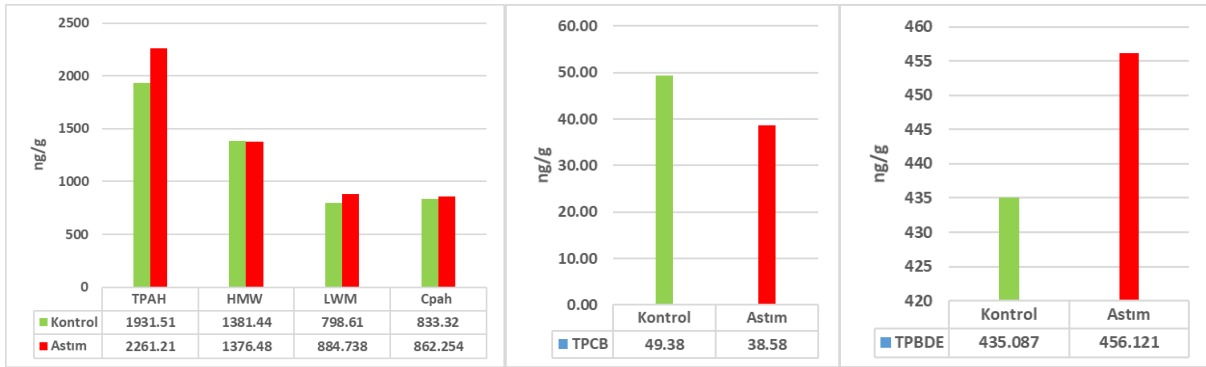
Şekil 1'de kontrol ve astım gruplarında ölçülen Toplam PAH, yüksek moleküler ağırlıklı, düşük moleküler ağırlıklı ve kanserojen PAH izomerleri gösterilmektedir. Ölçülen değerlere göre astımlı olan çocukların evlerinde daha yüksek değerler tespit edilmiştir.

PCB 52, PCB 101, PCB 118 ve PCB 138 izomerleri kontrol grubunda astım grubuna göre daha yüksek ölçülmüştür. PCB 52 astım grubunda ortalama medyan değeri 2.01 ng/g, kontrol grubunda 1.68 ng/g olarak tespit edilmiştir. PCB 101 için ölçülen ortalama medyan değeri astım grubunda ve kontrol grubunda sırasıyla 9.64 ng/g ve 11.54 ng/g' dir. PCB 118 ve PCB 138 astım grubunda sırasıyla 3.00 ng/g ve 8.48 ng/g ölçülmüş iken kontrol grubunda sırasıyla 9.31 ng/g ve 12.44 ng/g olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre ölçülen Toplam PCB değerleri kontrol grunda 49.38 ng/g ve astım grubunda 38.58 ng/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 1).

Toplam PCB değerlerinin ortalama medyan değeri kontrol grunda astım grubundan daha yüksek olmasının nedeni kontrol grubunda yer alan evlerde son bir yıl içinde daha fazla tamirat ve boya yapılması ve eve yeni eşya alınması olabilmektedir. PCB izomerlerinin boya, çimento ve tuğla da yaygın olarak kullanılması ve kontrol grubunda yer alan bazı evlerin etrafında inşaat olması en önemli etkenlerden biri olarak dikkat çekmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre toplam PBDE astım grubunda yer alan evlerin tozlarında 459.121 ng/g ölçülür iken kontrol grubunda yer alan evlerde 435.087 ng/g ölçülmüştür. Tespit edilen PBDE izomerlerinde PBDE 17, PBDE 28, PBDE 85, PBDE 154 ve PBDE 190 kontrol grubunda astım grubuna kıyasla daha yüksek ölçülmüşler. Diğer PBDE izomerleri astım grubunda kontrol grubundan daha yüksek değerlere sahipler (Şekil 1). Sonuç olarak astım grubunda yer alan evlerin özellikleri ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları bu grupta PBDE değerlerinin daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Bu durum astım riskini arttırmaktadır. Ev ortamında PBDE'lerin muhtemel kaynaklarını tanımlamak ve azaltmak astım riskini kontrol altına almakta önemli bir etkidir.

Şekil 1. Kontrol ve astım gruplarında ölçülen TPAH, HMW,LMW,Çpah, TPCB ve TPBDE değerleri (ng/g)



Yadav ve Devi 2018 yılında Nepal şehrinde 24 evden toz örnekleri toplayarak 16 PAH izomerleri ölçülmüştür. Numunelere ait toplam PAH konsantrasyonu 747– 4910 ng/g aralığında olduğunu tespit edilmiştir. Yüksek moleküler ağırlıklı PAH konsantrasyonları 523-3820 ng/g aralığında iken düşük moleküler ağırlıklı PAH ların konsantrasyonları 225 – 1090 ng/g aralığında ölçülmüştür [10]

Maertens ve arkadaşları 2008 yılında Kanada'nın Ottawa şehrinde 51 adet evden topladıkları iç ortam toz numuneleri üzerinde 13 adet PAH izomerinin konsantrasyonlarını ölçmüşler. Toplam PAH konsantrasyonları 1.5 µg/g ile 325 µg/g aralığında tespit edilmiştir [11].

Nadeem ve Iqbal 2016 yılında jadede de 15 evden toplanan tozlarda PAH izomerlerinin seviyeleri belirlenmiştir. Toplam PAH seviyesi 950 - 11950 ng/g aralığında ölçülmüştür [12].

Kocaeli ilinde 90 evden toplanan iç ortam tozu numunelerinde yapılan çalışmada PAH izomerlerinin ölçümü sonucunda 198.74 ng/g medyan değeriyle Phe en baskın izomer olarak tespit edildi. Bunu 126.85 ng/g medyan değeri ile Flt, 109.51 ng/g medyan değeriyle Pyr, 92.67 ng/g medyan değeriyle Chr ve 83.98 ng/g medyan değeriyle BbF izlemektedir. Evlerde en çok bulunan izomerler toplam PAH izomerlerinin %46'sını oluşturan beş halkalı izomerler tespit edildi. Yüksek molekül ağırlığına sahip olan dört, beş, altı halkalı PAH izomerlerinin iç ortam tozlarındaki konsantrasyonları %74 olarak tespit edildi [13].

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yapılan diğer çalışmalardan alınan sonuçların aralığında yer almaktadır.

Tan ve diğerleri tarafından, 2007 yılında Singapur'da 31 evden toplanan iç ortam toz numunelerinde pestisit ve PCB izomerleri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada toplam PCB seviyesi 5.6 ng/g olarak bulunmuştur. PCB-101 en çok bulunan izomer olarak tespit edilmiştir. Bu izomeri PCB-153 izlemiştir [14].

Wang ve arkadaşları, Guangzhou ve Hong Kong'da yaptıkları çalışmada toplam 40 adet evden iç ortam toz numunesi toplamışlardır ve toplanan örneklerde PCB konsantrasyonlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda Guangzhou şehrindeki iç ortam tozlarındaki PCB konsantrasyonu (51.8 ng/g -264 ng/g aralığında), Hong Kong'da ölçülen konsantrasyondan (17.4 ng/g ile 137 ng/g aralığında) daha yüksek olarak bulunmuştur. İç ortam tozunda baskın olan PCB izomerleri PCB-18, 28, 77, 101, 126, 138, 153, 157, ve 183 olarak tespit edilmiştir ve toplam konsantrasyonun %66'ısını oluşturmaktadırlar.

PCB profili incelendiğinde ise kirleticinin ana kaynaklarının değişkenlik gösterdiği ortaya konulmuştur [15].

Teksas/ABD'de 20 evden toplanan toz numunelerindeki ortalama PCB konsantrasyonu 200 ng/g, Birmingham/UK'de 20 evden toplanan tozlardaki ortalama PCB konsantrasyonu 48 ng/g, Toronto/Kanada'ya 10 evden toplanan tozlardaki ortalama PCB konsantrasyonu 260 ng/g ve Wellington/Yeni Zelanda'da 20 evden toplanan tozlardaki ortalama PCB konsantrasyonu ise 46 ng/g olarak ölçülmüştür. Analiz sonuçlarına göre tespit edilen PCB-28+31, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 ve PCB-180 istatistiksel anlamda Kanada ve Amerika'da benzer iken, Yeni Zelanda ve UK'de farklıdır. Yeni Zelanda ve UK toz konsantrasyonları arasında da istatistiksel anlamda benzerlik bulunmamıştır. Çalışmada bulunan ABD'de düşük konsantrasyonlara sahip olan evlerde nedenleri açıklayamamışlardır. Bununla birlikte konsantrasyonlardaki farklılıkları binaların yaşlarındaki değişkenlikler, PCB'lerin kullanıldığı bölgelerin farklı olması, PCB içerikli yapı malzemelerinin zamanla PCB içermeyenlerle değiştirilmesinden kaynaklı PCB konsantrasyonlarında düşüklük yaşanması, örneklemedeki metod farklılıkları ve numune sayılarındaki farklılıklar olarak açıklamışlardır [16].

Avustralya'nın Brisbane kentinde 2013 yılında Stasinska ve arkadaşları tarafından 30 evde gerçekleştirilen bir çalışmada Toplam PBDE 1580 ng/g olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada 37.69 ng/g meydan değeri ile PBDE-99 en baskın izomer olarak ortaya çıkmıştır. İkinci en yüksek ölçülen değer 28.76 ng/g medyan değeri ile BDE-47'ye aittir [17].

Kocaeli ilinde 90 evde Civan ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada toplam PBDE 280 ng/g olarak tespit edilmiştir (Civan ve diğ., 2018). Çalışma grubu tarafından yine aynı şehirde bu örneklemeden farklı olarak 40 adet evde yapıldığı iç ortam tozu çalışmasında PBDE izomerlerinin konsantrasyonları 1 (BDE-209) ile 15 (BDE-71) kat fazla ölçülmüştür [13].

Sjodin ve arkadaşları 2008 yılında Almanya, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Büyük Britanya olmak üzere toplam 4 ülkede çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada ülke başına 10 adet evden iç ortam toz numunesi toplanarak, PBDE konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Almanya'daki iç ortam tozlarında toplam 7 adet PBDE konsantrasyonu 17 ng/g ile 550 ng/g aralığında, Avustralya'da iç ortam tozlarında toplam 7 adet PBDE konsantrasyonu 500 ng/g ile 13000 ng/g aralığında, Amerika'daki iç ortam tozlarında PBDE konsantrasyonu 520 ng/g ile 29000 ng/g aralığında ve Büyük Britanya'daki toplam PBDE konsantrasyonu 950 ng/g ile 54000 ng/g aralığında değiştiği hesaplanmıştır. Bütün ülkelerdeki en yüksek konsantrasyona sahip olan izomer BDE 209 olarak bulunmuştur [18].

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile literatürdeki farklı ülkelerde ya da şehirlerde yapılan çalışmalar Türkiye'deki iç ortam tozundaki kirletici seviyelerinin hangi ülkelerden yüksek ya da düşük olduğunu görmek açısından fayda sağlamıştır. Her bir kirletici grubu için literatür ile karşılaştırma yapılmıştır. Ancak iç ortam tozlarındaki farklı partikül çapları, örnekleme yılları, örnekleme dönemleri (yaz ya da kış), konumları, örnekleme bölgelerindeki insanların sosyo-ekonomik gelişmişlik seviyeleri, kirletici kaynakları (yollara ya da endüstriyel alanlara yakınlık/uzaklık vb.), evlerin/binaların özellikleri, evlerdeki eşyaların sayıları ve cinsleri, insanların faaliyetleri gibi etkenler iç ortam kirletici seviyelerini etkilemektedir [19].

3.2. Kalıcı Organik Kirleticilerin mühtemel kaynaklarının belirlenmesi:

Astım tanısı olan çocukların ve kontrol grubunda yer alan çocukların yaşadıkları evlerin koşulları (evin katı, evin yaşı, ana caddeye yakınlık ve bnz) ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları (ev içinde sigara içilmesi, kızartma yapma sıklığı, ev temizliği sıklığı ve bnz) ile ilgili birebir ailelerle görüşerek örnekleme döneminde anket yapılmıştır. Evlerden toplanan tozlarda ölçülen KOK izomerlerinin konsantrasyonlarını etkileyen kaynaklar, ankette verilen cevaplar ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkiyi ortaya koymak için nonparametrik kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Ayrıca, 240 evden toplanan ev tozlarında ölçülen PAH, PCB ve PBDE izomerlerinin iç ortamda olası kaynaklarını tespit etmek amacıyla sıklıkla kullanılan bir istatistiksel teknik olan faktör analizi uygulanmıştır.

- **Nonparametrik kruskal-Wallis testi** sonuçlarına göre, en yüksek PAH değerlerine sahip olan evler genellikle daha düşük katlarda olan ve yaş olarak daha eski olan evlerdir. Evlerde sigara içilmesi, evlerin ana caddeye yakınlıkları, haftada 3-4 gün kızartma yapılması, koku giderici ve oda parfümü kullanımı ve çamaşır suyu kullanım sıklığı öne çıkan özelliklerdendir.

Evlerin genelde eski (> 10 yıl) olması, duvar boya türlerinin plastik ve yağlı boya olması, ana caddeye yakınlık, son bir içinde hem evin genelinde hemde çocuk odasında tamirat ve boya yapılması ve yeni eşya alınması PCB değerlerinin yüksek ölçülmesinde önemli etkenlerdir.

Tespit edilmiş PBDE değerlerinin ortalama medyan değerinden daha yüksek ölçülen evlerin ortak özelliklerine bakıldığında, evlerin yaşlarının genelde 10 yıldan az olması ve yürürlükte olan yönetmelik gereklerine uygun olarak yalıtım yapılması, daha eski evlerin müstakil bina olması, son bir yıl içinde eve ve çocuk odasına yeni eşya alınması, çocuğun yatağının elastik visko olması ve karyolasının ahşap olması, PBDE'lerin bu tür eşyalarda yangın geciktirici olarak kullanılması öne çıkmaktadır [16].

- **Faktör analizi testi** sonuçlarına göre, PAH izomerlerinin kaynakları 4 faktörle (%66,31) açıklanmıştır. Evde ve balkonda sigara içilmesi, ısıtma türü olarak kullanılan fosil yakıtlar, trafik emisyonları ve kızartma yağlarından kaynaklanan uçucu organikler iç ortamda ortaya çıkan PAH'ların mühtemel kaynakları olarak öne çıkmaktadır.

Sigara dumanında, trafik emisyonlarında, kızartma için yakılan yağ buharlarında ve kozmetik malzemelerde kullanılan PAH izomerleri belirtilen evlerde ölçülen PAH seviyelerini etkilemektedir [6,19, 20].

PCB izomerleri için faktör analizi sonuçları, 2 faktörle (%71.2), mühtemel kaynakların yalıtım, tadilat ve ticari PCB kullanımı ve araç egzoz ve ısınma amaçlı yanma emisyonlarının olabileceğini ortaya koymuştur.

PBDE izomerlerinin mühtemel kaynakları, yeni eşya, beyaz eşya ve penta-BDE kullanımı ve debromizasyonu olarak belirlenmiştir (2 faktör, %52.24). İkinci faktörde, BDE-153 ve BDE-154'ün baskın olması BDE-209'un debromizasyona uğraması ya da yalıtım malzemelerinin emisyonundan kaynaklandığı düşünülebilmektedir [21].

3.3. Lojistik Regresyon Analizi:

Bu çalışmada, örneklemede yer alan astım tanısı olan (astım grubu) ve olmayan (kontrol grubu) çocukların astım riskini etkileyen faktörleri (yaşadıkları evlerin koşulları ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları) Lojistik Regresyon Analizi ile modellenmesi amaçlanmaktadır.

Lojistik modele dahil edilecek bağımsız değişkenler, tek değişkenli lojistik regresyon analiziyle belirlendikten sonra, çok değişkenli modele dahil edilen her bir değişkenin önemliliği gösterilmelidir. Tek değişkenli modelde önemli bulunduğu halde çok değişkenli modelde önemsiz olan değişkenler model dışı bırakılmıştır. Böylece final model elde edilmiştir.

Bu modellemede astım tanısı olmak risk faktörü olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çocukların yaşadıkları evlerin aşağı katlarda olması astım riskini 4 kat, evde yaşayan kişi sayısının 4'ten fazla olması 2 kat, evlerde ayrı mutfak olmaması 5 kat, son bir yıl içinde eve yeni mobilya alınması 2 kat arttırmaktadır. Buna ek olarak evde evcil hayvan beslenmesi astım riskini 4 kat arttırmaktadır. Çocukların yaşadıkları evlerin iyice havalandırılmaması ve evde hava akımı olmaması ortamda bulunan kirleticilerin birikimine sebep olmasından dolayı astım riskini 2 kat arttırmaktadır. Temizlik için kullanılan çamaşır suyu sıklığının fazla olması da astım olmak riskini 2 kat arttırabilmektedir. Çocuğun yattığı yatağın malzemesinin yün olması astım olma riski üzerine 3 kat etkilidir. Sonuç olarak bu modelin sonuçlarına göre daha yüksek katlarda oturmak, evde yaşayan kişi sayısının az olması, evde ayrı mutfak bulunması, evcil hayvan beslenmemesi, evin iyice havalandırılması, daha az çamaşır suyu kullanımı ve çocuğun yatağının malzemesi astım riskini azaltmaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre, trafik kaynaklı ve odun ve kömür yanmasından kaynaklanan PAH izomerlerinin iç ortamda bulunması ciddi derecede astım riskini arttırmaktadır.

Yalıtım, tadilat ve ticari PCB kullanımı ev tozlarında PCB101, PCB118, PCB138 ve PCB153 izomerlerinin seviyelerini yükselterek astım riskini 7, 41, 31 ve 6 kat arttırmaktadır.

Araç egzoz ve ısınma amaçlı yanma emisyonlarını ortaya çıkararak PCB28 ve PCB52 izomerinin iç ortamda bulunması astım riskini 7 kat arttırmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Ankara'nın farklı bölgelerinde bulunan 110 astım tanısı olan (vaka grubu) ve 130 astım tanısı olmayan (kontrol grubu), 6-11 yaş aralığındaki çocukların evlerinden alınan toplam 240 toz örneğinde kalıcı organik kirleticiler olarak adlandırılan PAH'lar, PCB'ler ve PBDE'lerin ölçümleri yapılmıştır. Ev tozlarında bulunan kalıcı organik kirletici seviyeleri ile evlerin özellikleri (trafiğe yakınlık, ısıtma sistemi, ev içinde kullanılan yapı malzemeleri ve cihazlar v.b) ve ortamdaki insan aktiviteleri (sigara içimi, havalandırma sıklığı vb.) arasında istatistiksel olarak ilişki tespit edilmiştir. Kontrol ve vaka grubunun yaş dağılımı, evlerin ısıtma özellikleri, ailelerin eğitim düzeyleri, deneklerin cinsiyeti ve sosyo-ekonomik koşulları arasında herhangi bir farklılık bulunmamıştır. Vaka ve kontrol grubu arasında istatistiksel farkın gözlemlendiği koşullar; yaşadıkları evin katı, yaşı, duvar boyası türü, çocuğun yatağının malzemesi gibi ev koşulları ile, evde sigara içimi, evde evcil hayvan besleme, evde yaşayan kişi sayısında, temizlikte çamaşır suyu kullanım sıklığı gibi yaşam özellikleri ve alışkanlıklarında tespit edilmiştir.

Daha uçucu olan ve düşük molekül ağırlığa sahip, 2 ve 3 halkalı PAH izomerleri tozda havadan daha az bulunmasından dolayı, ev tozlarında gözlenen PAH konsantrasyonlarının %45'ini, 4, 5 ve 6 halkalı PAH bileşiklerinin oluşturduğu, yüksek moleküler ağırlığa sahip olan PAH izomerleri ise toplam PAH miktarının %55'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. En yüksek PAH konsantrasyonları ölçülen evlerde, mangal kullanımı ve ısıtma için soba kullanımı olduğu dikkat çekmektedir. Ortak özellik olarak evlerin yaşının 10 yıldan fazla olması, ana caddeye yakınlık, haftada 3-4 gün kızartma yapma, sigara içilmesi ve deterjan kullanım sıklığı öne çıkmıştır. Astım ve kontrol gruplarının ev tozlarındaki PAH içeriği kıyaslanması sonucu, PAH izomerlerinin genel olarak astımlı vaka evlerinde kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre ölçülen toplam PCB değerleri kontrol grubunda 49.38 ng/g ve astım grubunda 38.58 ng/g olarak tespit edilmiştir. Toplam PCB değerlerinin ortalama medyan değeri kontrol grunda astım grubundan daha yüksek olmasının nedeni kontrol grubunda yer alan evlerde son bir içinde daha fazla tamirat ve boya yapılması ve eve yeni eşya alınması olabilmektedir. PCB izomerlerinin boya, çimento ve tuğla da yaygın olarak kullanılması ve kontrol grubunda yer alan bazı evlerin etrafında inşaat olması en önemli etkenlerden biri olarak da dikkat çekmiştir. Tespit edilen PBDE izomerlerinde, elde edilen sonuçlara göre toplam PBDE astım grubunda yer alan evlerin tozlarında 459.121 ng/g ölçülür iken kontrol grubunda yer alan evlerde 435.087 ng/g ölçülmüştür.

Sonuç olarak astım grubunda yer alan evlerin özellikleri ve aile fertlerinin yaşam alışkanlıkları bu grupta genel olarak kalıcı organik kirleticilerin seviyelerinin daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Lojistik Regresyon Analizi sonuçlarına göre, bu durum astım riskini arttırmaktadır. Ev ortamında KOK'ların muhtemel kaynaklarını tanımlamak ve azaltmak, genetik gibi başka faktörleride göz önüne alarak, astım riskini ve şiddetini kontrol altına almakta önemli bir etkidir.

KAYNAKLAR

- [1] Butte W. Heinzow.B., "Pollutants in house dust as indicators of indoor contamination", Indoor Air, 22: 200–211, 2012.
- [2] Liou PJ, Freeman NC, Millette JR, "Dust: A metric for use in residential and building exposure assessment and source characterization. Environ. Health Persp". 110, 969-983, 2002.
- [3] Weschler C.J., Nazaroff, W., "SVOC partitioning between the gas phase and settled dust indoors", Atmos. Environ., 44, 3609-3620, 2010.
- [4] Brandt, E.B., Kovacic, M.B., Lee, G.B., Gibson, A.M., Acciani, T.H., Le Cras, T.D., Ryan, P. H., Budelsky, A.L., Khurana Hershey, G.K. "Diesel exhaust particle induction of IL-17A contributes to severe asthma", J. Allergy Clin. Immunol. 132, 1194–1204, 2013.
- [5] Lanckacker, E.A., Tournoy, K.G., Hammad, H., Holtappels, G., Lambrecht, B.N., Joos, G. F., Maes, T. 2. "Short cigarette smoke exposure facilitates sensitisation and asthma development in mice", Eur. Respir. J. 41, 1189–1199, 2013.

- [6] Wang, E., Liu, X., Tu, W., Do, D.C., Yu, H., Yang, L., Zhou, Y., Xu, D., Huang, S.K., Yang, P., Ran, P., Gao, P.S., Liu, Z. "Benzo(a)pyrene facilitates dermatophagoides group 1 (Der f 1)-induced epithelial cytokine release through aryl hydrocarbon receptor in asthma", *Allergy* 74, 1675–1690, 2019.
- [7] Zuo, B.Q., Liu, C., Chen, R.J., Kan, H.D., Sun, J., Zhao, J., Wang, C., Sun, Q., Bai, H.J. "Associations between short-term exposure to fine particulate matter and acute exacerbation of asthma in Yancheng, China", *Chemosphere* 237, 1–6, 2019.
- [8] Huang, k. "Prevalence, risk factors, and management of asthma in China: a national cross-sectional study", *Lancet*; 394: 407–18, 2019.
- [9] Guerra, G., Pharm.D. "Allergy Alert!", Joint Publication from the University Health System Pharmacy Department and CareLink, Vol. 8 , No. 1 , 2013.
- [10] Yadav, I.C., Devi, N.L., Li, J., Zhang, G. " Polycyclic aromatic hydrocarbons in house dust and surface soil in major urban regions of Nepal: Implication on source apportionment and toxicological effect", *Science of the Total Environment*, 223-235, 2018.
- [11] Maertens R. M., Yang X. F., Zhu J. P., Gagne R. W, Douglas G. R., White P. A. "Mutagenic and Carcinogenic Hazards of Settled House Dust I: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content and Excess Lifetime Cancer Risk from Preschool Exposure", *Environ. Sci. Technol.*, 42, 1747–1753, 2008.
- [12] Nadeem, A., Iqbal, I. "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in indoor dust samples from Cities of Jeddah and Kuwait: Levels, sources and non-dietary human exposure", *Science of The Total Environment*, 573, 2016.
- [13] Başaran, B., Civan, M.Y. "Investigating of primary components and source apportionment of persistent organic pollutants of indoor dust", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18:2145–2160, 2021.
- [14] Tan, J., Cheng, S.M., Loganath, A. "Selected organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyl residues in house dust in Singapore", *Chemosphere* 68, 1675–1682, 2007.
- [15] Wang, W., Huang, H., Zheng, J. "Exposure assessment and distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) contained in indoor and outdoor dusts and the impacts of particle size and bioaccessibility", *Science of the Total Environment*, 463-464, 2013.
- [16] Harrada, S., Ibarra, C., Diamond, M., Melymukb, L., Robson, M. " Polybrominated diphenyl ethers in domestic indoor dust from Canada, New Zealand, United Kingdom and United States", *Environment International*, 34, 232-238, 2008.
- [17] Stasinska, A., Reid, A., Hinwood, A., Stevenson, G., Callan, A. "Concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in residential dust samples from Western Australia", *Chemosphere*, 91, 187-193, 2013.
- [18] Zhou, L.-L., Hiltcher, M., Gruber, D., Püttmann, W. "Organophosphate flame retardants (OPFRs) in indoor and outdoor air in the Rhine/Main area, Germany: comparison of concentrations and distribution profiles in different microenvironments". *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 10992–11005, 2017.
- [19] Ma Y., Harrad S. "Review Article: Spatiotemporal Analysis and Human Exposure Assessment On Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Indoor Air, Settled House Dust and Diet", *Environment International*, 84, 7–16, 2015.
- [20] Yans. Ding, Jenns. Trommel, " Determination of 14 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Mainstream Smoke from Domestic Cigarettes", *Environ. Sci. Technol.* 2005, 39, 471-478, 2005.
- [21] Yu, YX., Pang, YP., Li, C., Li, JL., Zhang, XY., Yu, ZQ., Feng, JL., Wu, MH., Sheng, GY., Fu, JM. " Concentrations and seasonal variations of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in in- and out-house dust and human daily intake via dust ingestion corrected with bioaccessibility of PBDEs", *Environ Int.*, 42, 124-131, 2012.



ÖZGEÇMİŞ

Parisa BABAEI

1980 yılı Salmas, İRAN doğumludur. 2006 yılında Lahijan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimini bitirmiştir. 2019 yılından itibaren Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde doktora yapmaktadır.

Afsoun NIKRAVAN

1986 yılı Oroumieh, İRAN doğumludur. 2008 yılında Oroumieh Azad Üniversitesi Fen Fakültesi Uygulamalı Fizik Bölümünden mezun olmuştur. 2015 yılında Hacettepe Üniversitesi FBE Çevre Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını tamamlamıştır. Aynı Üniversitenin Çevre Mühendisliği bölümünden 2022 yılında Doktor ünvanını almıştır.

Gülen GÜLLÜ

Dr. Gülen Güllü, 1987 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversiteden 1989 yılında Yüksek Mühendis ve 1996 yılında Doktor ünvanını almıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde 1987-1996 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1996-1999 yılları arasında uzman olarak görev yapmıştır. Doçentlik ünvanını 1999 yılında Hacettepe Üniversitesinde Öğretim Üyesi iken alan, Dr. Güllü, 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör kadrosuna atanmış, halen Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Dr. Güllü, atmosferik kirlilik taşınımı, atmosfer kimyası, iç ve dış ortam hava kirliliği konularında çalışmaktadır. Dr. Güllü, birçok ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmakta, Avrupa Birliğinin eşleştirme programlarında Hava Kalitesi konularında uzman olarak görev almaktadır. Dr. Güllü, atmosfer kimyası, çevresel veri analizi, çevresel etki değerlendirmesi, çevre kimyası, hava kirliliği kontrol prosesleri ve iklim değişikliği konularında yüksek lisans ve doktora dersleri vermektedir.

İZMİR'DEKİ OKULLARDA İÇ ORTAM YER TOZU PBDE DÜZEYLERİ

House Dust Pbde Levels In Schools In İzmir

Özge Edebali
Mesut Genişoğlu
Aysun Sofuoğlu
Cafer Turgut
Sait Cemil Sofuoğlu

ÖZET

Çok bromlu difenileterler (PBDE), zamanımızın çoğunu geçirdiğimiz iç mekanlarda bulunması nedeniyle insan sağlığı için ciddi riskler taşımaktadır. Bu çalışma, İzmir ilinin kentsel, yarı-kentsel ve kırsal bölgelerinde bulunan çeşitli okullardan alınan iç mekan yer tozunda PBDE derişimlerini incelemektedir. Yer tozu örnekleri elektrikli süpürgeyle sınıflardan toplandıktan sonra laboratuvarında ekstraksiyon ve temizleme işlemleri yapılmış ve GC-NCI-MS ile analiz edilmiştir. İzmir ilindeki okullarda, iç ortam yer tozu örneklerinin ortalama Σ_8 BDE derişimleri 2393 ng/g olarak belirlenirken, kentleşmenin etkisini belirlemek için örnekler kentleşme seviyelerine göre gruplandırıldığında kentsel, yarı-kentsel ve kırsal bölgelerde bulunan okullardaki yer tozunda ortalama Σ_8 BDE derişimleri sırasıyla 1691, 2146 ve 3191 ng/g olarak belirlenmiştir. İç ortamda baskın PBDE türdeşinin her üç bölgede de BDE-209 olduğu belirlenmiştir. Özellikle teknik liselerden alınan yer tozu örneklerinde yüksek PBDE derişimi elektrik-elektronik ve bilgisayar laboratuvarlarının varlığı ile ilişkilendirilirken; organize sanayi bölgelerine yaklaştıkça okullarda iç mekan PBDE derişimlerinin arttığına dair bulgular elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PBDE, Okullarda iç ortam kirleticileri, yer tozu, İç hava kalitesi.

ABSTRACT

Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) may pose serious effects on human health due to their presence in indoor environments where people spend most of the time. This study investigated PBDE concentrations in indoor house dust from schools in urban, semi-urban, and rural areas of İzmir province. After the dust samples were collected from the classrooms by a vacuum cleaner, extraction and cleaning processes were performed in the laboratory, and analyzed by GC-NCI-MS. The mean Σ_8 BDE concentration of house dust samples was determined as 2393 ng/g for İzmir. We grouped the samples according to their levels of urbanization; the mean Σ_8 BDE concentrations in house dust in urban, suburban, and rural schools were determined as 1691, 2146, and 3191 ng/g, respectively. BDE-209 was determined to be the dominant PBDE congener in all of the three urbanization groups. High PBDE concentrations were observed in settled dust samples taken from technical high schools, which can be attributed to the presence computer, electrical, and electronics laboratories. It has been found that proximity to an industrial area is a factor that significantly contributes to the indoor PBDE concentrations.

Key Words: PBDE, Indoor pollutants in schools, Settled dust, Indoor air quality.

1. GİRİŞ

Çok bromlu difenil eterler (PBDE'ler) alev geciktirici olarak kullanılmalarından başlayarak yasaklanmasına kadar geçen süreç içerisinde elektronik cihazlardan yalıtım malzemelerine, boyalardan tekstil ürünlerine, otomobillerden mobilyalara uzanan birçok ticari ve ev eşyasında yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Yarı uçucu özellikleri nedeniyle gaz ve partikül fazlarında bulunabilirler ve bozunmaya olan dayanımları nedeniyle çevresel sistemlerde birikme eğilimindedirler [1]. PBDE'ler; Penta-BDE, Okta-BDE ve Dekka-BDE karışımları adı altında üç ana ticari formülasyonda üretilmişlerdir. Penta-BDE karışımları; faks makineleri, bilgisayar, televizyon gibi elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmıştır. Bununla beraber, ticari Dekka-BDE karışımları cihaz kasalarında, kumaşlarda, yapı malzemelerinde ve polipropilen perdelerde darbe ve aşınma direncine sahip alev geciktiriciler olarak kullanılmıştır. Bu yaygın kullanım alanlarından dolayı günlük yaşamımızda en çok maruz kaldığımız kimyasal madde gruplarından biri haline gelmiştir [2]. PBDE'ler kalıcı olan halojenli hidrofobik organik bileşikler olup lipofilik yapılarından dolayı maruz kalınması sonucu vücutta birikim eğilimindedir. İnsan vücuduna solunum, dermal temas ve kazara toz-toprak yutma yollarıyla girdiklerinden dolayı, PBDE'lerin zamanımızın büyük bir kısmını geçirdiğimiz iç ortamlarda bulunduğu gaz fazı, Partikül Madde (PM) ve yer tozundaki düzeylerinin bilinmesi olası sağlık etkilerinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Okullar, iç ortamda uzun süreler bulunma zorunlulukları, dolayısıyla da çocukların PBDE'lere maruziyetini büyük ölçüde etkileyen yerlerdir [3]. Vücut ağırlıklarına oranla yüksek olan solunum hızları ve yer tozu yutma miktarları çocukların PBDE maruziyetleri açısından ciddi kaygılara sebep olmaktadır [4]. Avustralya'da 2015 yılında yapılan bir çalışmada okullardaki yer tozu toplam PBDE derişim aralığının 11–2163 ng/g, ortalamasının 600 ng/g olduğu ve evlerdekinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [3]. Daha önce İzmir'de bir bilgisayar teknik servisinde yapmış olduğumuz bir çalışmada yer tozunda ortalama BDE-28, -47, -99, -100, -153, -183 ve -209 derişimleri sırasıyla 4,69; 17,8; 18,1; 5,79; 71,0; 2,62; 23,5 ve 1802 ng/g olarak tespit edilmiştir [5]. Ülkemizde ise İstanbul'da yapılan bir çalışmada toplam 19 adet ev ve ofis örneğinde iç ortam toz seviyeleri analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 ortanca derişimleri sırasıyla 0,12; 61,8; 34,1; 2,37; 26,2; 0,12; 20,9 ve 574 ng/g olarak bulunmuştur [6]. Kocaeli'nin farklı ilçelerinde bulunan kentsel, kırsal ve endüstriyel yoğunluğa sahip 90 adet evden alınan iç ortam yer tozu ortanca BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 derişimleri sırasıyla 0,24; 2,55; 3,07; 0,92; 0,57; 0,46; 5,91 ve 128 ng/g olarak belirlenmiştir [7]. Bursa ilinde yapılan bir çalışmada ise 62 adet otomobilden alınan iç ortam toz örneklerinde PBDE derişimleri ölçülmüştür. Analizi yapılan toz örneklerinde BDE-17, -28, -71, -47, -66, -100, -99, -85, -154, -153, -138, -183 ve -209 türdeşlerinin ortanca derişimleri sırasıyla 110, 13,6; 14,6; 60,7; 100; 40,3; 59,5; 34,7; 79,1; 85,3; 39,5; 71,2; 213 ve 340 ng/g olarak bulunmuştur [8]. Literatürde, burada atıfta bulunmadığımız, okullarda yer tozu / çökeliş toz PBDE düzeylerini incelemiş birçok uluslararası yayın bulunmakta olup çocukların maruziyeti açısından yer tozunun önemi ortaya konmuştur. Bu çerçevede çalışmamızın gayesi İzmir'de farklı şehirleşme seviyesinde bulunan okullarda yer tozu PBDE düzeylerini belirlemektir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

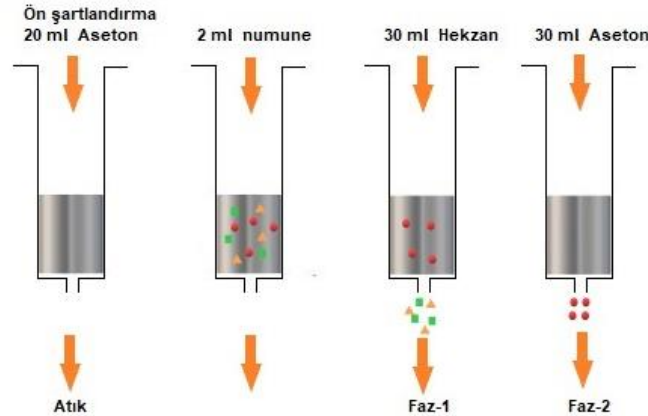
2.1. Örnekleme

İzmir'in şehirleşme esaslı üç farklı bölgesindeki okullardan iç ortam yer tozu örnekleri toplanmıştır. Örnekleme yapılacak okullar seçilirken şehirleşme düzeyi (7 kentsel, 7 yarı-kentsel, 7 kırsal) ve okulların eğitim seviyeleri (7 ilkököl, 7 ortaokul ve 7 lise) göz önünde bulundurulmuştur. İç ortam örnekleri her okulda belirlenen bir sınıftan toplanmıştır. Yer tozu örnekleri, toplama haznesi çıkışında HEPA filtreye sahip bir elektrikli süpürge ile 4 m²'lik alanın 5 dakika boyunca süpürülmesiyle toplanmıştır. Toz haznesinde bulunan süpürüntüler ve filtreler 450°C'de fırınlanarak ön temizliği yapılmış alüminyum folyolara sarılıp kilitli poşete konduktan sonra soğutucuların içinde laboratuvara getirilmiştir.

2.2. Ekstraksiyon ve Temizleme İşlemleri

Toplanan yer tozu örnekleri ultrasonik ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Önce, kaba partiküller, saç, çakıl, kağıt ve kalem artıkları gibi istenmeyen maddeleri ayırmak için 500 µm gözenek çığına sahip elekten geçirilmiştir. Yaklaşık olarak ≈0,5 gram yer tozu numunesi 0,001 gram hassasiyetli bir tartı kullanılarak tartılmıştır. Tartımları yapılan toz numuneleri 40 ml amber şişelere aktarılmış ve ekstraksiyon, temizleme ve analiz süreçlerindeki analitik geri kazanımlarının belirlenmesi için 25'er ng BDE-77 ve BDE-181 türdeşleri ekstraksiyon öncesi izleme çözültisi olarak örneklere eklenmiştir. Ekstraksiyon şişesine 20 ml aseton: hekzan (Ase:Hxn; 1:1, v:v) karışımı ilave edilmiş ve teflon kaplı kapaklarla kapatılıp fotodegradasyonu önlemek için karanlıkta bırakılmıştır. Gece boyunca bekletilen numunelere ultrasonik banyoda seri halde 15 dakikalık süreçler halinde 2 kez tekrarlanarak taze çözügen ile ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Her ekstraksiyon sonrasında örnek 30 dakika kadar bekletilerek tozların çökmesi sağlanıp üst kısımdaki 20 ml'lik çözücü fazı temiz amber şişelere alınmıştır. Kalan toz numunesine 20 ml Ase:Hxn karışımı eklenerek tekrar 15 dakika boyunca ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. İki aşamalı ekstraksiyon sonrası toplanan çözücü fazlar birleştirilerek döner buharlaştırıcı ile hacim 2 ml'ye konsantre edilmiş ve çözügen değişimi yapılarak ekstrakt hekzan fazında bırakılmıştır.

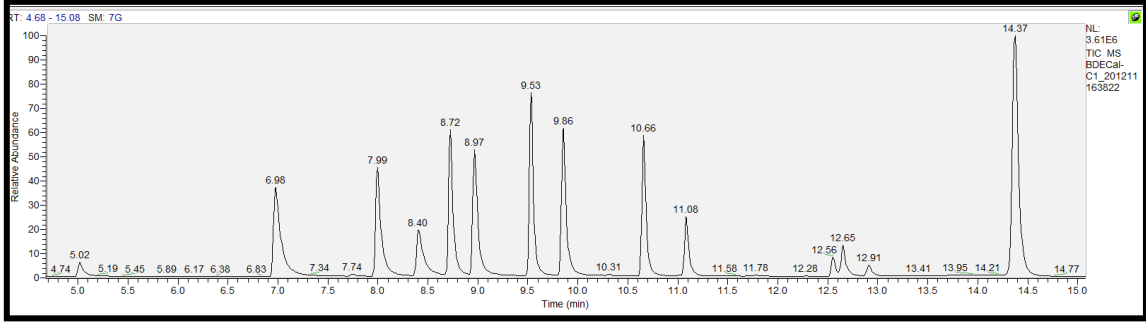
Konsantre edilen numunelere tek aşamalı temizleme prosedürü uygulanmıştır (Şekil 1). Çöken toz numunelerinin temizlenmesi için Silika dolgululu katı faz ekstraksiyon (SPE) kartuşları (Agilent Bond Elute Mega BE, Si 5g) ve vakum manifoldu kullanılmıştır. SPE kartuşlarını 20 ml aseton ile temizlenerek ön şartlandırma işleminden sonra SPE kartuşlarının altına amber şişeler yerleştirilmiştir. Konsantre edilen numuneler (≈2 ml) SPE kartuşlarına eklenmiş ve 30 ml hekzan ile (Faz 1) elüsyona tabi tutulmuştur. SPE kartuşlarının ikinci elüsyonu (Faz 2) için aseton (30 ml) kullanılmıştır. Faz 1 ve Faz 2 birleştirilip döner buharlaştırıcı ile 2-3 ml civarına konsantre edilmiştir. Çözücüye, 3 ml izooktan ilave edilerek çözücü fazı izooktan ile değiştirilmiştir. Son olarak, numuneler 1 ml'ye konsantre edilmiş ve volumetrik standart olarak 25 ng 1,2,3,4,5,6-hekzaklorosikloheksan (epsilon-BHC) eklenmiştir.



Şekil 1. Yer tozu örneklerinin temizleme prosedürü.

2.3. PBDE Analizi

PBDE analizi için Gaz Kromatografisi-Kütle Spektroskopisi (GC-MS, Thermo-Trace-ISQ) cihazı negatif kimyasal iyonizasyon modunda (NCI), 90 °C 'de 1 dk bekletme, 20 °C/dk ile sıcaklık 315 °C'ye yükseltilerek bu sıcaklıkta 6 dk bekletme süresine göre programlanmıştır. Seçici iyon görüntüleme (SIM) modunda, analitlerin tayininde BDE-28, -47, -77, -99, -100, -153, -154, -181 için 79 ve 81 iyonları kullanılırken; BDE-209 için 486,5 ve 488,5 iyonları kullanılmıştır (Tablo 1). Epsilon-BHC için 253 ve 257 iyonları kullanılmıştır. Hedeflenen tüm bileşiklerin kalibrasyon eğrilerinin doğrusal olduğu belirlenmiştir ($R^2 > \% 99$) (Şekil 2).



Şekil 2. Kalibrasyon standardının toplam iyon kromatogramı (TİK) (BDE-209 1000 ng/ml, 100 ng/ml diğer türdeşler)

Tablo 1. PBDE'lerin SIM parametreleri

Analiz Edilen Maddeler	Grup	Hedef İyonlar (m/z)	Alıkonma süresi (min)
Epsilon-BHC	Hacim Std,	253, 257	5,02
2,4,4'-Tribromodiphenyl ether (BDE-28)	Hedef	79, 81	6,96
2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether (BDE-47)	Hedef	79, 81	7,99
3,3',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether (BDE-77)	İzleme	79, 81	8,40
2,2',4,4',6-Pentabromodiphenyl ether (BDE-100)	Hedef	79, 81	8,72
2,2',4,4',5-Pentabromodiphenyl ether (BDE-99)	Hedef	79, 81	8,97
2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether (BDE-154)	Hedef	79, 81	9,53
2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether (BDE-153)	Hedef	79, 81	9,86
2,2',3,4,4',5',6-Heptabromodiphenyl ether (BDE-183)	Hedef	79, 81	10,66
2,2',3,4,4',5,6-Heptabromodiphenyl ether (BDE-181)	İzleme	79, 81	11,08
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decabromodiphenyl ether (BDE-209)	Hedef	486,5, 488,5	14,37

2.4. Gaz Fazı PBDE Konsantrasyonlarının Modellenmesi

PBDE'ler hem gaz hem de toz fazda bulunan yarı uçucu organik bileşiklerdir. Bu bileşiklerin gaz fazı ve yer tozu arasındaki dağılımı maruziyet yollarının karakterizasyonu açısından önemlidir. Gaz fazı derişimlerine ulaşabilmek için yer tozu örneklerinin deneysel verilerinden yararlanılmıştır. Toz fazı düzeylerini (X_{dust}) kullanarak gaz faz derişimleri (C_g) tahmin edebilmek için Eşitlik-1 kullanılmıştır. K_{oa} değerleri için EPI Suite yazılımından, deneysel K_{oa} verileri ve deneysel verileri olmayan K_{oa} değerleri için ise tahmini değer verileri alınarak hesaplama yapılmıştır. Weschler ve Nazaroff [19] tarafından bildirilen f_{om_dust} ve p_{dust} verileri için sırasıyla 0,2 ve 2×10^6 değerleri alınmıştır. Weschler ve Nazaroff'un [19] kabul ettiği p_{dust} değeri için toz çapının (<1 mm) verilerimize uygunluğu sebebiyle modelde kullanılan değerler sonuçların daha gerçekçi olmasını sağlamıştır.

$$C_g = \frac{p_{dust} \times X_{dust}}{f_{om_dust} \times K_{oa}} \quad (1)$$

X_{dust} ($\mu\text{g g}^{-1}$): yer tozundaki BFR derişimi; C_g ($\mu\text{g m}^{-3}$): gaz fazdaki BFR derişimi; $f_{om,dust}$: çöken toz ile ilişkili organik maddenin hacim oranı (birimsiz); Koa : oktanol-hava dağılım katsayısı, gaz halindeki SVOC'nin kütle derişimi ile normalize edilmiş oktanol hacmi başına oktanol içinde çözülmüş SVOC kütlelerine karşılık gelir (birimsiz); ρ_{dust} yer tozunun yoğunluğu (g/m^3).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Okullarda Yer Tozu PBDE Derişimleri

İzmir'deki kentsel, yarı-kentsel ve kırsal alanlardaki okullarda yer tozu PBDE derişimleri ölçülmüştür. İç mekan toz örneklerinde ortalama $\Sigma_8\text{BDE}$ derişimi 2393 ng/g olarak belirlenmiştir. BDE-209, $\Sigma_8\text{BDE}$ içinde % 89,8 ile iç ortam yer tozu örneklerinde en baskın türdeş olmuştur. BDE-47 ve -153 türdeşlerinin $\Sigma_8\text{BDE}$ içindeki oranları sırasıyla % 3,81 ve % 5,26 olarak bulunmuştur. Diğer BDE türdeşlerinin oranları ise <%1 olduğu görülmüştür.

Örneklerde BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 ortalama derişimleri sırasıyla 0,55; 91,2; 11,4; 0,63; 126; 1,03; 13,3 ve 2149 ng/g olarak belirlenmiştir. Örneklerle ilgili tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2'de gösterilmektedir. BDE-209, tüm iç ortam yer tozu numunelerinde ($n=21$), 435 – 8079 ng/g aralığında belirlenmiştir (ortanca derişim 1679 ng/g). BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154 ve -183'ün örneklerde tespit edilme sıklığı sırasıyla 6/21, 10/21, 5/21, 14/21, 19/21, 8/21 ve 13/21 olmuştur. BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154 ve -183'ün derişim aralığı sırasıyla 0,07-1,60; 1,61-173; 1,47-22,4; 0,12-1,83; 1,30-650; 0,58-1,50 ve 0,10-41,5 ng/g olarak belirlenirken, aynı türdeşlerin ortanca derişimleri sırasıyla 0,38; 131, 11,4; 0,48; 52,9; 1,02 ve 6,82 ng/g olarak bulunmuştur. Örnek büyüklüğü $n \geq 7$ olan türdeşler için Değişkenlik Katsayısı (ortalama değer standart sapmaya oranı) ve ortanca ile ortalamanın değerleri arasındaki fark değerlendirildiğinde BDE-100, -153, -183 ve -209 derişimlerinin muhtemelen sağa kayık dağılım göstermeleri bazı okullardaki derişimlerin diğerlerine göre epey yüksek düzeylerde olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 2. Okul yer tozunda PBDE konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistikleri (ng/g)

BDE'ler	n	Ortalama	Standart Sapma	Değişkenlik Katsayısı	Minimum	Ortanca	Maksimum
BDE-28	6	0,55	0,59	1,06	0,07	0,38	1,60
BDE-47	5	91,2	81,4	0,89	1,60	131	174
BDE-99	14	11,4	6,20	0,55	1,47	11,4	22,4
BDE-100	10	0,63	0,56	0,89	0,12	0,48	1,83
BDE-153	19	126	166	1,32	1,30	52,9	650
BDE-154	8	1,03	0,32	0,31	0,58	1,02	1,50
BDE-183	13	13,3	16,1	1,21	0,10	6,82	41,5
BDE-209	21	2149	1760	0,82	435	1679	8079

3.2. Kentleşme Seviyesi ve Yer Tozu PBDE Konsantrasyonları

Örneklenen okullar, buldukları yerin kentsel, yarı-kentsel ve kırsal olarak üç farklı kentleşme seviyesine göre seçilmiştir. Kentleşme seviyelerine göre sınıflandırılmış PBDE derişimlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3-5'te gösterilmektedir. BDE-209 türdeşi, % 92,3'lük toplam katkısı ile kırsal bölgelerden alınan örneklerde toplam BDE derişimlerinde baskın türdeş olmuştur. Kırsal örneklerde BDE-153'ün toplam konsantrasyona katkısı % 6,80 iken, diğer BDE türdeşlerinin % 1'den çok daha düşük seviyelerde bulunduğu belirlenmiştir. Kırsal alan örneklerinde BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 derişimlerinin aralığı sırasıyla 0,15-0,61; 1,61-1,61; 1,47-15,54; 0,15-1,83; 6,56-650; 0,58-1,32; 1,41-41,5 ve 435-8079 ng/g olarak belirlenmiştir. Ortalama BDE-28, -47, -99, -100, -153, -

154, -183 ve -209 derişimleri ise sırasıyla 0,38; 1,61; 9,29; 0,76; 217; 0,98; 16,3 ve 2944 ng/g olarak belirlenmiştir. PBDE'lerin iç ortam konsantrasyonları, rutin temizlik sıklığından ve kaynak yoğunluğundan etkilenebilmektedir [5]. Ticari penta-BDE ürünlerinin BDE-47/-99 oranı genel olarak 0,8-1,0 arasında değişmektedir [9, 10]. İzmir'in kırsal bölgelerinde iç ortamlardan alınan yer tozu örneklerinde ortalama BDE-47/-99 oranı 0,17 olarak belirlenmiştir. Bu sebeple iç ortam yer tozunda BDE konsantrasyonlarının ticari penta-BDE ürünlerinden kaynaklanmadığı değerlendirilebilir. Ticari dekabromodifenil eter karışımında (deka-BDE) BDE-209 % 97–98 oranında, nona ve okta-bromlu difenil eterler % 2–3 oranında bulunmaktadır [11]. Yüksek BDE-209 seviyeleri ve brom içeriği düşük olan türdeşlerin konsantrasyonlarının nispeten az olması ve iç ortamda BDE kaynaklarının ticari deca-BDE'ler olduğunun bir göstergesi olabilir. İngiltere'de yapılan bir çalışmada iç ortam toz örneklerinde tespit edilen BDE-209 diğer BDE türdeşleri içerisinde en fazla tespit edilen olmuştur. Bu durumun BDE-209'un diğer türdeşlerine göre daha geç kısıtlanmasından ve yaygın kullanım alanından kaynaklandığı değerlendirilmiştir [12]. Ayrıca, İzmir'in kuzeyindeki okullarda daha yüksek BDE konsantrasyonlarının görülmesi bu okulların endüstriyel faaliyetlere yakınlığı ile ilgili olabilir. BDE-209, partikül fazında atmosferik taşınmaya uğrayarak hakim rüzgar yönünde bulunan bölgelerde birikimine yol açabilir [13]. İç mekan havasında asılı partiküllerin yarısının dış havadan kaynaklanması [14] ve iç hava PM derişimleri ile yer tozu konsantrasyonları arasında belirlenen yüksek bağıntı, iç ortamda yer tozu kaynağının dış hava olduğu anlamına gelmektedir [15]. Bu nedenle, yakındaki endüstriyel emisyonlar, buraya yakın okullarda yüksek iç ortam yer tozu PBDE konsantrasyonları ile karşılaşmış olmamızın sebeplerinden biri olabilir [16].

Tablo 3. Kırsal alan okulları yer tozunda PBDE konsantrasyonu (ng/g) tanımlayıcı istatistikleri

BDE	n	Ortalama	Standart Sapma	Değişkenlik Katsayısı	Minimum	Ortanca	Maksimum
BDE-28	2	0,38	0,33	0,87	0,15	0,38	0,61
BDE-47	1	1,61	--	--	1,61	1,61	1,61
BDE-99	4	9,29	6,00	0,65	1,47	10,1	15,5
BDE-100	3	0,76	0,93	1,22	0,15	0,31	1,83
BDE-153	6	217	258	1,19	6,56	100	650
BDE-154	4	0,98	0,31	0,31	0,58	1,02	1,32
BDE-183	6	16,3	18,3	1,12	1,41	7,14	42
BDE-209	7	2944	2696	0,92	435	2130	8079

İzmir'in yarı-kentsel bölgelerindeki okullardan alınan iç ortam yer tozu örneklerinde BDE-47 tespit edilmezken, ortalama BDE-28, -99, -100, -153, -154, -183 ve -209 konsantrasyonları sırasıyla 0,84; 15,5; 0,58; 86,7; 1,01; 14,9 ve 2026 ng/g olarak belirlenmiştir. Bu BDE bileşiklerinin konsantrasyonları sırasıyla 0,07-1,60; 11,0-21,9; 0,15-1,22; 9,45-237; 0,73-1,50; 0,53-35,8 ve 695-3878 ng/g aralıklarında değişmiştir. İç ortam yer tozunda en yüksek PBDE konsantrasyonları ile Teknik Meslek Liselerinde (TML) karşılaşılmıştır. İki TML'nde BDE-209 konsantrasyonları sırasıyla 3878 ve 3313 ng/g olarak belirlenmiş; bir okulun İzmir'in kuzeyinde diğerinin güneyinde olması; bu iki okulu takip eden düzeylerin (1859 ve 1679 ng/g) yine İzmir'in kuzeyinde gözlenmiş olması; en düşük seviyenin (695 ng/g) ise İzmir'in güneyindeki bir düz lisede belirlenmiş olması; Aliğa endüstriyel bölgesindeki emisyonların etkisini, ancak bundan da önemli etkinin TML'ndeki gibi iç kaynaklardan görülebileceğine işaret etmektedir. Yarı-kentsel alandaki okullardan alınan yer tozu örneklerinde BDE-209'u BDE-153 takip etmiş, toplam konsantrasyona katkılarının sırasıyla % 94,4 ve % 4,04 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Yarı-kentsel okulları yer tozunda PBDE konsantrasyonu (ng/g) tanımlayıcı istatistikleri

BDE'ler	n	Ortalama	Standart Sapma	Değişkenlik Katsayısı	Minimum	Medyan	Maksimum
BDE-28	2	0,84	1,08	1,29	0,07	0,84	1,60
BDE-47	0	--	--	--	--	--	--
BDE-99	4	15,5	4,65	0,30	11,0	14,5	21,9
BDE-100	4	0,58	0,45	0,78	0,15	0,48	1,22
BDE-153	6	86,7	99,2	1,14	9,45	37,2	237
BDE-154	3	1,01	0,43	0,42	0,73	0,80	1,50
BDE-183	3	14,9	18,6	1,25	0,53	8,30	35,8
BDE-209	7	2026	1144	0,56	695	1679	3878

İzmir kentsel alan okullarından alınan iç ortam yer tozu örneklerinde, BDE-28, -47, 100, -99, -154, -153, -183 ve -209'un ortalama derişimleri sırasıyla 0,44; 114; 10,0; 0,56; 81,6; 1,28; 7,54 ve 1476 ng/g olarak belirlenmiştir. Kentsel bölgeden alınan örneklerde BDE-209'un toplam derişime katkısının % 87,3 olduğu belirlenmiştir. Aynı örnek grubunda BDE-47 ve -153'ün toplam konsantrasyona katkısı sırasıyla % 6,71 ve % 4,82'dir. Hedeflenen diğer BDE türdeşlerinin derişime toplam katkısı % 1'den daha düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek BDE-47 derişimleri, ortalama 114 ng/g ile kentsel alanda tespit edilirken, yarı-kentsel alandan alınan örneklerde BDE-47 türdeşi tespit edilmemiş ve kırsalda sadece bir örnekte tespit edilmiştir. Yasaklanmalarından önce toplam tüketimin % 37'sini kapsayan ticari penta-BDE ürünlerinin temel BDE bileşenleri BDE-47 ve -99'du [17]. Bununla birlikte, BDE-47, daha yüksek buhar basıncı nedeniyle BDE-99'dan daha uçucudur. Daha yüksek BDE-47 derişimleri, ticari penta-BDE içerikli ürünlerden buharlaşma ve yer tozunun organik yüzeylerine tutunması ile açıklanabilir. İzmir'in kentsel alan okulları yer tozu örneklerinde ortalama BDE-47/-99 oranı 11,3 olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Kentsel alan okulları yer tozunda PBDE derişim (ng/g) tanımlayıcı istatistikleri

BDE'ler	n	Ortalama	Standart Sapma	Değişkenlik Katsayısı	Minimum	Ortanca	Maksimum
BDE-28	2	0,44	0,44	1,01	0,13	0,44	0,76
BDE-47	4	114	74,1	0,65	5,77	137	174
BDE-99	6	10,0	6,81	0,68	3,49	8,54	22,4
BDE-100	3	0,56	0,46	0,82	0,12	0,53	1,04
BDE-153	7	81,6	83,8	1,03	1,30	53,0	223
BDE-154	1	1,28	--	--	1,28	1,28	1,28
BDE-183	4	7,54	13,7	1,81	0,10	1,01	28,0
BDE-209	7	1476	686	0,46	543	1339	2291

İç ortam yer tozu PBDE derişimlerinin literatür karşılaştırması Tablo 6'da gösterilmektedir. BDE-209, yasaklanmadan önceki yüksek üretim hacmi ve bozunmadan uzun süre kalıcı olması tüm örneklerde baskın türdeş olarak bulunmasının sebebi olabilir. İç ortam yer tozunda PBDE derişim profili, önceki çalışmamızda incelediğimiz teknik servisten alınan örneklerdekine benzerdir [5]. Kentsel bölgeden alınan örneklerde BDE-47 derişimleri İstanbul'da ev ve ofislerde ölçülen düzeyler [6] ile benzer iken bu çalışmamızda diğer PBDE türdeşleri daha yüksek düzeylerde gözlenmiştir. Uluslararası düzeyde PBDE analizi için yer tozunda yapılan birçok çalışma olması sebebiyle yalnızca okullardan alınan veriler incelenmiştir. Çalışmamızda yer tozu örneklerinde ölçülen BDE-28, -99 ve -153 düzeyleri Nijerya'da yapılan çalışmada Lagos şehrindeki (kentsel alan) 10 okuldan alınan yer tozu örneklerindekiyle benzer düzeydedir [18]. İzmir'deki ortalama BDE-209 derişimi Avustralya'nın kentsel özellikler taşıyan Brisbane şehrine ait ilkokullarından dört kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir [3]. Kore'de yapılan bir çalışmada 24 adet okuldan (endüstriyel, kentsel ve yarı-kentsel alan) alınan

yer tozu örneklerinde BDE-28, -47, -99, -100, -154 ve -183 türdeşleri çalışmamız ile yakın değerler göstermektedir. İngiltere'nin kentsel özellikler gösteren bölgesinde bulunan gündüz çocuk bakım merkezleri ve ilkokullarından alınan yer tozu verilerine göre BDE-28 ve -154 türdeşleri çalışmamızdaki verilere benzer değerler gösterirken BDE-99 ve -209 çalışmamızdaki düzeylerden yaklaşık 3 kat yüksek bulunmuştur.

Tablo 6. Literatürde bildirilen iç ortam yer tozu ortalama PBDE derişimleri (ng/g)

Yer	BDE -28	BDE -47	BDE -99	BDE -100	BDE -153	BDE -154	BDE -183	BDE -209	Kaynak
İzmir (kırsal)	0,38	1,61	10,1	0,31	100,1	1,02	7,14	2130	Bu çalışma
İzmir (yarı-kentsel)	0,84	-	14,48	0,48	37,24	0,81	8,30	1679	Bu çalışma
İzmir (kentsel)	0,44	137,38	8,54	0,53	53,0	1,28	1,02	1339	Bu çalışma
İzmir (Türkiye)	4,62	15,4	18,1	5,79	71	2,62	23,5	1549	[5]
İstanbul (Türkiye)	0,12	61,8	34,1	2,37	26,2	0,12	20,9	573,8	[6]
Kocaeli (Türkiye)	0,24	2,55	3,07	0,92	0,57	0,46	5,91	127,6	[7]
Lagos (Nijerya)	2,1	0	2,82	7,6	2,17	9,98	19,4	4,14	[18]
Avustralya	1	40,4	91	-	11,9	5,9	4,7	216,8	[3]
Kore	0,297	4,09	6,44	1,16	3,81	1,88	13,3	136	[19]
İngiltere	<1	26	36	6,6	10	2,8	1,2	5000	[20]

3.3. Gaz Fazı BDE Derişimleri

Yer tozu örneklerinde ölçülen derişimlerinden faydalanılarak hesaplanan gaz fazı PBDE derişimleri Tablo 7'de sunulmuş ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Model girdilerinde değişkenlik gösteren tek parametre yer tozu PBDE derişimleri olduğu için, modellenen derişim profili yer tozu derişimleri ile paralellik göstermektedir. Yer tozu örneklerine benzer olarak, BDE-209 derişimleri gaz fazında da baskın BDE türdeşi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kırsal, yarı-kentsel ve kentsel bölgelerdeki okullarda modellenen iç ortam BDE-209 derişimleri sırasıyla 6736, 5308 ve 4235 pg/m³ olarak belirlenmiştir. Modellenen iç ortam gaz fazı derişimleri özellikle BDE-209 için yüksek maruziyet seviyelerinin bir göstergesi olması nedeniyle, çocukların vücut ağırlıklarına göre yüksek olan solunum hacimleri, okullarda meydana gelen maruziyetlerin ciddi sağlık etkilerine yol açabileceğine işaret etmektedir. Wisconsin'de 38 ayrı evde yapılan çalışmada ölçülen BDE-47 derişimi, çalışmamızda modellenen kırsal bölgeden alınan örneklerden daha yüksek kentsel bölge örneklerine göre düşüktür. BDE-99 derişimi, çalışmamızdaki verilere yakın sonuçlar gösterirken BDE-100 derişimleri kırsal, yarı-kentsel ve kentsel bölgeden alınan verilerden yüksek olarak belirlenmiştir. Michigan'da 12 evden alınan toz örneklerinden hesaplanan BDE-28, -47, -99 ve -100 iç hava derişimleri çalışmamızda ölçülenlerden yüksek iken BDE-153 ve -154 daha düşüktür. Almanya'da yapılan bir çalışmada evlerde ölçülen BDE-28 ve -100 derişimleri ise yakın düzeylerde; BDE-47 konsantrasyonları da kırsal alandaki okullarda ölçtüğümüze benzer seviyelerdedir. Diğer PBDE türdeşleri çalışmamızda daha yüksek derişimlerde belirlenmiştir. Stockholm'deki bir çalışmada, BDE derişimleri çalışmamıza göre düşük belirlenirken, kırsaldaki BDE-47 ile benzerlik göstermektedir. İzmir'de bilgisayar teknik servisinde yapılan önceki çalışmamızda ölçülen BDE-28, -99 ve -100 derişimleri benzerlik gösterirken BDE-47 (kırsal), -153, -183 ve -209 önceki çalışmamıza göre daha düşük konsantrasyonlarda belirlenmiştir. Gaz fazı derişimlerinin tahmin edilmesi için kullanılan modelin verdiği sonuçlar ile analiz sonucu elde edilen derişimlerin logaritmik skaladaki değerleri arasında doğrusal regresyon yapıldığında R² değerinin 0,86 olduğu bulunmuştur [21, 22].

Tablo 7. Şehirleşme düzeyine göre hesaplanan ortalama Cg (gaz faz derişimi, pg/m³) verilerinin literatür ile karşılaştırılması

BDE Türdeşleri	İzmir (Kırsal), Türkiye*	İzmir (Yarı-Kentsel), Türkiye*	İzmir (Kentsel), Türkiye*	Wisconsin, ABD [23]	Michigan, ABD [24]	Almanya [25]	Stokholm, İsveç [26]	İzmir, Türkiye [5]
BDE-28	1,20	2,65	1,40		140	4,21		16-29**
BDE-47	5,08		434	200	1200	9,39	<13	18-32**
BDE-99	31,9	45,8	27,0	37	140	2,65	<13	12-18**
BDE-100	0,98	1,50	1,69	16	31	0,54		4,0-5,0**
BDE-153	316	118	167		0,30	0,27	<12	13-20**
BDE-154	3,22	2,55	4,03		0,20	0,20	<4,2	
BDE-183	22,6	26,3	3,21			0,44		0,8-0,2**
BDE-209	6736	5308	4235			9,50	<31	1077-1487**

* : Bu çalışma

** : Minumum-maksimum

4. SONUÇ

İzmir'de kentsel, yarı-kentsel ve kırsal alanda bulunan ilkököl, ortaokul ve lise düzeyindeki okulların sınıflarından toplanan yer tozu örneklerinde BDE-209 türdeşi, Σ_8 BDE derişimi içinde baskınlık göstermiştir. Bu türdeşi BDE-153 ile kırsal ve yarı-kentsel alandaki okullarda gözlenmemiş olmakla birlikte BDE-47 takip etmiştir. Organik yüzeyler, yüksek oktanol-hava dağılım katsayısı nedeniyle PBDE'ler için bir depolama yüzeyi olarak davranırlar. Bu nedenle, çökelmiş/yer tozu iç ortamlarının birikmesi için bir depo görevi görebilir. Şehirleşme seviyesi yükselirken okulların temizlik seviyesinin de artış gösterdiği gözlenmiştir. Dolayısıyla, önemli bir kaynak olduğu bilinen endüstriyel alana yakınlık ve iç kaynakların şiddeti yanında temizlik sıklığı da belirleyici bir değişken olabilir. Ölçülen görece yüksek derişim düzeyleri gaz faz konsantrasyonlarının da yüksek olabileceğine, dolayısıyla hem sindirim hem de solunum yolu düşünüldüğünde çocuklar için okulların önemli bir maruziyet iç çevresi olabileceği değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 118Y142 nolu proje kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] DARNERUD PO, ERIKSEN GS, JÓHANNESSON T, LARSEN PB, VILUKSELA M. Polybrominated diphenyl ethers: Occurrence, dietary exposure, and toxicology. Environ Health Perspect 2001;109:49–68. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s149>.
- [2] ADEYI AA, AKANMU FR, BABALOLA BA, AKPOTU SO. Levels of polybrominated diphenyl

- ethers (PBDEs) in indoor dusts in Lagos and Ibadan, Nigeria. *Microchem J* 2020;158:105132. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105132>.
- [3] TOMS LML, MAZAHARI M, BROMMER S, CLIFFORD S, DRAGE D, MUELLER JF, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in dust from primary schools in South East Queensland, Australia. *Environ Res* 2015;142:135–40. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.007>.
- [4] MOYA J, PHILLIPS L, SCHUDA L, WOOD P, DIAZ A, LEE R, et al. Exposure factors handbook: 2011 edition. US Environ Prot Agency 2011.
- [5] GENISOGLU M, SOFUOGLU A, KURT-KARAKUS PB, BIRGUL A, SOFUOGLU SC. Brominated flame retardants in a computer technical service: Indoor air gas phase, submicron (PM1) and coarse (PM10) particles, associated inhalation exposure, and settled dust. *Chemosphere* 2019;231:216–24. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.077>.
- [6] KURT-KARAKUS PB, ALEGRIA H, JANTUNEN L, BIRGUL A, TOPCU A, JONES KC, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative flame retardants (NFRs) in indoor and outdoor air and indoor dust from Istanbul-Turkey: Levels and an assessment of human exposure. *Atmos Pollut Res* 2017;8:801–15. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.01.010>.
- [7] BASARAN B, CIVAN MY. Investigating of primary components and source apportionment of persistent organic pollutants of indoor dust. *Int J Environ Sci Technol* 2020:1–16.
- [8] OZKALELI AKCETIN M, GEDIK K, BALCI S, GUL HK, BIRGUL A, KURT KARAKUS PB. First insight into polybrominated diphenyl ethers in car dust in Turkey: concentrations and human exposure implications. *Environ Sci Pollut Res* 2020;27:39041–53. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09905-8>.
- [9] HAZRATI S, HARRAD S, ALIGHADRI M, SADEGHI H, MOKHTARI A, GHARARI N, et al. Passive air sampling survey of polybrominated diphenyl ether in private cars: implications for sources and human exposure 2010.
- [10] TIAN S, ZHU L, LIU M. Bioaccumulation and distribution of polybrominated diphenyl ethers in marine species from Bohai Bay, China. *Environ Toxicol Chem* 2010;29:2278–85.
- [11] Organization WH. Environmental health criteria 160. *Ultrav Radiat* 1994.
- [12] GreenPeace UK. Consuming Chemicals: Hazardous chemicals in house dust as an indicator of chemical exposure in the home 2003.
- [13] GOUIN T, THOMAS GO, CHAEMFA C, HARNER T, MACKAY D, JONES KC. Concentrations of decabromodiphenyl ether in air from Southern Ontario: Implications for particle-bound transport. *Chemosphere* 2006;64:256–61.
- [14] National Academies of Sciences and Medicine E. Health risks of indoor exposure to particulate matter: workshop summary. National Academies Press; 2016.
- [15] RASMUSSEN PE, LEVESQUE C, CHÉNIER M, GARDNER HD. Contribution of metals in resuspended dust to indoor and personal inhalation exposures: Relationships between PM10 and settled dust. *Build Environ* 2018;143:513–22.
- [16] ODABASI M, BAYRAM A, ELBIR T, SEYFIOGLU R, DUMANOGLU Y, BOZLAKER A, et al. Electric arc furnaces for steel-making: hot spots for persistent organic pollutants. *Environ Sci Technol* 2009;43:5205–11.
- [17] ALCOCK RE, SWEETMAN AJ, PREVEDOUROS K, JONES KC. Understanding levels and trends of BDE-47 in the UK and North America: an assessment of principal reservoirs and source inputs. *Environ Int* 2003;29:691–8.
- [18] ADEYI AA, AKANMU FR, BABALOLA BA, AKPOTU SO. Levels of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in indoor dusts in Lagos and Ibadan, Nigeria. *Microchem J* 2020;158:105132.
- [19] HAMED MM, AHMED IM, METWALLY SS. Adsorptive removal of methylene blue as organic pollutant by marble dust as eco-friendly sorbent. *J Ind Eng Chem* 2014;20:2370–7. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.015>.
- [20] HARRAD S, GOOSEY E, DESBOROUGH J, ABDALLAH MA-E, ROOSENS L, COVACI A. Dust from UK primary school classrooms and daycare centers: the significance of dust as a pathway of exposure of young UK children to brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls. *Environ Sci Technol* 2010;44:4198–202.
- [21] LIAGKOURIDIS I, COUSINS IT, COUSINS AP. Emissions and fate of brominated flame retardants in the indoor environment: a critical review of modelling approaches. *Sci Total Environ* 2014;491:87–99.
- [22] WESCHLER CJ, NAZAROFF WW. SVOC partitioning between the gas phase and settled dust

- indoors. Atmos Environ 2010;44:3609–20. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.029>.
- [23] IMM P, KNOBELOCH L, BUELOW C, ANDERSON HA. Household exposures to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in a Wisconsin Cohort. Environ Health Perspect 2009;117:1890–5.
- [24] BATTERMAN SA, CHERNYAK S, JIA C, GODWIN C, CHARLES S. Concentrations and emissions of polybrominated diphenyl ethers from US houses and garages. Environ Sci Technol 2009;43:2693–700.
- [25] FROMME H, KÖRNER W, SHAHIN N, WANNER A, ALBRECHT M, BOEHMER S, et al. Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany. Environ Int 2009;35:1125–35.
- [26] NEWTON S, SELLSTRÖM U, DE WIT CA. Emerging flame retardants, PBDEs, and HBCDDs in indoor and outdoor media in Stockholm, Sweden. Environ Sci Technol 2015;49:2912–20.

ÖZGEÇMİŞ

Özge EDEBALİ

1994 yılı İzmir doğumludur. 2017 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Yüksek lisansına İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde 2018 yılında başlamıştır. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmekte olup iç hava kirliliği, hava kirliliği ve kalıcı organik kirleticilere maruziyet konularında çalışmaktadır.

Mesut GENİŞOĞLU

Lisans ve yüksek lisans derecelerini Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden almıştır. 2016 yılından beri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde doktoraına devam etmekte ve araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Dezenfeksiyon yan ürünleri, iç ortam kirleticileri, organik ve inorganik kirleticilere maruziyet ve sağlık riskleri konularında çalışmaktadır.

Aysun SOFUOĞLU

İTÜ Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora derecelerini sırasıyla Wisconsin Üniversitesi-Madison ve Illinois Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümlerinden aldı. 2000 yılında, İYTE Kimya Mühendisliği Bölümü'nde başladığı öğretim üyeliği görevine, Prof.Dr. ünvanı ile devam etmektedir. Hava kirliliği, iç hava kirliliği, kalıcı organik kirleticilerin taşınımı, kuru birikim ve hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkileri konularında araştırmalar yürütmekte ve dersler vermektedir.

Cafer TURGUT

Hohenheim Üniversitesi (Stuttgart, Almanya) Ziraat ve Çevre Fakültesi'nden mezun olduktan sonra, aynı üniversitede yüksek lisans ve Ekotoksikoloji bölümünde doktoraını tamamlamıştır. 2004 yılından beri Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Pestisit toksikolojisi, modellenmesi ve riskleri konularında yanında KOK'lar üzerinde çalışmaları yürütmekte ve dersler vermektedir.

Sait Cemil SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'den mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktoraını Illinois Institute of Technology'den aldı. Halen, İYTE Çevre Mühendisliği bölümünde Prof.Dr. ünvanı ile çalışmakta, iç hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet – risk değerlendirme konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.



BIM PLATFORMU VE DİJİTAL KÜTÜPHANELER

BIM Platform And Digital Libraries

Serkan Elibollar

ÖZET

Bu çalışmada, BIM altyapısının en temel bileşeni olan BIM objesi / akıllı eleman / dijital ürün kavramı ile ilgili genel bilgi verilecek, sektörün mekanik tesisat özelinde bu dijital ürünlerden beklentileri belirtilecek, dolayısıyla BIM altyapısı kurulurken kütüphanelerin önemi vurgulanacak ve dünyadaki konu hakkında gelişmeler için bilgi verilecektir. BIM altyapısında çalışan tasarım ve imalat firmalarından farklı olarak üreticiler için bu çalışmaların öneminden bahsedilecektir.

Anahtar Kelimeler: BIM, BIM Objesi, Dijital Ürün, Akıllı Eleman, BIM Kütüphanesi.

ABSTRACT

In this study, the purpose is to give general information about the BIM object / smart element / digital product concept, the basic component of the BIM infrastructure, to list the expectations of the sector from these digital products specifically for mechanical installations, to mention the importance of libraries when establishing the BIM infrastructure and to examine the development in the world. Unlike design and construction companies working in BIM infrastructure, the importance of these studies for manufacturers will be mentioned.

Key Words: BIM; BIM Object, Digital Product, Smart Elements, BIM Library.

1. BIM KAVRAMI

BIM, sektörde zaman zaman yanlış bir şekilde, bir yazılım kullanmak veya 3 boyut modelleme yapılması olarak tarif edilmektedir ve bu şekilde uygulanmaya çalışılmaktadır. Fakat BIM, sadece 3 boyutlu modelleme yazılımı kullanmak değildir, aynı zamanda yeni bir düşünme yolunun sektörümüzde uygulanmasıdır. Diğer bir tarif ile; BIM tek bir kaynak dosyada akıllı elemanlar içeren bir yapının sanal modellemesidir ve ekip üyeleri arasında paylaşıldığı zaman, iletişim ve işbirliğini arttırmayı amaçlar. Dolayısı ile sadece 3 boyutlu modelleme yapmak değil, bu modelleme yapılırken ihtiyaç duyacağımız bilgileri içeren akıllı elemanların kullanılması gerekmektedir, bir veritabanı yönetimidir. Ayrıca departmanların sanal modellemeyi aynı model üzerinde çalışıyor olması ve iletişim ile işbirliğini artırıyor olması esastır.

BIM altyapısında çalışmak isteyen firmalar veya projelerin kullanacağı yazılımdan önce çalışma sistemlerindeki değişikliği kabul etmeleri gerekmektedir. Sektörde BIM süreçlerinde kullanılabilecek bir çok yazılım mevcuttur fakat BIM diye bir yazılım yoktur. BIM süreçlerine uygun olan yazılımları kullanıyor olmak tek başına BIM sisteminin uygulandığı anlamını da taşımamaktadır. Bu yazılımların BIM süreçleri ve anlayışı çerçevesinde kullanılması ancak verimli bir BIM uygulamasını ortaya çıkaracaktır.

Sadece yazılımları kullanmak ve süreçleri doğru tarif ederek BIM sistemine geçilebileceğini kabul etmek de yeterli olmayacaktır. Sürekli olarak bu sistem dahilinde üretim yapıyor olmak ve iyileştirici faaliyetlerde bulunmak gerekecektir. Ayrıca teknolojiye direkt etkilenen bir sistem olduğundan, sürekli olarak kendinizi, firmanızı ve sisteminizi güncel tutmanız ve geliştirmeniz gerekecektir.

BIM tanımının en yaygın kullanılanları:

BIM, bilgi alışverişi ve birlikte çalışmayı kolaylaştırmak için bina yapım sürecinin 3 boyutlu ve dijital olarak temsil edilmesidir (Charles Eastman , 1999).

BIM, yapının fiziksel ve fonksiyonel özelliklerinin dijital olarak temsil edilmesidir. Yapının yaşam boyu döngüsü boyunca alınacak kararlar için güvenilir bir bilgi kaynağıdır. (NBIMS)

BIM bina modellerini üretmek, model üzerinden iletişim kurmak ve analiz yapmak için kullanılan modelleme teknolojisi ve ilgili prosedürlerdir. (BIM Handbook (2011))

2. BIM OBJESİ / AKILLI ELEMAN / DİJİTAL ÜRÜN KAVRAMI

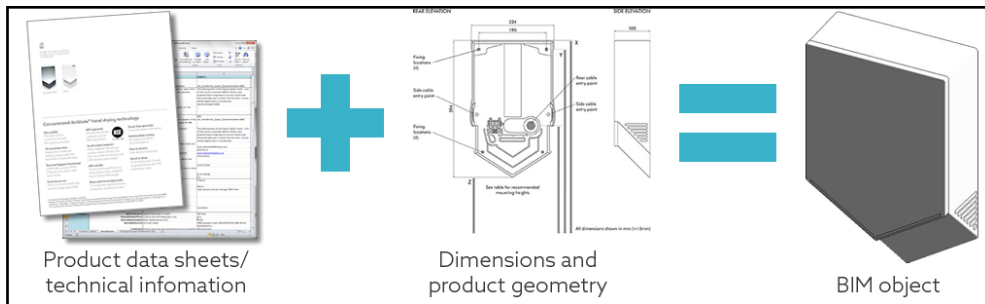
Sektörde yaygın olarak BIM objesi, akıllı eleman, dijital ürün vb. birçok terimin bu kavramı tarif etmek için kullanıldığını görüyoruz.

BIM sisteminin başarılı olarak kurulması ve işlemesi için ilk gereklilik doğru altyapıya sahip bir modelin hazırlanmasıdır. Yapılan modelleme ne kadar doğru ise ve ne kadar kullanılabilir bilgiler içerirse BIM sisteminin planlanan aşamaları ve kullanımları o oranda daha doğru çalışacaktır. Modellemenin doğru olarak yapılmasında en önemli etkenlerden birisi, kullanılacak olan model elemanlarının (BIM objelerinin, akıllı elemanların, dijital ürünlerin) doğru içerikte olmasıdır.

BIM dünyada yaygınlaşırken, sektörün tüm taraflarının bu konuda güncellenmesine ihtiyaç vardır. BIM altyapısında çalışan bütün proje paydaşlarının, hedeflerine ulaşmak için oluşturduğu ilave talep, modeli oluşturacak akıllı elemanların, proje hedeflerine ulaşabilecekleri detayda temin edilmesidir. Bu talebi ürünü en iyi tanıyan, geliştiren, ürün hakkındaki gerekli bilgiyi ve görselleri en iyi iletebilecek taraf olarak üreticiler karşılmalıdır.

Günümüzde birçok uluslararası üretici, ürünlerinin dijital temsillerini, akıllı elemanlarını yayımlamaktadırlar. Bunlar çeşitli formatlarda internet üzerinden ücretsiz olarak temin edilmektedir. Üreticiler tarafından yayımlanan bu ürünlere ait akıllı elemanlar, ürünler hakkında detaylı katalog bilgilerini, metraj alınmasında, teknik hesaplamalarda veya satınalma aşamasında faydalı olan birçok bilgiyi içermektedir. Doğru ve gerçekçi ölçüleri ile yapılan modeller sayesinde koordinasyon sorunlarının tespitinde çok önemli faydalar sağlanmaktadır.

BIM objesi, akıllı eleman, grafik olarak temsil edilen ve parametre adı verilen ortak özneliklere sahip elemanlar grubudur. Aynı akıllı elemana ait elemanların aldığı bazı parametre değerlerinin bir kısmı veya tamamı farklı olabilir. Bu farklılık akıllı eleman tipleri ile tanımlanmaktadır.



(NBS National BIM Library)

3 boyutlu dijital bir nesnenin, akıllı eleman olabilmesi için, insan ve bilgisayarın söz konusu dijital ürün hakkında benzer yorumlama yeteneğine kavuşması hedeflenmelidir. Aşağıdaki resimdeki kapı örneğinde, son satırda bilgisayar, kapı elemanın duvara eklenmek istendiğinde, onun duvar üzerinde bir açıklık gerektirdiğini bilmeli, kapı elemanın iki mahali birbirinden ayıracağını bilmeli, vs.

BİLGİ MODELİ	ÇIKTI	YORUMLAMA	
		İNSAN	BİLGİSAYAR
Resim bilgi modeli (Taranmış doküman)		Kapı	Pikseller
Çizgisel Bilgi Modeli		Kapı	Çizgiler / Yaylar
Geometrik Bilgi Modeli		Kapı	Yüzeyler / Hacimler
Yapı Bilgi Modeli		Kapı	

3. MEKANİK TESİSAT ÖZELİNDE AKILLI ELEMANLARDAN TEMEL BEKLENTİLERE ÖRNEKLER

Üreticilerin, akıllı eleman hazırlık çalışmalarını yaparken, ürünleri ile ilgili katalog ve görsel bilgilerini vermenin ötesinde, sektörün tüm paydaşlarının, tasarım, müteahhit, yatırımcı, işletmeci vb. firmaların bu konudaki ihtiyaçlarını, akıllı elemanlardan beklentilerini ve bu beklentilerin, inşaat projeleri gelişim aşamalarında nasıl değiştiğini iyi analiz etmesi gerekmektedir. Hazırlık çalışmaları ile ilgili dünyadaki gelişmeleri ve konuya özel uluslararası standartları takip etmesi, muadil ürünlerin ve markaların bu konudaki çalışmalarını incelemesi çok önemlidir. Akıllı elemanlarını hazırlayan birçok firmanın çalışmalarının sektör paydaşları tarafından kullanılmadığı verimsiz örnekler maalesef mekanik tesisat disiplini özelinde de vardır. Doğru yapılan çalışmaların sektörün verimine katkısı çok yüksek olacaktır.

Çalışmalara başlamadan önce dikkat edilmesi gereken en önemli konu, üreticilerimizin hangi ürünleri için bu çalışmanın yapılacağını tespit edilmesi, ürünlerin standart üretilen veya terzi usulü ile üretilen farklı kategorileri için çalışmanın ne şekilde farklılaştırılacağını tespit edilmesi çok önemlidir. Örneğin proje özelinde seçimleri yapılan klima santralleri için, ürün seçim programı ile entegre çalışan bir altyapı kurulması uygun olabilecektir. Ancak seri imalat yapılan bir kanal fanı için yapılması gereken çalışmada tüm ürünlerin ve ya seçilen opsiyonların temsil edildiği çalışmanın tamamlanması uygun olabilecektir.

Seçilen ürünler ile ilgili yapılacak çalışmalarda, proje paydaşlarının beklentileri, standartlar ve diğer kriterler dikkate alınarak ürün gruplarına, alt ürün gruplarına ve tiplerine karar vermek ve dijital ürün kategorizasyonunu iyi tespit etmek gerekmektedir. Örneğin bir fancoil ürünü, tavan tipi, yer tipi, kabinli,

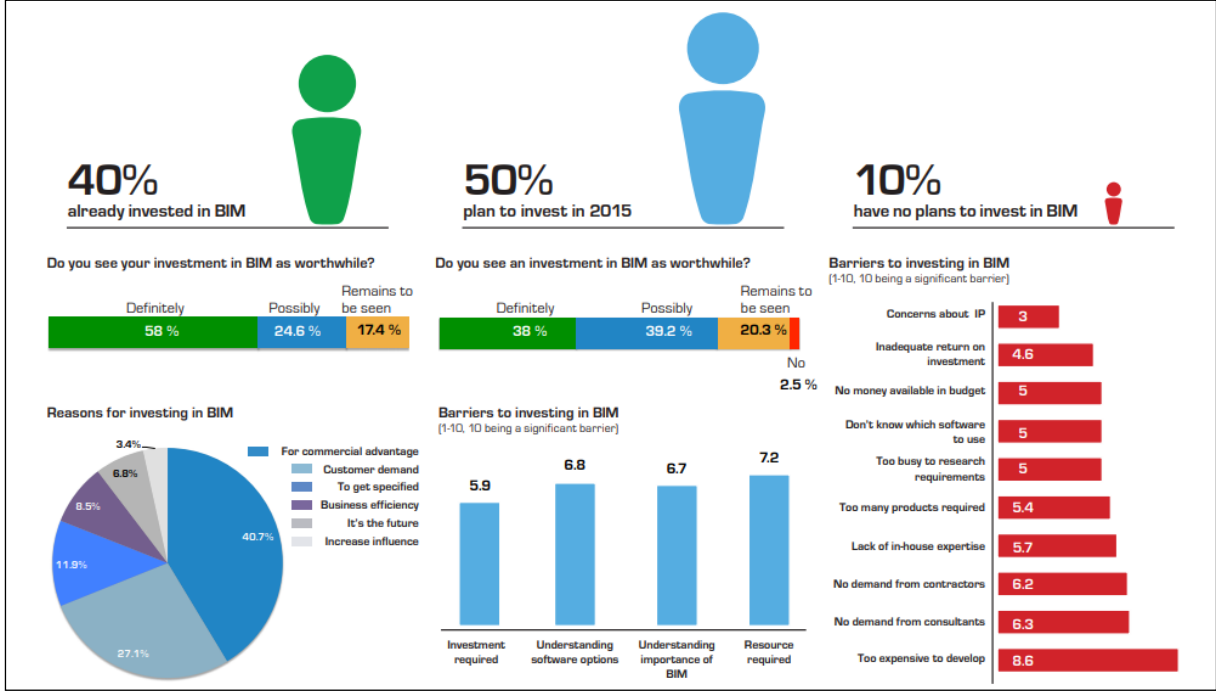
kabinsiz, 2 borulu, 4 borulu, sol veya sağdan boru bağlantılı, akseaurları ile birlikte ve ya hariç, farklı motor seçenekleri ile farklı kasalarda ve modellerde üretilebilmektedir. Tüm bu seçeneklerin uygun bir şekilde kaç akıllı eleman ile temsil edilebileceği tüm altyapı kriterleri ve paydaşların beklentileri doğrultusunda tespit edilmelidir. Yapılan bu kategorizasyon, üreticinin toplam akıllı eleman sayısının belirlenmesini sağlayacaktır. Ürünlerin az sayıda akıllı eleman ile temsil edilmesi, kolay yönetilebilir akıllı eleman sayısının yanında nispeten daha karmaşık bir akıllı eleman altyapısının kurulmasını gerektirecektir. Ürünlerdeki gelişmeler, değişiklikler durumunda anlaşılması, revizyonu, yönetilmesi zor kompleks altyapıların güncellenmesi gerekecektir. Tam tersi düşünülüğünde de, ürünler çok sayıda akıllı eleman ile temsil edildiğinde, basit, yönetimi ve anlaşılması kolay altyapılar kurulacaktır ancak revizyon süreleri çok tekrar sebebiyle uzun olacaktır. Bu konuda bir optimizasyon ve denge kurulması aynı zamanda akıllı eleman dosya büyüklüklerinin planlanması ve proje paydaşlarının bu konudaki beklentilerinin karşılanması anlamında da çok önemlidir.

Doğru kategorize edilen akıllı elemanların bilgi ve görsellik içeriğinin tespit edilmesi önemli bir diğer kriterdir. Katalog verileri, görsel bilgiler, bakım ve kullanım verileri, montaj verileri vb. ürüne ait tüm gerekli bilgiler BIM kullanımlarına ve süreçlerine ve farklı aşamalara uygun seviyede akıllı eleman bünyesinde proje paydaşlarının model bilgi gereksinimlerini temin edebilecek seviyede temsil edilmelidir. Ürünlerin montajı esnasında dikkat edilmesi gereken kuralların, servis boşluklarının, müdahale alanlarının üründe temsil edilmesi yapım öncesi planlama süreçlerinde koordinasyon çalışmalarının sağlıklı tamamlanması ile verimli bir imalat süreci temin edilebilecektir. Tasarım firmalarının çalışmalarını yaptığı model üzerinden bazı hesaplarını yapabilmeleri, revizyonlar sonrasında hesapların bu revizyonlardan nasıl etkilendiğini hızlı belirlemeleri ancak talep ettikleri bilgileri ve fonksiyonları içeren akıllı elemanlar ile çalışmaları durumunda mümkündür. Müteahhit firmalarının sahada imalat için hazırlayacakları 2 boyutlu paftalarda, kullandıkları akıllı elemanların 2 boyutlu görsellerinin ifade edebildiği seviyede ve detayda görseller sayesinde ihtiyaçlarını başarılı ifade edebilecektir.

4. DÜNYADAKİ GELİŞMELER VE ÜRETİCİLER İÇİN ÖNEMİ

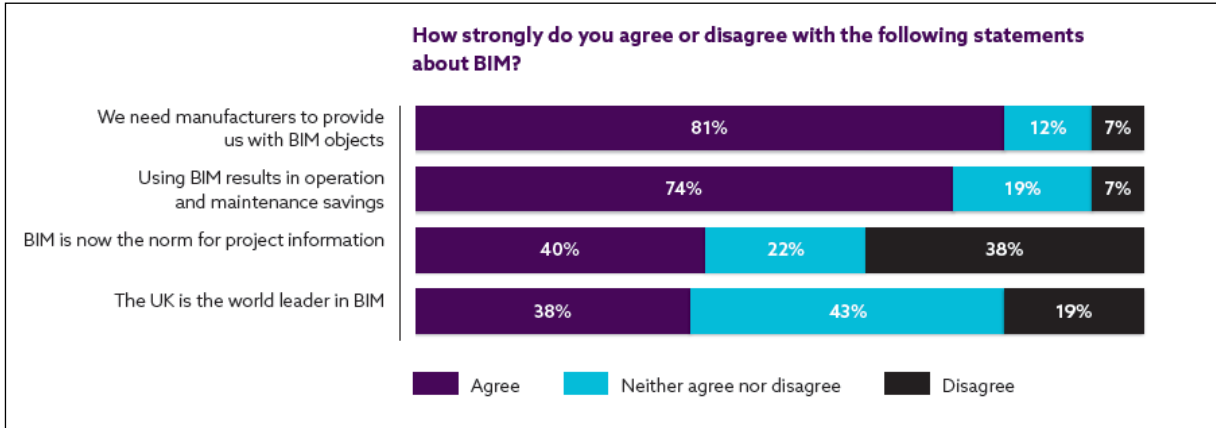
Dünyada giderek yaygınlaşan akıllı eleman çalışmalarının yayımlanması hakkında ülkemiz üreticileri hem çalışmanın yapılması hemde yayımlanması konusunda maalesef henüz istenen seviyede değildir. Üreticilerimizin ürünleri hakkında zaten hazır olan ve ilave çalışmalar ile yayımlanabilecek birçok modelleme bilgisini paylaşması durumunda, modelleme aşamasında bu çalışmaların kullanılması ile bilinirliklerini artırmaları hatta hiç olmadıkları pazarlarda bile yer alma imkanları elde etmeleri sağlanabilecektir. Üreticilerin en iyi pazarlama araçlarından biri olarak kullanabilecekleri akıllı elemanlarının projelerde yer alması için mevcut teknik resimlerinin basit çalışmalar ve doğru bilgiler ile akıllı elemanlara çevrilmesi ve internet üzerinden kullanıma açılması ürünlerinin beklenmedik pazarlara açılması demek olacaktır. Bu konudaki aşağıda listelenen araştırmalar ve istatistik bilgileri, çalışmanın üreticiler için önemini gözler önüne sermektedir.

2015 yılında, BIM4M2 (BIM 4 MANUFACTURERS AND MANUFACTURING) tarafından 188 farklı kişi ve çoğunluğu üretici temsilcisi ile yapılan araştırma sonuçlarına göre, araştırmaya katılan firmaların, %40'ı bu konudaki yatırımını yapmış, %50 si 2015 yılında bu çalışmalarını tamamlamayı hedefliyor ve sadece bu konuda %10'unun herhangi bir planı olmadığını belirtiyor. Aynı araştırmada, katılımcıların bu konuya yatırım sebepleri, bu konuda karşılaştıkları zorluklar hakkında bilgi ve yatırımı yapan firmaların yatırımları hakkında geri dönüş değerlendirmeleri ile ilgili istatistik verileri aşağıdaki görsel detayları ile paylaşılmıştır.



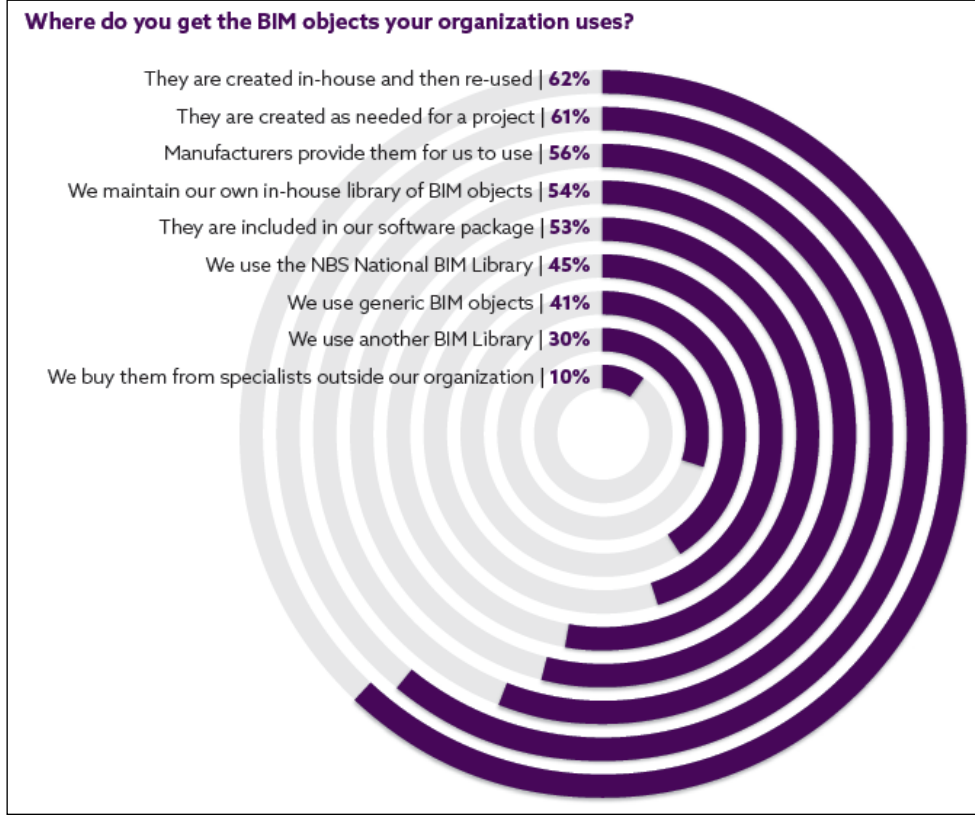
BIM Adoption by Product Manufacturers, BIM 4 Manufacturers and Manufacturing

NBS tarafından periyodik yayımlanan National BIM Report 2020 raporu, yaklaşık 1000 sektör profesyonelinin cevapları ile düzenlenmiştir. BIM kullanımının gelişimi ve etkilerini araştıran ve her yıl konu bazında değişimleri ve eğilimleri raporlayan çalışmada, aşağıdaki görselde de gözüktüğü gibi, araştırmaya katılanların %81'i üreticilerin bu konudaki çalışmalarına ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir.



National BM Report 2020, 10th Annual BIM Report, NBS.

Aynı araştırmanın 2019 yılı yayımlanan raporunda, BIM objelerinin nereden temin edildiği ile ilgili soruya gelen cevaplar, bu konudaki üretici çalışmalarının henüz tamamıyla sektör ihtiyaçlarını karşılamadığını ancak ciddi oranda da üretici çalışmalarının tercih edildiğini görüyoruz.



National BM Report 2019, The definitive industry update, NBS.

KAYNAKLAR

- [1] EASTMAN, C, BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors
- [2] KAZADO, D, <http://bimturkiye.blogspot.com/?m=0>
- [3] NBS National BIM Library, <https://www.nationalbimlibrary.com/en/>
- [4] National Institute of Building Sciences, NBIMS, <https://www.nationalbimstandard.org>
- [5] BIM Adoption by Product Manufacturers, BIM 4 Manufacturers and Manufacturing, Survey conducted July to October 2014 updated 03 February 2015.
- [6] National BM Report 2019, The definitive industry update, NBS.
- [7] National BM Report 2020, 10th Annual BIM Report, NBS.

ÖZGEÇMİŞ

Serkan ELİBOLLAR

1977 yılı Erzurum doğumludur. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Fakültesini bitirmiştir. 2001 yılında Yeditepe Üniversitesinde işletme yüksek lisansını tamamlamıştır. 1998 yılından itibaren mekanik taahhüt sektöründe uluslararası birçok projede farklı pozisyonlarda çalışmıştır. Taahhüt sektöründe Kurumsal Kaynak Planlama ve BIM uygulamaları ile ilgili 2006 yılından itibaren çalışmalar yürütmektedir. 2012 yılından itibaren kurduğu ProCS Mühendislik'te BIM süreçleri ile ilgili sektörün tüm paydaşlarına danışmanlık ve hizmet üretimi çalışmalarını yürütmektedir.



BIM VE DİJİTAL İKİZ

BIM to Digital Twin

Tanju Kılınçarslan

ÖZET

Dijital ikiz, inşaat endüstrisi için fiziksel dünya ile BIM tabanlı dijital dünya arasında bir köprüdür. Fiziksel dünya ve sanal dünya birbirine her zamankinden daha da yakınlaştı. Çeşitli karma gerçeklik çözümlerinin tanıtılmasından sonra, dijital ikizler inşaat sektörünün yeni fütüristik takıntısı haline geldi. 2000'li yılların başında geliştirilen bu konsept, Yapı Bilgi Modellemesinden bile daha avangart bir teknoloji olarak karşımıza çıktı. Varlık performansını artırmak, aktörlerin yaşam döngüsü aşamalarında olumsuz çevresel etkileri tahmin etmelerine yardımcı olmak, sensör verilerine dayalı bakım faaliyetlerini tahmin etmek ve tüm dünyada inşa edilmiş varlıklar için daha fazla fayda sağlamak için bir fırsat olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: BIM, Dijital İkiz, ISO 19650, Dijitalleşme, İnşaat, Tasarım

ABSTRACT

Digital twin is a bridge between the physical world and the BIM based digital world for construction industry. The physical world and the virtual world have come even closer together than ever. After the introduction of various mixed reality solutions, digital twins have become the new futuristic obsession of the construction sector. Developed in the early 2000s, this concept has now come into the spotlight as a technology that is even more avant-garde than Building Information Modelling (BIM). It is seen as an opportunity to enhance asset performance, help actors anticipate adverse environmental effects during the life cycle stages, forecast maintenance activities based on sensor data and bring may further benefits for built asset all across the globe.

Key Words: BIM, Digital Twin, ISO 19650, Digitalization, Construction, Design

1. GİRİŞ

Peki bir ürün olarak dijital ikizi nedir? Bunu ne kadar çok kişiye sorarsanız, o kadar çok cevap alırsınız. Dr. Michael Grieves, 2003 yılında Michigan Üniversitesi'nde "Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi" (PLM) üzerine bir kurs sırasında fiziksel bir ürüne eşdeğer 'Dijital İkiz' sanal bir dijital kavramını tanıttı. Grieves, 'Dijital ikiz'i fiziksel bir ürüne eşdeğer sanal ve dijital bir varlık olarak tanımlıyor. Dijital ikizlere sahip olmak için üç ana ön koşul mevcut olmalıdır:

1. Sanal Uzayda Dijital Ürünler;
2. Gerçek Uzayda Fiziksel Ürünler;
3. Sanal ve gerçek ürünleri birbirine bağlayan veri ve bilgi bağlantıları.

İdeal olarak, dijital ikiz fiziksel "nesnenin" tüm bilgilerini içerir. Tüm yönlerinin bir temsilidir, yalnızca bir varlığın mekanik veya geometrik bir temsili değil, aynı zamanda gömülü yazılım, mikro yazılım, ürün verileri, haberleşme protokolleri, sensör verileri vb. İçeren elektronik bir temsildir.



2. İNŞAATTA DİJİTAL İKİZLER

Daha yakın zamanlarda, IoT (Nesnelerin İnterneti), Endüstri 4.0 ve Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) bağlamında Dijital İkiz'in araştırılmasına derinlemesine çalışmalar ayrılmıştır. 'Bağlantılı' çağın teknolojileri, varlıkların dijital ikizler olarak sanal bir hayatı 'yaşamasına' izin veriyor. Dijital İkizler artık fiziksel nesnenin durumu değişikçe neredeyse gerçek zamanlı olarak dinamik olarak değişme yeteneğine sahiptir. Sensörler, dış ortamın varlık üzerindeki etkisi hakkında veri toplayabilir ve bunun tersi de geçerlidir. Kayınbiraderiniz sizi her ziyaret ettiğinde ve misafir odasındaki pencereleri açık bıraktığında evinizin sizi bilgilendirebileceğini ve böylece tüm evdeki ortalama sıcaklığın düştüğünü hayal edin. Çatı kiremitlerini veya pencere camlarını değiştirdiğinizden beri çatınızın ve cephe camlarınızın evinizin gelişmiş ses yalıtımı ile otoyoldan gelen gürültünün her saat aralığında ne kadar azaldığı hakkında sizi bilgilendirebileceğini hayal edin.

Modern Veri Yönetimi uygulamaları, dijital ikizi giderek daha verimli hale getirir, çünkü veri analizine duruma göre odaklanabilirler ve düzenlemeler ekleyebilirsiniz. Fiziksel ikiz hakkında akla gelebilecek her türlü bilgiyi gerçekten bilmek istemiyorsunuz, değil mi? Dijital ikizler verilerle uğraştıkça tüm sayıları büyük veri içinde saklayacak ve 'Yeni güvenlik sistemi elektrik faturasını zorluyor mu? 'Kurduğum ısı yalıtımı yıllar içinde nasıl bozulacak? "Su ısıtıcısını ne zaman değiştirmem gerekiyor?" gibi sorularınıza hızlıca ve isterseniz otomatik olarak cevap verecek.

3. BIM ve DİJİTAL İKİZ

Akıllı teknolojilerin gelecekte karmaşık karşılaştırma ve hesaplamalar yapmasını istiyorsak, bugün onlara nasıl yardımcı olabileceğimizi gerçekten düşünmeliyiz. Dijital inşaat için politikaların ve standartların oluşturulduğu Avrupa düzeyinde , BIM sadece CAD modelleriyle ilgili değildir. Ortak yapıları, ortak tanımları ve ortak mantığı takip eden tutarlı, izlenebilir verilerin yönetimi ile ilgilidir. Bu amaçla 2020 yılından itibaren ISO 19650 standartlarının Bölüm 1, 2, 3, 4 ve 5'i yayınlanmış ve geriye sadece yayınlanmayı bekleyen Bölüm 6 kalmıştır.

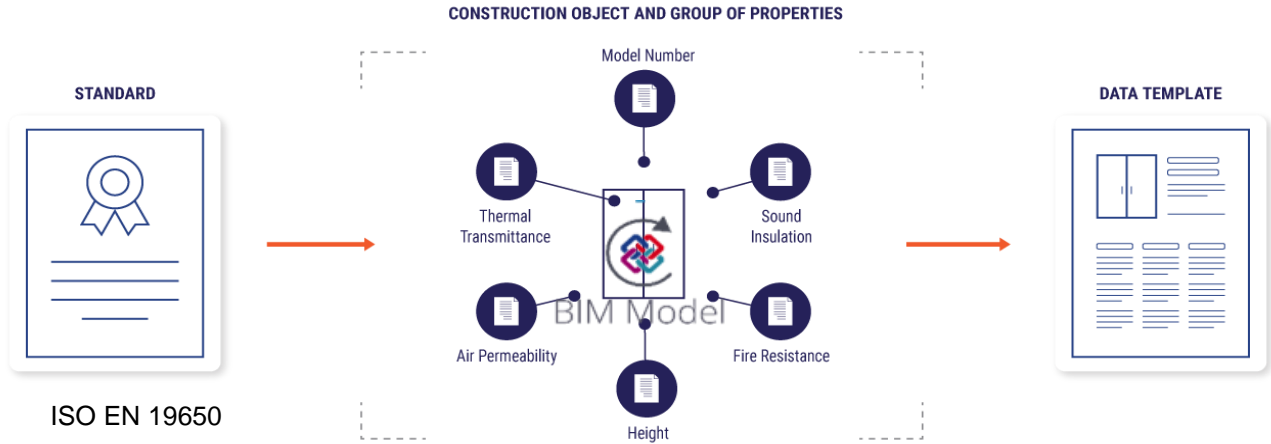
Makineler için kurallar ve otomasyon yolları oluşturmak için kollarımızı kaldırmak ve bugün standartlarda bulunan verileri dijitalleştirmeye başlamamız gerekiyor. Hangi test yöntemlerinin kullanıldığı, hangi makinelerin, hangi birimlerin, özelliklerin nasıl tanımlandığı ve çok daha fazlasından başlayarak. Daha sonra farklı yerel bağlamlar arasında karmaşık eşlemeler oluşturabiliriz. Bunun için teknoloji bugün mevcuttur. Ürün Veri Şablonları ürünü dijital olarak tanımlamak ve tanıtmak için kullanılır. Ürün Veri Şablonları ayrıca, benzer kavramların benzersiz kodlarla eşlenmesini sağlayan 'dijital veri sözlükleri' adı verilen özel tanımlar üzerine inşa edilmiştir, böylece makineler yerel farklılıklar ne olursa olsun gelen 'anlamlı' veriyi okuyabilir.

Öncelikle BIM avantajlarını elde edelim ve sonra daha iyi dijital ikizlere sahip olacağız.

BIM uygulayıcılarının son birkaç yıldır heyecan verici bulduğu ve dijital ikizler üzerinde doğrudan bir etkisi olan şey budur. Dijital ikizler yeni ilham verici sınır ve BIM'den sonraki adımdır, ancak pratik açıdan, inşaatın dijital kısmına henüz hakim olamıyoruz. Yarının siber-fiziksel sistemlerinin getirdiği fırsatlardan yararlanabilmek için, dijital modellemeyi inşaatı doğru bir şekilde elde etmeye odaklanmalıyız.

- Teknoloji mevcut peki ya süreçler? Uluslararası standardizasyon kuruluşlarının yardımıyla (ISO 19650) süreçlere ulaşıyoruz.
- İnsanlar mı? Şantiyeyi proje sahiplerinin ve halkın gözünden dijitalleştirmenin sayısız faydasını henüz göremedik.

Eğer bu faydayı anlayabilirsek, onu algılayabilecek, ölçebilecek ve geliştirebileceğiz. Bugünün klasik inşaatından yarının dijital inşaatına ancak bu şekilde geçeceğiz.



Şekil 1: Büyük Veri ve BIM çıktıları [4]

4. BÜYÜK VERİ NEDİR?

Büyük veri, geçmişte saklanan ve bugün edinilmeye devam eden büyük miktarda bilgiyi ifade eder. İnsanlardan, bilgisayarlardan, makinelerden, sensörlerden ve diğer veri üreten cihaz veya araçlardan biriktirilir. Şirketler, sistemlerinde biriken büyük verileri, operasyonları iyileştirmek, daha iyi müşteri hizmetleri sunmak ve daha pek çok şey yapmak için kullanırlar. Etkili bir şekilde kullanılırsa, büyük veriler şirketlere daha hızlı ve daha bilinçli iş kararları alabilecekleri için yapmayanlara göre değerli iç görüler ve rekabet avantajı sağlayabilir.

Peki Günümüzde inşaat sektörü ve büyük veri ilişkisi nedir?

İnşaat sektöründe, diğer tüm sektörlerde olduğu gibi, büyük veri, çeşitli kaynaklardan gelen ek girdilerle sürekli artmaktadır. Bunlar arasında sahadaki işçiler, vinçler, hafriyatçılar, malzeme tedarik zincirleri ve hatta binaların kendileri bulunur. Kuşkusuz, bu durum zaten inşaat endüstrisini dönüştürmeye başladı. Bununla birlikte, inşaattaki en büyük engel, toplanan verilerin çoğunun bir işletme departmanı, bölüm veya sistem tarafından izole edilmiş olarak tutulmasıdır. Sektördeki bir diğer karmaşıklık, projede yer alan çok sayıda inşaat aktörü ile ilgilidir. Mimarlar, mühendisler, inşaat yöneticileri, taşeronlar, mal sahipleri genellikle birbirlerinden kopuktur. Bu gruplar arasında üretilen büyük verileri toplamanın, analiz etmenin ve işlemenin bir yolunu bulmak, veri silolarının parçalanmasına yardımcı olur ve ilgili tüm riskleri azaltır. Büyük verilerden yararlanmanın sektöre nasıl fayda sağlayabileceği konusunda biraz daha derine inelim.

[1] Daha İyi Planlama

İnşaatta, farklı paydaşlar arasındaki iletişim asla kolay ve anlaşılır değildir. Bu, projenin tamamlanması için asla iyi değildir, çünkü gecikmelere, istenmeyen sapmalara ve maliyetli insan hatalarına yol açar. Doğru veri yönetim sistemi ile tüm paydaşlar, bir projedeki ilgi alanlarının en ufak bir değişiklikten nasıl etkilendiğini takip edebilir. Gerçek zamanlı verileri gösteren tek bir platformda birleştiğinde, bir projedeki farklı paydaşlar daha net iletişim kurabilir ve gerçek inşaat aşamasından önce daha başarılı planlama ve tasarım yapabilir.

[2] Daha İyi İnşaat Aşaması

Şantiyelerde kullanılan makinelerden gelen sensör girişi, aktif ve boşa kalma süresini gösterebilir. Bu bilgiler, gerekli ekipmanın en iyi karışımı hakkında sonuçlar çıkarmak için daha fazla işlenebilir. Bu

verileri analiz ederek, proje yöneticileri enerji kaynaklarının nasıl daha verimli kullanılacağını belirleyebilir ve böylece maliyetleri ve ekolojik etkiyi azaltabilir. Ayrıca, inşaat sürecinde kullanılan malzemeler hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olmak, tedarik zinciri boyunca otomatik bilgi alışverişine izin verir. Ayrıca, tehlikeli maddelerden kaçınma ve ikame alternatiflerini belirleme konusunda daha iyi karar vermeye yardımcı olur.

[3] Daha İyi Çalışma

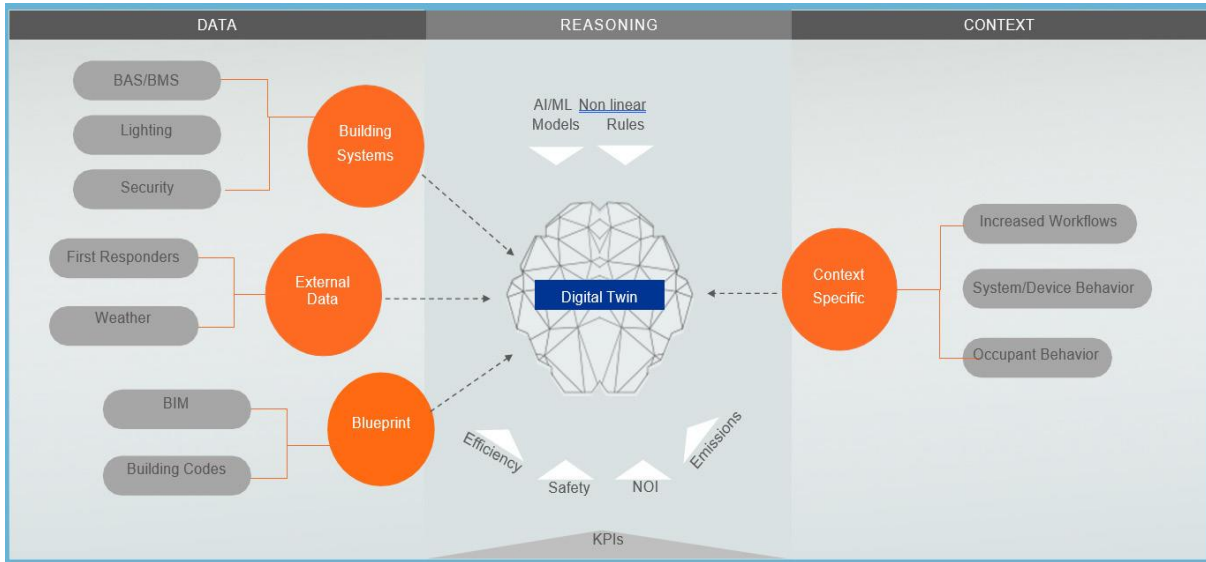
Veri toplama sensörleri, işletme ve bakım aşamasında da önemli bir rol oynamaktadır. Binalara, evlere, köprülere takılan sensörlerden elde edilen bilgiler, daha iyi tesis yönetimine olanak sağlar. Sensörler, söz konusu binanın iç çalışmalarından elde edilen verileri, yaya trafiği, enerji kullanımı veya iç sıcaklıklar gibi verileri izleyebilir.

Büyük verinin kullanımı ile ilgili şimdi bir asansör üreticisinin büyük veri IoT ve AI'den nasıl başarıyla yararlandığına dair gerçek bir vakadan örnek verelim.

Bir üreticiden kullanım örneği

Tek bir binada zaman zaman hareket halindeki on binlerce yolcu ile asansörler ve yürüyen merdivenler, öngörülemez trafikle başa çıkmak için artan bir baskıyla karşı karşıyadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için uluslararası KONE şirketi, büyük verileri kullandı ve IBM Watson IoT platformu aracılığıyla hizmetlerine yapay zeka uyguladı. Sonuç, potansiyel sorunlara çözüm öngören ve öneren bir platformdur. Dahası, maruz kaldığı önceki durumlardan sürekli olarak 'öğrenir' ve veri toplar. Ayrıca, her asansördeki IoT sensörlerini analiz edebilir ve tanımlanmış bir sorun olasılığı durumunda, teknisyenlere otomatik olarak bilgi verilir. Sonuç – daha az arıza süresi, daha az arıza ve bakım ekipleri için ayrıntılı bilgiler. Asansör ve yürüyen merdiven kullanan insanlar için bu, daha az bekleme süresi, daha az gecikme ve yeni kişiselleştirilmiş deneyimler potansiyeli anlamına gelir.

Aynı yaklaşım başka herhangi bir üretici tarafından da kullanılabilir. Bununla birlikte, önemli bir konuyu gündeme getirmeliyiz; "verilerin birlikte çalışabilirliği" konusu. Evrensel bir dilde yapılandırılmış büyük veriye sahip değilseniz sahip olduğumuz tüm teknoloji toplanan bilgileri okuyamaz ve işleyemez.



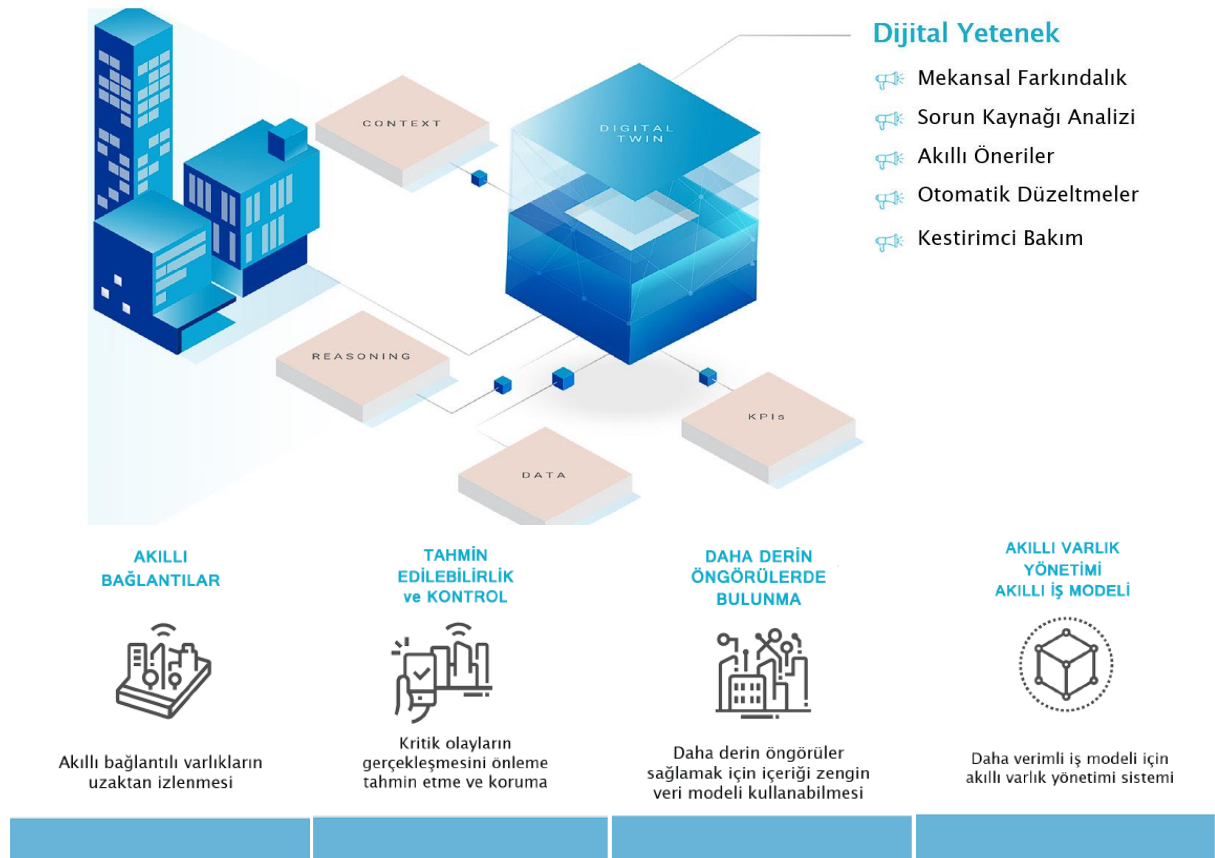
Şekil 2: Digital İkiz veri kaynakları [4]

5. BÜYÜK VERİLERİN BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİĞİNİN ÖNEMİ

Geleneksel bilgi sistemleri, proje programları, CAD tasarımları, maliyetler vb. ile ilgili temel bilgileri kaydetmede iyidir. Ancak, serbest metin, basılı bilgiler veya analog sensör okumaları gibi yapılandırılmamış verilerle çalışma yetenekleri sınırlıdır. Çevremizdeki veriler bol miktarda bulunur, ancak genellikle işlenmesi zor olan yapılandırılmamış biçimlerde saklanır. İç ve dış sistemlerin verileri iletilmesine ve analiz etmesine izin veren ortak bir 'her disiplin tarafından okunabilir' bir dile ihtiyaç vardır. Günümüz teknolojisinin potansiyelinden yararlanmak için, öncelikle dağıtık sistemler ve tedarik zinciri tarafından kullanılan uygulamalar arasında birlikte çalışabilirlik sağlamalıyız. İnşaatta bu, tedarik zincirindeki ilk aktör olan üreticiden başlar ve tesis yöneticisine kadar ulaşır. EN ISO 19650, EN ISO 23386 ve EN ISO 23387 uluslararası standartlarına göre üretilen yapılandırılmış süreçler gerekli olan verilerin birbirine bağlılık seviyesini sağlar. Bu şekilde, inşa sürecinin tüm aşamalarında akan bilginin sürekliliğini sağlayabiliriz. Üreticilerden başlayan verilerin standartlaştırılması, birlikte çalışabilir hale getirmek ve IoT, BIM modelleri, AI ve dijital ikizler tarafından vaat edilen büyük avantajların kilidini açmak için büyük verilerin birlikte çalışabilirliği kritik öneme sahiptir.

6. DİJİTAL İKİZİN YETENEKLERİ

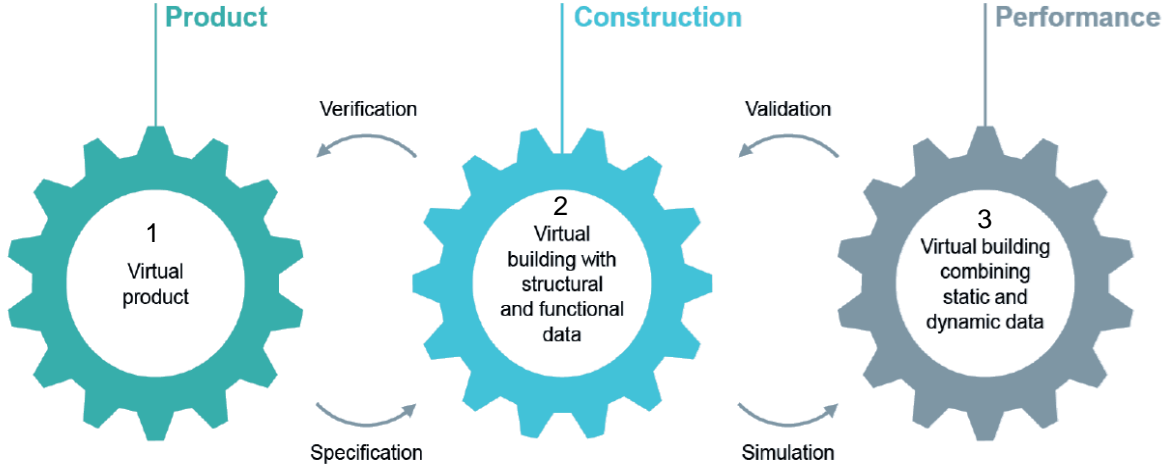
Artık dijital ikiz teknolojisinin iş süreçlerini iyileştirmek için nasıl kullanıldığını keşfedebiliriz. Dijital ikizler, rüzgâr türbinleri, asansörler veya jet motorları gibi tek varlıkların performansını artırmak için geleneksel olarak yıllardır kullanılıyordu. Ancak son yıllarda dijital ikizler daha sofistike hale geldi. Şimdi, sadece bir varlığı değil, varlık sistemlerini ve hatta tüm nesnelere birbirine bağlıyorlar (IoT). Dijital ikizler giderek daha fazla varlığı bir araya getirdikçe ve bunları süreçler ve insanlar hakkında bilgilerle birleştirdikçe, karmaşık sorunların çözümüne yardımcı olma yetenekleri de artıyor.



Şekil 3: Dijital ikiz yetenekleri [4]

7. DİJİTAL İKİZ GERİ BESLEME DÖNGÜSÜ

Dijital ikiz teknolojisinin veri geri besleme döngüsü ile sürekli güncel ve aktif tutulması zorunludur. Aksi durumda statik bir hale geçtiği anda Dijital İkiz özelliğini kaybeder ve sadece 3 boyutlu bir model olarak kalır. Geri besleme döngüsü içinde Ürün, Yapı ve Performans ikizleri sürekli birbirlerini beslerler.



Şekil 4: Dijital İkiz geri besleme döngüsü [6]

[1] Ürün ikizi

Dijital ürün ikizi öncelikle boyutu tanımlamak için kullanılır. BIM uyumlu simülasyon için kullanılan nitelikler, duvarlar, mekanik donanım ve kablolama gibi ürünlerdir. BIM nesnelere dijital ikizin yapı taşlarıdır ve statik veri temelini tamamlar. Fiziksel bina içindeki her varlığın, ilgili bir pencere ve kapılardan tüm yapı sistemine nesne bileşenlerine ve mobilya gibi varlıkların tümünü içerir. Bu BIM nesnelere varlığın geometrik bir temsilini sağlamakla birlikte, aynı zamanda gerekli tüm ilgili ürün bilgilerini, teknik verileri, üretim malzemelerini, operasyonel ve işlevsel bilgilerini kapsar.

[2] İnşaat ikizi

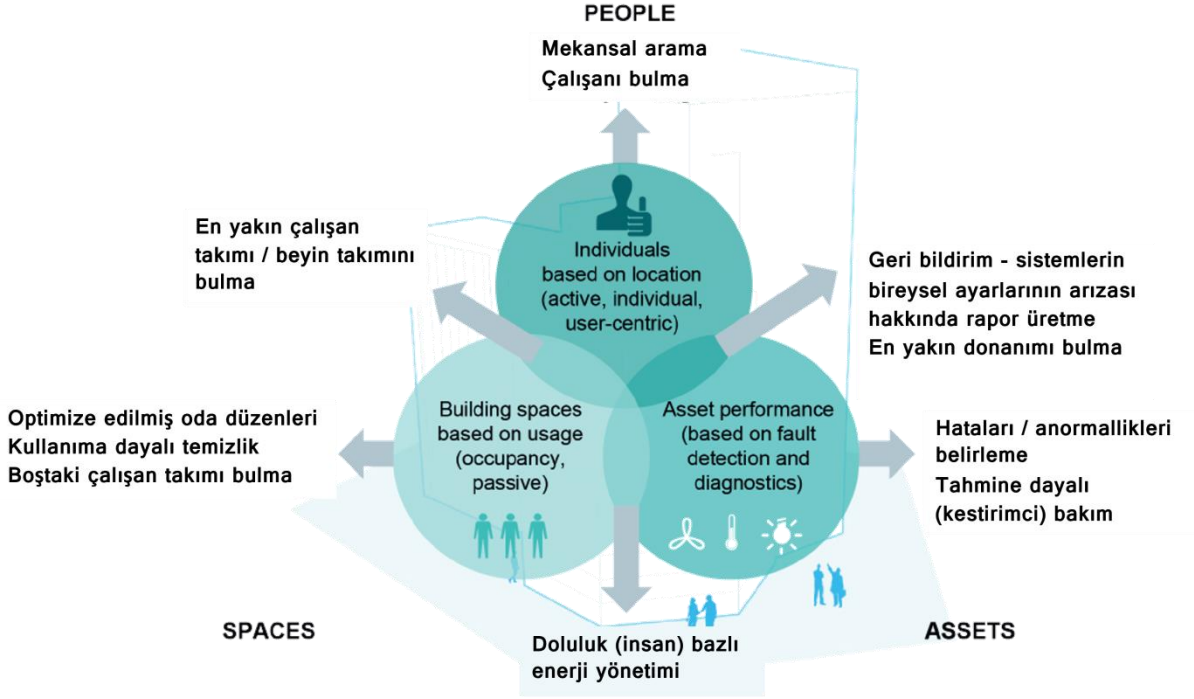
Bu ikiz, yapıda yüklü tüm varlıkların statik bir temsildir. Isıtma kazanı, HVAC üniteleri, trafolar, jeneratörler, kolon ve kirişler gibi statik bina inşaat verileri ile inşa edilmiş olarak düzen ve kurulumla ait tüm bileşenleri kapsar. İnşaat ikizi ile proje verimliliği, görselleştirme, mühendislik, devreye alma, sistem davranışı simülasyonu gibi tüm farklı ihtiyaçların geliştirilmesi sağlanır.

[3] Performans ikizi

Dijital performans ikizi operasyonel ihtiyaçları geliştirmek için kullanılır. Verimlilik, tahmine dayalı bakım ve dinamik simülasyon gibi kritik süreçlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Bu ikiz binanın bir dijital korteksi gibi davranır. Statik veriler ile birleştirme yeteneğine sahip olduğu için operasyonel ömrü boyunca üretilen dinamik verilerle binanın tam verimlilikte kullanılmasını sağlar. Dinamik veriler temelde bir binada kurulu çeşitli sistemler tarafından üretilir ve kullanıcı arayüzü ile BIM uyumlu olarak inşaat ikizine aktarılır. Bu dijital korteks yapay zeka (AI) ve sürekli öğrenme ile kullanıcı ihtiyaçlarına çevresel verileri kullanarak tam cevap vermeyi sağlar.

8. İNSANLARIN, MEKANLARIN VE VARLIKLARIN ODAĞINDA DİJİTAL MÜHENDİSLİK

Bina sadece işletmeye ev sahipliği yapan bir varlık değil, aynı zamanda işletme kimliğinin ayrılmaz bir parçası haline gelir. Yapı endüstrisinin dijitalleşmesi, yalnızca binayı canlı hale getirmek için araçlar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kullanıcıların daha önce düşünülmemiş daha üretken ve verimli yollarla etkileşime girmelerini sağlar. Gelecekte, dijital binalar giderek daha fazla insanlara, mekanlara ve varlıklara odaklanacaktır.



Şekil 5: Geleceğin binaları üç temel unsura odaklanacak [6]

İnsan

Ofis binalarındaki Y ve Z kuşağı sayısının artması insanların birlikte çalışma şeklini etkilemesi bekleniyor. Bu yeni nesil, iş-yaşam dengesi, sağlık ve refah, başarı ve tanınma vb. konulara daha yoğun bir şekilde odaklanmaktadır. Dodge Data & Analytics tarafından Siemens Building Technologies adına bir hastanede ve havaalanı tesisinde dijital ikiz ile temel kullanım durumlarını anlamak için yapılan özel bir anket, bir hastanede hasta deneyimini iyileştirmenin ve bir havaalanında yolcu deneyimini iyileştirmenin, katılımcıların (üst düzey yöneticiler ve karar vericiler) aradığı temel sonuçlardan biri olduğu sonucuna vardı. Çalışma ayrıca hastanelerde programlara ve kısıtlamalara göre hastaların ve personelin konumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlama yeteneğini göstermiştir. Bu hastane personelinin verimliliğine büyük katkı sağlamıştır.

Mekan

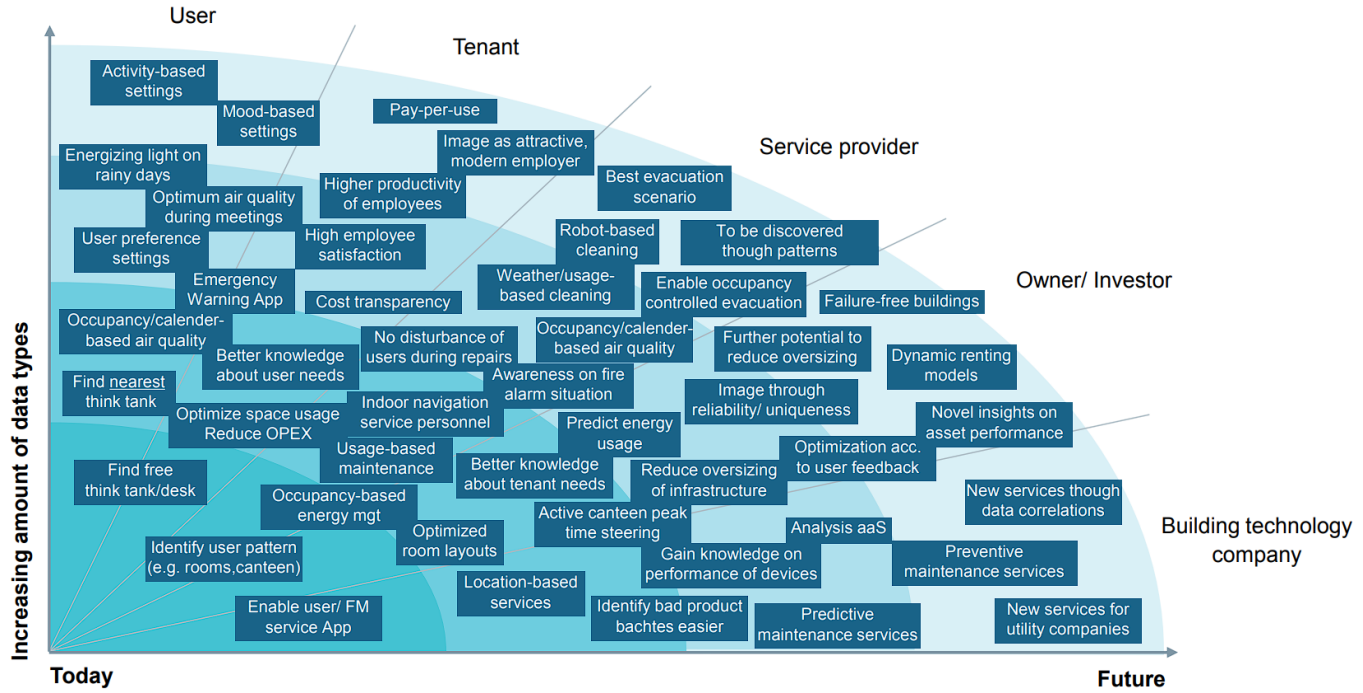
Artan mekansal ve zamansal bağımsızlığa olan ilgi son derece etkilidir. Birçok çalışan, işlerini neredeyse her yerden ve dizüstü bilgisayarlar ve diğer mobil cihazlar aracılığıyla giderek daha esnek zamanlarda yapabilir. CBRE tarafından yürütülen bağımsız bir araştırmaya göre, ortak çalışma alanlarında koltukların kullanımı (boş koltuklar hariç) küresel ortalaması %60 ve toplantı odası kullanımı küresel ortalaması %30 kadardır. Bu nedenle, gelecekteki binalarda dijital mühendisliğin giderek daha fazla benimsenmesi, bina alanını ölçmeyi ve optimize etmeyi büyük ölçüde hedefleyecektir.

Varlık

Binalar, bina içindeki bireysel varlıkların performansına giderek daha fazla odaklanacaktır. Arıza tespiti ve tanımlama ve makine öğrenimi gibi akıllı yöntemler, bireysel ekipman ve sistem parçaları da dahil olmak üzere bir binanın altyapısına gerçek zamanlı içgörüler sunulmasını büyük ölçüde destekleyecektir. Bu tür içgörüler, operatörün arızaları meydana gelmeden önce tespit etmesine ve önlemesine olanak tanıyan varlıkların akıllı bakımını sağlar. Dijital ikiz, bina operatörlerinin bakım verimliliğini artırmalarına ve yanıtın genel performansı nasıl etkileyeceğini simüle etmelerine olanak tanıyacak, performans gösteren varlıklara en önemli konularda öncelik veren bakım programlarına ve bina operatörleri için büyük ölçüde geliştirilmiş bir OPEX yapısına yol açacaktır.

9. DİJİTAL İKİZİ UYGULAMA

Siemens Building Technologies adına Dodge Data & Analytics tarafından hastaneler için yapılan anket ile işletme maliyetlerini azaltmanın en önemli yolu sorulduğunda katılımcılar tarafından en sık listelenen en önemli faktörün bir dijital ikizin sağlayacağı değer olduğunu gösterdi. Belirli kullanım durumlarının analizinde sıklıkla değerli olarak belirtilen diğer faktörler, verimliliği artırmak, sorumluluğu azaltmak ve hasta deneyimini iyileştirmektir. Anket, değer için en üst kategorinin, dijital ikizin işletim ekipmanı için nesnelere bağlanma yeteneği olduğunu bildirmektedir. Aşağıdaki çizimde bağlı veri kaynaklarının sayısı arttıkça dijital ikizin artan fayda uyumları özetlenmektedir.



Şekil 6: Verilerin artırılması ve iyileştirilmesine bağlı artan performans [6]

10. SONUÇ

Bina kullanıcıları ve sakinleri artık sadece çekici, iklim kontrollü bir bina istemiyorlar. Bunun yerine, güvenliklerini sağlayan altyapılar talep ediyorlar. Gerçek zamanlı bilgi, sadece üretkenlik sağlamak, güvenlik sağlamak veya emisyonları yönetmekle kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilir enerji kullanımını da sağlar. Bu hizmetlerin listesi çok uzun olacaktır ve herhangi birini veya tümünü gerçeğe



dönüştürmek için dijital bir altyapı gereklidir. Dijital bir altyapı sağlamak için, tüm bina inşaatı ve operasyonları değer zincirinin dijitalleşmeyi benimsemesi gerekiyor. Bu amaçla BIM ve standardı EN ISO 19650'yi vakit kaybetmeden süreçlerimiz için kullanmaya başlamalıyız.

BIM'e dayalı iş modeli mantığı ve sadece bina otomasyonu yerine dijital ikiz inşaat ve gayrimenkulde dijital dönüşüm için gereklidir. Dijitalleşme ve yapay zekâ, en azından orta vadede, değer önerilerini değiştirerek çoğu şirketin temel işini önemli ölçüde etkileyecektir. Yöneticilerin süreç değişikliği analizleri yapmaları ve zorlukları gündemlerinin en üstüne koymaları gerekir. Yeni hizmetler ve dijital çözümler genellikle yeni gelir modelleriyle birlikte gelecektir. Sensör tabanlı veri aktarımları için bir değer olarak hizmet tabanlı ödemeler, lisanslama modelleri veya mikro finansal işlemler, birçok varlık şirketinin gelir akışlarında önemli değişimlere yol açacaktır.

Dijital ikizden iş değeri sağlayan teknolojilere yatırım yapılmalı. Kiracı merkezli bir pazarda dijital dönüşümü yönlendiren teknolojilere yatırım yapmak önemlidir. Giyilebilir cihazlar, dronlar, artırılmış gerçeklik, sensörler ve IoT otomasyon sadece bağlı olduğu binalar için gerekli değil, aynı zamanda BIM ve 3D teknolojileri ile etkinleşen hizmetler açısından gelir arttırıcı değerler içerir. BIM ve Dijital İkiz ile çalışan yapay zekaya dayalı gelişmiş analitiğin önemi, gelecekte bina varlığı için büyük fırsatlar yaratacaktır.

Doğru ortaklıklarla dijital toplulukların geliştirilmesi sağlanmalı. Dijital dönüşüm yeni yetenekler gerektirir ve genellikle birden fazla iş ortağıyla aktif iş birliği içerir. Bu iş birlikleri genellikle geleneksel endüstri sınırlarını genişletir ve tamamen yeni dijital çözümler sağlamak için ekosistemlerdeki çeşitli ortakları içerir. Bu, sıfırdan dijital know-how oluşturmakla ilgili değil, işi büyütme, üretkenliği arttırmak ve yeniliği teşvik etmek için uygun dijital bilgiye sahip doğru ortakları bulmak için gerekli özeni göstermekle ilgilidir.

KAYNAKLAR

- [1] Dr. Michael Grieves introduced the concept,, 06.03.2017, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/03/06/what-is-digital-twin-technology-and-why-is-it-so-important/#63af45072e2a>
- [2] Svetla Shtereva| July 9th, 2020, <https://cobuilder.com/en/author/shterevacobuilder-no/>
- [3] Thoughtwire Digital Twin ebook, www.thoughtwire.com.
- [4] BIM'den Dijital İkiz'e, TTMD Dergisi 131. Sayı, Temmuz - Eylül 2021
- [5] ISO 19650-1,2,3,4,5, BSI Standarts 2020 - 2022"
- [6] Dodge Data & Analytics (DD&A) – behalf Siemens, September 2018
- [7] UK BIM Çalışma Grubu, <https://ukbimframework.org/standards-guidance>

ÖZGEÇMİŞ

Tanju KILINÇARSLAN

1969 yılı Ankara doğumludur. 1993 yılında ODTÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1996 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde İleri Makina Titreşim Kontrolü üzerine Yüksek Lisans ve 1998 yılında da Başkent Üniversitesinde İşletme (MBA) Yüksek Lisansı yapmıştır. 1996 yılından itibaren elektro-mekanik sektöründe dünyanın farklı ülkelerindeki çok sayıda uluslararası havalimanları, bilgi işlem merkezleri, büyük veri merkezleri, medya merkezleri, simülasyon merkezleri ve endüstriyel tesis projelerini başarı ile tamamlamıştır. 2010 yılından beri kurucusu olduğu SAF Mühendislik ve SAFE Akustik firmaları ile İngiltere Londra ve İstanbul ofislerinden uzman ekibiyle beraber Akustik Tasarım ve Titreşim Kontrolü üstüne proje ve mühendislik hizmetlerini dünya üstündeki çok sayıda projeye başarı ile gerçekleştirmeye devam etmektedir. Aynı zamanda 2018 yılından beri Akustik simülasyon yazılımları üreticisi dünyadaki sayılı



firmalardan olan Fransız CSTB inşaat laboratuvarları grubunun Akustik yazılım ve laboratuvar hizmetleri ürünlerinin ve İspanyol CYPE firmasının Open BIM tabanlı mühendislik yazılımlarının Türkiye ve İngiltere distribütörlük ve eğitim hizmetlerini de vermeye devam etmektedir. 2019 yılından beri IBPSA Türkiye yönetim kurulu üyesi olup TTMD bünyesinde düzenlediği çok sayıda ücretsiz webinar ve seminerler ile binlerce mimar ve mühendisin Akustik farkındalıklarının artmasına yardımcı olmuştur. Halen IBPSA Türkiye Başkanlığı ve TTMD Akademi ile BSI ortaklığında yürütülen BSI BIM Profesyoneli Uluslararası Sertifika Eğitim Programı koordinatörlüğü görevlerini yürütmektedir.



SULU SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIMI

Periodical Inspection, Test and Maintenance of Water-Based Extinguishing Systems

Özlem Güneç

ÖZET

Sulu söndürme sistemlerinin yangın durumunda çalışmamasının en yaygın nedenleri arasında kapalı vanalar ve bakım eksikliği bulunur. Yangından korunma cihazlarının bakımı çok önemlidir, çünkü bu tür sistemler çoğunlukla hareketsiz durumdadır. Bu da gerçek bir yangın durumunda gerektiğinde çalışabilirlikleri hakkında belirsizlik oluşturur. Düşük güvenilirliğe sahip bir yangından korunma cihazı, yangın riskinin arttığı anlamına gelir.

Yangından korunma cihazınızın gerektiğinde hazır olmasını sağlamanın tek yolu, düzenli bir kontrol ve bakım programı oluşturulmasıdır. Bir yangın korunum sisteminin gerekli performansı sağlama yeteneğinin doğrulanması, can ve mal güvenliğinin sağlanması için zorunludur. Yangından korunma sistemlerinin periyodik kontrol ve test edilmesinin amacı, sistemin acil bir yangın durumunda amacına uygun şekilde çalışacağına dair makul bir güvence sağlamaktır. Programlı kontroller gerçekleştirilerek, eksik veya çalışmayan cihazın tanımlanması ve standartlara uygun hale getirilmesi sağlanır.

Bu çalışma kapsamında, uluslararası standartlara göre periyodik kontrol, test ve bakımı yapılması gerekli olan sulu söndürme sistemi cihazları, bu cihazların rutin kontrolleri ve test / denetim raporları ile desteklenen metodolojinin ana hatları ortaya koyulacaktır. Uluslararası standartlara dayalı iyi bir bakım programının en kritik gereksinimleri ile birlikte, arıza durumunda nasıl hareket edilmesi gerektiğine dair bilgiler verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sulu Söndürme Tesisatı, Periyodik Kontrol, Bakım, Test

ABSTRACT

The most common reasons for water extinguishing systems not to work in the event of a fire area closed valves and lack of maintenance. Maintenance of fire protection devices is very important because such systems are often in a dormant state. This creates uncertainty about their operability when necessary in the event of a real fire. A low reliability fire protection device means an increased risk of fire.

The only way to ensure that your fire protection equipment is ready when needed is to establish a regular inspection and maintenance program. Verification of the ability of a fire protection system to provide the required performance is essential to ensure the safety of life and property. The purpose of periodic control and testing of fire protection systems is to provide a reasonable assurance that the system will function properly in the event of fire. By performing periodical controls, it is ensured that the missing or inoperative device is identified and brought into compliance with the standards.

Within the scope of this study, the water extinguishing system devices that require periodic control, testing and maintenance according to international standards, the routine controls of these devices and the methodology supported by test / inspection reports will be outlined. The most critical

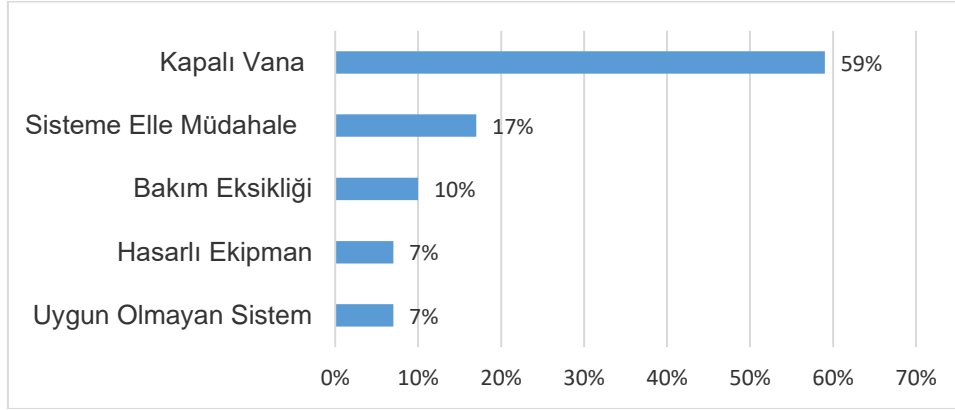
requirements of a good maintenance program based on international standards, along with information on how to act in case of failure will be given.

Key Words: Water-based Extinguishing Installations, Periodical Control, Maintenance, Test

1. GİRİŞ

Sulu söndürme sistemleri, binalarda can ve mal güvenliğini sağlamak amacıyla tesis edilen en etkili sistemlerdir. Yangın korunum sistemlerinin standartlara uygun şekilde projelendirilip devreye alındıktan sonra periyodik kontrol, test ve bakımının yapılması hayati önem arz eder.

NFPA (National Fire Protection Association) tarafından yapılan bir çalışmada sprinkler sistemlerinin, yangınların % 92'sinde faaliyet gösterdiği tespit edilmiştir. Aşağıdaki grafik, sprinkler sistemi mevcut olduğu halde, yangın sırasında faaliyet göstermeyen sprinkler sistemlerinin %8' lik bölümünü temsil etmektedir. Bu grafikten; sisteme su sağlayan vanaların kapalı olduğu ve periyodik kontrol ve bakım hizmetlerinin yerine getirilmediği anlaşılmaktadır.



Grafik 1. Sprinkler ile korunan bir alanda sistemin çalışmama sebepleri

Yangından korunma sistemlerinin gerektiğinde hazır olmasını sağlamanın tek yolu, düzenli bir kontrol ve bakım programı oluşturulmasıdır. Programlı kontroller gerçekleştirilerek, eksik veya çalışmayan sistemlerin belirlenmesi ve standartlara uygun hale getirilmesi sağlanır. Bir yangın korunum sisteminin gerekli söndürme performansını gerçekleştirme yeteneğinin doğrulanması, can ve mal güvenliğini sağlanması için zorunludur.

2. YASAL ZORUNLULUK

2021 tarihli ve 31665 Sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" ve 2007 tarihli ve 26735 Sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" güncel mevzuatı oluşturur.

Bu yönetmelik gereği; yangın söndürme sistemlerinin, bina sahibi, yöneticisi veya bunların yazılı olarak sorumluluklarını devrettiği bina yetkilisinin sorumluluğu altında, ilgili standartlarda belirtilen sistemin gerektirdiği periyodik kontrole, teste ve bakıma tabi tutulması şarttır.

20.6.2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 30'uncu ve 31'inci maddelerine dayanılarak hazırlanan "İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği" 25.4.2013 tarihli ve 28626 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yürürlüğe giriş tarihinden itibaren çeşitli dönemlerde revize olan Yönetmelik'in, son olarak 18.02.2022 tarihli ve 31754 sayılı Resmi Gazete' de İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in yayımlanması ile değiştirilen Ek-3'ün yangın tesisatlarını ilgilendiren maddeleri 31.12.2023 tarihinde yürürlüğe girecektir. Bu kapsamlı güncellemede yangın tesisatları ile ilgili olarak yapılan başlıca önemli değişiklikler aşağıdadır.

- Tesisatların periyodik kontrol süreleri ile kontrol kriterleri ile ilgili tablo güncellenmiştir.
- Yangın mekanik tesisatı, yangın algılama ve uyarı sistemleri tesisatları için periyodik kontrol esnasında tesisat projesi aranma şartı getirilmiştir. İşveren, projesi olmayan tesisatların Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe ve ilgili standartlara uygun projelendirmesini yaptırmak zorundadır. Yangın mekanik tesisatı, yangın algılama ve uyarı sistemleri tesisatlarının periyodik kontrollerinde tesisatın projesine uygunluğu ve projenin Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe ve ilgili standartlara uygunluğu değerlendirilir.
- İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGÜM) 'e periyodik kontrol rapor ve kriterleri dokümanlarını oluşturma yetkisi tanımlanmıştır.
- Periyodik kontrol yapmaya yetkili kişilerin ekipman gruplarına göre Yönetmelik'te geçen mezuniyetlerin güncellenmiştir.

Tesisatların periyodik kontrol süreleri ile kontrol kriterleri ile ilgili güncel tablo aşağıda verilmiştir. Buna göre yangın tesisatlarının periyodik kontrollerinin en az yılda bir kez yapılması zorunludur.

Tablo 1. Tesisatların periyodik kontrol süreleri ile kontrol kriterleri [2]

Ekipman Adı	Periyodik Kontrol Dönemi (Azami Süre) (İlgili standardın öngördüğü süreler saklı kalmak koşulu ile)	Periyodik Kontrol Kriterleri
Yangın söndürme sistemleri, Otomatik yağmurlama sistemleri, Otomatik gazlı söndürme sistemleri, Mutfak davlumbaz söndürme sistemleri, (Yangın su deposu, Yangın pompa dairesi ve Yangın pompaları performans testleri, Sabit boru tesisatı, Sprinkler sistemi, Yangın dolapları, Hidrants sistemi, vb.)	Standartlarda süre belirtilmemişse 1 Yıl	Projede belirtilen kriterlere ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğe uygun şekilde gerçekleştirilir.

Tabloda periyodik kontrol kriteri olarak ilgili yönetmelik ve bina yangın tesisat projesi referans edilmektedir. İlgili standartlar için bilgi verilmemiştir. Bu durumda yönetmelikte belirtilen standartlar esastır. Yönetmelik'te verilen standartlar aşağıda belirtilmektedir.

- TS 12845 “Sabit Yangın Söndürme Sistemleri - Otomatik Sprinkler Sistemleri - Tasarım, Kurulum ve Bakım”
- TS EN 671-1 “ Sabit Yangın Söndürme Sistemleri - Hortum Sistemleri - Bölüm 1: Yarı Sert Hortumlu Hortum Makaraları “
- TS EN 671-2 “Sabit Yangın Söndürme Sistemleri - Hortum sistemleri - Bölüm 2: Yassı Hortumlu Hortum Sistemleri”
- TS EN 671-3 “Sabit Yangın Söndürme Sistemleri - Hortum sistemleri - Bölüm 3: Yarı Sert Hortumlu Hortum Makaraları ve Yassı Hortumlu Hortum Sistemlerinin Bakımı”



Ayrıca, yönetmelikte Türk veya Avrupa Standartlarında düzenlenmeyen hususlarda, uluslararası geçerliliği kabul edilen standartların da kullanılabileceği belirtilmektedir. İlgili standart olarak, EN standartları kullanılabileceği gibi ABD menşeli bir sivil toplum kuruluşu olan NFPA (National Fire Protection Association) tarafından yayınlanan ve uluslararası geçerliliği kabul edilen NFPA 25 standardı veya diğer uluslararası kabul gören diğer standartlar kullanılabilir.

- NFPA25, Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems

Yönetmelik değişikliği ile birlikte 2023 yılı başından itibaren, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü(İSGÜM), iş ekipmanları için kullanılması zorunlu periyodik kontrol rapor ve kriterlerini belirleme yetkisine sahip olmuştur.

Hali hazırda bakanlığın internet sitesinde periyodik kontrol kriterleri ve raporları “taslak” olarak yer almakta olup, yayımlanmış olan taslak raporların kullanımı zorunlu değildir. İlerleyen süreçte yangın tesisatlarındaki hangi ekipmanların periyodik kontrollerinde rapor kullanımının zorunlu hale geleceği bakanlık tarafından ilan edilecektir.

3. YETKİ

Yangından korunma sistemleri için iyi bir periyodik kontrol ve bakım programında yer alan faaliyetleri yerine getirmek, çeşitli uzmanlık seviyeleri gerektirir. Bir tesiste, hangi faaliyetlerin kurum içinde tamamlanabileceğini ve nelerin ise kalifiye bir yüklenici tarafından yapılması gerektiğini çalışanların tecrübesi belirleyecektir. Her konuyu uygun şekilde tamamlamak için tesis çalışanlarının beceri seviyesinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Çoğu durumda, zorluk seviyesi yüksek olan bir faaliyetin yerine getirilmesi için yetkin bir yüklenici gerekecektir. Yangın sistemlerinin bakımı uygun bir şekilde yapılmadığında, sistemler yangın sırasında çalışmayabilir.

2017 tarihli ve 30197 sayılı “İş Ekipmanlarının Periyodik Kontrollerini Yapmaya Yetkili Kişilerin Kayıt ve Eğitimlerine İlişkin Tebliğ” e göre; periyodik kontrolleri yapacak kişilere eğitim ve yetki zorunluluğu getirilmiştir. Yönetmeliğe göre periyodik kontrol yapmaya yetkili kişiler olarak; ekipmanların teknik özelliklerine hakim ve ilgili branşlardan mühendis, teknik öğretmen, tekniker ve yüksek teknikerler olabilir. Yetkili kişi gerekli niteliklere sahip olsa bile, periyodik kontrol işlemleri şahıs olarak yapılamaz. Periyodik kontrolleri yapacak kişilerin yetkileri bakanlığa ait internet sitesinden sorgulanabilir.

Çalışma Sosyal Güvelik Bakanlığınca periyodik kontrole tabi ekipmanların neler olduğu ve kimler tarafından hangi standartlara göre yapılacağıın tespit işlemleri tamamlanıncaya kadar TSE Hizmet Yeterliliği veya TÜRKAK Akreditasyonuna sahip olma şartı bulunmamaktadır.

4. SİGORTACI TALEPLERİ

Türkiye’de sigortalanan bina veya tesisler, gelişmiş ülkelere kıyasla oldukça azdır. Gelişmiş ülkelerde, endüstriyel binaların sigortalınması zorunlu hale getirilmiş durumda ve bu tesislerin yangına karşı aldığı tedbirler sigorta şirketleri tarafından kontrol edilerek, yeterli önlemleri almayan veya riskleri fazla olan fabrikaların sigorta primleri arttırılmaktadır.

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik gereği; sigorta şirketleri, yangına karşı sigorta ettirme talebi aldıkları binalarda, tesislerde ve işletmelerde, bu Yönetmelik hükümlerine uyulup uyulmadığını kontrol etmek mecburiyetindedir[1].

Türkiye’de faaliyet gösteren sigorta firmalarından bazıları yangından korunma sisteminin performansını sağlamak ve yangın söndürme sistemlerinin çalışır durumda kalması için bakım ve test programı

oluşturulmasını talep ve takip etmektedir. Periyodik kontrol, test ve bakım programları oluşturulurken, sigorta şirketlerinin taleplerinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Bu program kapsamında yapılacak olan servis, tamirat vb. durumlarda sigorta firmasına bildirim yapılması istenir. Zamanında yapılmayan bakım-onarım çalışmaları da yangınların en önemli nedenlerinden biri olarak sayılmaktadır.

5. SULU SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM ARALIKLARI

Yangın korunum sistemlerinin ya da ekipmanlarının olası bir yangın durumunda beklenen performansı sağlayacağına doğrulanabilmesi için, ilgili sisteme veya cihaza yönelik “fonksiyon testleri” ve “bakımların” yapılması gerekir.

Fonksiyon testleri ve bakımları, ilgili uluslararası standartlarda tarif edilen şekilde ve belirtilen aralıklarda yapılarak düzenli şekilde takip edilmelidir. Periyodik kontrol aralığı ve kriterleri standartlar ile belirlenmemiş ise ekipmanların periyodik kontrolleri üretici tarafından hazırlanan teknik kılavuzlarda öngörülen aralık ve kriterlerde yapılır. Bu hususlar, üretici tarafından belirlenmemiş ise ekipmanın periyodik kontrolü için bulunduğu işyeri ortam koşulları, kullanım sıklığı ile kullanım süresi gibi faktörler göz önünde bulundurularak, yapılacak risk değerlendirmesi sonuçlarına göre aralıklar belirlenir.

Bu kontroller; haftalık, aylık, üç aylık, yıllık olarak, sistemlerin ilgili olduğu standartların veya üreticinin öngördüğü düzenli aralıklarla tekrarlanır. Belirlenen periyodik kontrol aralığının, standartlarda belirtilen istisnalar dışında bir yılı aşmaması gerekir.

TS EN 12845 Standardında tanımlanmış olan periyodik kontrol aralıkları, NFPA 25 ile benzerlik göstermektedir. Ancak TS EN 12845 standardı, tüm sistemlere ait kontrol ve test yöntemleri hakkında yeterli bilgi kapsamadığı için üretici talimatlarına yönlendirme yapmaktadır.

Sulu söndürme sistemleri için iyi bir bakım programının başlıca unsurları ve NFPA 25'e göre periyodik kontrol, test ve bakım aralıkları Tablo 2' de özet olarak verilmiştir. Daha eksiksiz bir liste için NFPA 25 Standardından faydalanılabilir.

Tablo 2. Sulu Söndürme Sistemlerinin Periyodik Kontrol, Test ve Bakım Aralıkları Zaman Çizelgesi

Ekipman Adı	Kontrol, Test ve Bakım Aralıkları						
	C: Kontrol (Görsel)			T: Test		M: Bakım	
	Haftalık	Aylık	Üç Aylık	Altı Aylık	Yıllık	Beş Yıllık	On Yıllık
1-Vanalar							
Elektriksel olarak izlenen Yükselen Milli Vana ve Kelebek Vanalar			C		T*-M		
Kilitli Post İndikatör Vana ve Buşakleli Vanalar		C			T*-M		
Kilitsiz Post İndikatör Vana ve Buşakleli Vanalar	C				T*-M		
Vana İzleme Anahtarları			C	T			
2- Otomatik Sprinkler Sistemleri							
Sprinkler başlığı					C		
Basınç Göstergeleri		C				T	
Boru ve Bağlantı parçaları					C	T	
Askılama					C		
Kontrol Vanaları	C				T*-M		
Alarm Vanaları		C	T		T	C-M	
Motor Gong			T				
Akış Anahtarları			C	T			



3- Sabit Boru Tesisatı							
Kabinet					C		
Kontrol Vanaları	C				T-M		
Basınç Göstergeleri		C				T	
Hortumlar					C		
Hortum Bağlantı Kaplinleri					C*	T	
Hortum Nozulu					C		
Hortum Makarası					C		
Hidrolik Tasarım Bilgi Levhası					C		
Hortum Vanaları			C		T		
Basınç Düşürücü Vanalar					C		
Boru ve Bağlantı Parçaları					C		
İtfaiye Su Alma Ağızı					C	T	
4- Hidrant Sistemi							
Hidrant Ekipman Dolabı			C				
Yer Üstü Yangın Hidrantı					T-M		
Boru ve Bağlantı Parçaları					C-T		
Post-İndikatör Vanalar	C				T-M		
Monitör Nozulu				C	T-M		
Çek Vanalar						C	
5- İtfaiye Su Verme Bağlantısı							
İtfaiye Su Verme Bağlantısı				C			
Boru ve Bağlantı Parçaları						T	
Çek Vanalar						C	
6- Yangın Pompa İstasyonu							
Yangın Pompaları	C-T**				T***-M		
Otomatik Transfer Anahtarı					T		
Yangın Pompa Alarmları					T		
Debi ölçer					T		
Yakıt tankı		T			C		
Basınç Rahatlatma Vanası					T		
Aküler					M		
Filtreler (Yağ,yakıt)					M		
Basınç sensörleri					M		
* Yıllık ve her kullanımdan sonra							
** Sıfır Debi Testi (Churn test) yapılmalıdır.							
*** Pompa performans testi yapılmalıdır.							

6. SULU SÖNDÜRME SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM PROSEDÜRÜ

Sulu Söndürme tesisatı ve ekipmanlarının periyodik kontrolü; ekipmanların, standartlara göre belirlenen aralıklarda ve belirtilen yöntemlere uygun olarak, yetkili kişilerce yapılan muayene, deney ve test faaliyetleridir. Ekipmanların periyodik kontrolü esnasında hidrostatik test vb. test işlemleri yapılır. Bakım ise ekipmanlarda yapılan her türlü temizlik, ayar, kalibrasyon gibi işlemlerin tamamıdır. NFPA 25'e göre periyodik kontrol, test ve bakım sırasında yapılması gereken işlemler ana hatları ile aşağıda açıklanmıştır.

6.1 Vanaların Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Sistemde kapalı vana bulunması veya ekipmanların devre dışı bırakılması, binanın korunmadığı anlamına gelir. Bir yangın durumunda etkili olabilmesi için, sprinkler sisteminin ilk dakikalarda su verebilmesi gerekir. Sprinkler sistemine su beslemesi sağlayan bir vana bir onarım veya bakım



sonrasında yanlışlıkla kapalı kalabilir. Bir yangın durumunda ise kapalı vanaları bulmak zaman alabilir. Bu gecikmeler, yangının büyümesine sebep olacaktır.

Haftalık, Aylık ve Üç Aylık Kontroller

Vanalar kilitli değilse veya izlenmiyorsa haftalık, kilitli ise aylık, elektriksel olarak izleniyorsa üç aylık gözle kontrol yapılarak, vanaların uygun durumda olduğunu doğrulamalıdır.

- Normal açık veya kapalı konumları kontrol edilmelidir.
- Kilitlidir veya elektriksel olarak izlenmektedir.
- Post indikatör vanalar için uygun anahtar sağlanmalıdır.
- Vanalar ulaşılabilir olmalıdır.
- Vanalarda sızıntı ve kaçak olmamalıdır.
- Vana etiketlemeleri uygun olmalıdır.

Yıllık Testler

- Her kontrol vanası, yıllık olarak tamamen açılarak veya kapatılarak test edilmeli ve normal konumuna geri getirilmelidir.
- Post indikatör vanalar, çubuğun vanadan ayrılmadığı hissedilene kadar açılmalıdır. Bu testler, vana her kapatıldığında tekrar edilmelidir.
- Post indikatör ve yükselen milli vanalar, sıkışmayı önlemek için tamamen açık konumdan çeyrek tur geri çevrilmelidir. Vana durum testi, kontrol vanaları her kapatıldığında ve yeniden açıldığında tekrarlanmalıdır.

Altı Aylık Testler

- Vana izleme anahtarlarından, el ile volanın iki kez döndürülmesi halinde ya da vana klapesinin normal konumundan beşte biri kadar hareket etmesi durumunda sinyal alınması gerekir. Vana izleme anahtarı, normal konumu dışında asla sinyal vermemelidir.

Bakım

Yükselen milli vanaların çalışma milleri yıllık olarak yağlanmalıdır. Yağlandıktan sonra vana tamamen kapatılmalı ve çalışmasını test etmek ve yağı dağıtmak için yeniden açılmalıdır.

6.2 Sprinkler Sistemlerinin Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Haftalık Kontroller

- Kuru, ön tepkili ve baskın sistemlere ait basınç göstergelerinde okunan hava ve su basınç değerleri kaydedilmelidir.
- Kontrol vanaları doğru (açık veya kapalı) pozisyonda olmalıdır.
- Herhangi bir nedenden dolayı sprinklerin sökülmesi halinde yerine yenisi takılmalıdır.

Aylık Kontroller

- Vanalar ulaşılabilir olmalıdır
- Vanalar kilitli veya izlenmelidir.
- Vanalarda sızıntı ve kaçak olmamalıdır.
- Vana etiketlemeleri uygun olmalıdır.
- Basınç göstergeleri normal tesisat basınçlarını göstermelidir. Tüm basınç göstergeleri fiziksel hasar ve okunan değerler kaydedilir.
- Alarm vanalarında mekanik hasar bulunmamalıdır. Alarm vanaları sızıntı ve hasara karşı kontrol edilmelidir.
- Trim setindeki vanaların uygun açık ve kapalı pozisyonda olduğundan emin olunmalıdır.
- Gövde, kapak ve trim setindeki vanaların sızdırmadığından emin olunmalıdır.



Üç Aylık Kontroller

Islak alarm vanası gövdesinin arkasında bulunan test vanası açılarak 60 saniye içinde alarm gongunun çaldığı test edilir.

Yıllık Kontroller

Yetkili kişiler tarafından ana drenaj testi yapılmalıdır. Ana tahliye vanasında sızdırma olup olmadığı kontrol edilir. Klape alt ve üst basınç göstergelerindeki basınç gözlenir. Ana tahliye vanası tamamen açılır. Klape üst basıncını gösteren basınç göstergesindeki basınç gözlenir. Bir önceki test sonucu ile arasında %10'dan fazla fark olup, olmadığı gözlemlenir. Ana tahliye vanası kapatılır. Klape üst basıncının eski değere göre ne kadar düştüğü gözlenir. Alarm vanası tesisatında herhangi bir hasar olup olmadığı incelenir.

Beş Yıllık Kontroller

Alarm vanalarının iç kontrolü ve pislik tutucu, filtre gibi bileşenlerin temizliği yapılmalıdır. Tesisattaki tüm diğer vanaların fonksiyon kontrolü yapılır.

Üç Aylık Testler

Motor gonglar her üç ayda bir kez test edilmelidir. Islak alarm vanası gövdesinin arkasında bulunan test vanası açılarak 60 saniye içinde alarm gongunun çaldığı test edilir.

Altı Aylık Testler

Akış anahtarı, presostatlar ve izleme anahtarları en az altı ayda bir kez test edilmelidir. Test ve drenaj vanası test konumuna getirilerek akış anahtarı (flow switch) test edilmelidir. Akış anahtarı testi en küçük k faktörüne sahip sprinklerin debisi akış anahtarından geçecek şekilde test edilmelidir.

Yıllık Testler

Yetkili kişiler tarafından alarm vanalarına ana drenaj testi yapılmalıdır. Ana tahliye vanasında sızdırma olup olmadığı kontrol edilir. Klape alt ve üst basınç göstergelerindeki basınç gözlenir. Ana tahliye vanası tamamen açılır. Klape üst basıncını gösteren basınç göstergesindeki basınç gözlenir. Bir önceki test sonucu ile arasında %10'dan fazla fark olup, olmadığı gözlemlenir. Ana tahliye vanası kapatılır. Klape üst basıncının eski değere göre ne kadar düştüğü gözlenir. Alarm vanası tesisatında herhangi bir hasar olup olmadığı incelenir. Tüm kontrol vanaları tam hareket aralığında çalıştırılarak test edilmelidir. Vana açık/kapalı konum izleme testleri yapılmalıdır.

Beş Yıllık Testler

Basınç göstergeleri test edilmeli veya değiştirilmelidir. Basınç düşürücü vanaların tam akış testi sonuçları bir önceki ile karşılaştırılır. Basınç düşürücü vananın basıncı istenen ayar değerine düşürüp düşürmediği kontrol edilir.

Rutin Bakım

Korozif ve diğer olumsuz koşulların sahadaki sprinkler başlıklarına etkisini ve durumunu anlamak için sprinklerin laboratuvarında testleri yapılmalı ve gerekli durumlarda değiştirilmelidir. Tesisattan sökülen numune sprinkler başlıklarının laboratuvarında test edilmesi için gereken test sıklığı aşağıda belirtilmiştir. Her sprinkler tipi için sprinkler sayısının %1'i kadar örnek sprinkler (en az 4 adet) alınarak test yapılmalıdır. Örnek olarak alınan numune sprinklerden bir tanesi dahi test şartını karşılamadığında, sprinkler numunesinin alındığı tüm alandaki sprinkler yenisi ile değiştirilmelidir.

Sprinkler - 50. yılda ve sonrasında her 10 yılda bir

Sprinkler - 75. yılda ve sonrasında her 5 yılda bir



Sprinkler (kuru tip) 10. yılda ve daha sonra her 10 yılda bir
Sprinkler (ekstra yüksek veya yüksek sıcaklıkta lehim tipi) 5 yılda bir
Sprinkler (hızlı tepkili) 20 yılda ve daha sonra her 10 yılda bir
Sprinkler (korozif ortamlar) Her 5 yıl

Herhangi bir sebepten sprinklerin sökülmesi halinde yerine yenisi takılmalıdır.

6.3 Sabit Boru Tesisatının Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Yıllık Kontroller

İtfaiye kat bağlantı vanası mekanik hasara karşı kontrol edilmelidir. Yangın dolabı, hortum, nozul, vana ve diğer tüm parçalar kontrol edilmelidir.

- Zincirli kapaklar yerinde olmalıdır.
- Storz adaptör yerinde olmalıdır.
- Vana çevirme kolu yerinde ve hasarsız olmalıdır.
- Zincirli kapağın contası yerinde ve hasarsız olmalıdır.
- Vana su sızdırmamalıdır.
- Hortum bağlamaya engel görünen veya fiziksel herhangi bir engel bulundurulmamalıdır.
- Vana kolay bir şekilde açılıp kapanabilir olmalıdır.
- Vana dişleri hasar görmüş olmamalıdır.

Yıllık Test

- 5 yılda bir kez vanalar tamamen açılarak akış testi yapılmalıdır. En elverişsiz durumdaki yangın dolabında gerekli debi ve basıncın sağlandığı test edilmelidir.
- Kabin, hortum, nozul, vana ve diğer tüm parçalar gözle kontrol edilmelidir ve denetlenmelidir.
- 5 yılda bir kez hidrostatik test yapılmalıdır.

Bakım

Hortum vanalarına gerek görüldüğünde bakım yapılmalıdır. Düzgün şekilde açılmayan vanalar değiştirilmelidir.

6.4 Hidrant Sisteminin Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Hidrantlar özellikle kış aylarında, her kullanım sonrası mutlaka kontrol edilmelidir. Uygulamada en fazla karşılaşılan problem; hidrant klapesi ile sit arasına giren yabancı maddelerin (taş, kum ve metal parçaları vb.) sıkışması neticesinde sızdırmazlık contalarının zarar görmesidir. Bu durumda hidrant borusu su ile dolar. Hidrant açık kaldığı zaman tahliye gerekli boşaltmayı yapamaz. Kış aylarında donma olayı yaşanır. Su alma rakor kapakları tam kapalı konumda iken hidrant tam kapatılmaz ise yine don olayı yaşanır. Neticesinde hidrant borularında çatlamlar oluşur. Ters basınç ve koç darbelerine karşı hidrant özel anahtar yardımı ile yavaş açılıp kapatılmalıdır.

Üç Aylık Kontroller

- Hortum, nozul ve ilgili ekipmanların mevcudiyeti kontrol edilmelidir.
- Hasar ve kaçaklar kontrol edilmelidir.
- Ekipman dolaplarının ulaşılabilir olup, olmadığı kontrol edilmelidir.

Yıllık Kontroller

- Hidrantların genel durumu kontrol edilir
- Hidranta ulaşılabilirliği kontrol edilir. (Kış mevsiminde hidrant etrafının kar, buz temizliği dahil)
- Hidrant anahtarının mevcut olup olmadığı kontrol edilir.
- Su veya buzlanma olup olmadığı kontrol edilir.
- Uygun tahliye durumu incelenir.



- Hidrant çıkışında ve tepesinde su kaçağı olup olmadığı kontrol edilir.
- Hidrant gövdesinde çatlak olup olmadığı kontrol edilir.
- Zincirli kapakların sıkı kapanıp kapanmadığı kontrol edilir.
- Çıkış ağzlarındaki dişlerin yıpranmış olup olmadığı kontrol edilir.
- Hidrant volan somunun düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.
- Pislik tutucular temizlenir.
- Toprak üstündeki borulama hasar ve korozyona karşı kontrol edilir. Sabitleme elemanları kontrol edilir.

Yıllık Testler

- Her hidrant tek tek tamamen açılmalıdır. Temiz su akana kadar su akıtılmalıdır.
- Hemen temiz su akse dahi en az 1 dakika su akıtılmalıdır.
- Hidrantı kapattıktan sonra otomatik drenajın (damlatma vanası) düzgün olduğu görünmelidir. Otomatik drenaj 60 dakikadan uzun sürmemelidir.
- İzolasyon vanaları tam hareket aralığında çalıştırılarak test edilmelidir. Vananın tam açık konumunda olduğu test edilerek doğrulanır.

Beş Yıllık Testler

Yer altı ve yer üstü borulama için akış testi yapılmalıdır.

Yıllık Bakım

- Hidrantların vida dişleri, kapakları vb. incelenmeli ve yağlanmalıdır.(dişleri, kapakları vs.)
- Hidrant etrafındaki kar, buz ve yabancı maddeler temizlenmelidir.
- Hidrantlar mekanik hasara karşı korunmalıdır.
- Hidrant ekipman dolabı içindekiler kullanılabilir durumda olmalıdır.

6.5 İtfaiye Su Verme Sisteminin Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Eğer zincirli kapaklar veya storz adaptörler yerinde değilse, tıkanmalar için denetim yapılmalıdır ve klapelerin tamamen işlevsel olduğu teyit edilmelidir.

Üç Aylık Periyodik Kontroller

- Bağlantılar görünür ve erişilebilir olmalıdır.
- Rakorlar veya döndürme tertibatı tahrip edilmemiştir ve pürüzsüz bir şekilde dönmelidir.
- Tapalar veya başlıklar yerinde ve zarar görmemiş olmalıdır.
- Contalar yerinde ve iyi durumda olmalıdır.
- Tanıtma işaretleri yerinde olmalıdır.
- Çek vanada sızıntı kontrolü yapılmalıdır.
- Otomatik damlatma vanası yerinde olmalı ve düzgün bir şekilde çalışmalıdır.
- Klapeler yerinde olmalı ve düzgün çalışmalıdır.
- Su verme ağzı içerisinde tıkanma ve yabancı cisim olup olmadığı denetlenmelidir.
- Boru tesisatında hasar olup olmadığı denetlenmelidir.
- Storz adaptör ve zincirli kapaklar yerinde olmalıdır.

Beş Yıllık Test

İtfaiye su verme bağlantısı ile çek vana arasındaki boru tesisatı, 10 bar basınçta 2 saat süreyle hidrostatik olarak test edilmelidir.

6.6 Yangın Pompalarının Periyodik Kontrolü, Test ve Bakımı

Haftalık Kontrol ve Test (Elektrikli Yangın Pompası)

- Vanaların açık olduğundan ve borularda sızıntı olmadığından emin olmak için pompa emişi, basma hatları kontrol edilmelidir.
- Pompa odasına giriş yasak değil ise, vanalar kilitlenmelidir.
- Kontrol panosuna elektrik enerjisi gelip gelmediği kontrol edilmelidir.
- Ters faz alarmı kontrol edilmelidir.
- Alarm durumlarını gösteren ışıklar yanıyorsa, sorun düzeltilmelidir.
- Motor dikey pozisyonda yerleştirilmiş ise gözetleme camındaki yağ seviyesi kontrol edilmelidir.
- Dolu olduğundan emin olmak için yangın su deposu kontrol edilmelidir.
- Oda sıcaklığı en az 4 C olmalıdır.
- Buz oluşumu için emiş filtreleri kontrol edilmelidir.
- Haftalık testlerde sistem basıncı düşürülerek, yangın pompasını otomatik olarak devreye sokulmalıdır. Başlangıç basıncını kaydedilerek aşağıdaki durumlar gözlemlenmelidir.
- Motorun tam hıza ulaşma süresi kontrol edilmelidir.
- En az 10 dakika çalıştırılır ve gerekli kontroller yapılarak kayıt altına alınmalıdır.
- Emme ve basma basıncı kontrol edilmelidir.
- Sirkülasyon rahatlatma vanası akışı kontrol edilmelidir.
- Yumuşak salmastrada az miktarda damlama olması normaldir. Eğer gerekiyorsa salmastra ayarlanmalıdır.
- Olağan dışı ses veya titreşim kontrol edilmelidir.
- Aşırı ısınma için salmastra kutusu, mil ve rulman yatakları ve pompa gövdesi kontrol edilmelidir.

Haftalık Kontroller ve Test (Dizel Yangın Pompası)

- Vanaların açık olduğundan ve borularda sızıntı olmadığından emin olmak için pompa emişi, basma hatları kontrol edilmelidir.
- Pompa odasına giriş yasak değil ise, vanalar kilitlenmelidir.
- Otomatik çalışma için anahtar “otomatik” şeklinde ayarlıdır.
- Batarya şarj cihazının çalışması kontrol edilmelidir. Batarya işaret lambası açık olmalıdır. Arıza uyarı ışıkları kapalı olmalıdır. Voltaj ve akım değerleri normal olmalıdır.
- Alarm durumlarını gösteren ışıklar kontrol edilmelidir.
- Yakıt tank seviyesinin en az dörtte üçünün dolu olması gerekir.
- Açık pozisyonda kilitli olduklarından emin olmak için tanktan dizel motor filtresine veya pompa sistemine yakıt besleme hatlarındaki vanaları kontrol edilmelidir.
- Dolu olduğundan emin olmak için yangın su deposunu kontrol edilmelidir.
- Pislik tutucuların kapağını açılarak, gerekiyorsa temizlenmelidir. İşlemi gerçekleştirirken sistemin işlevliğini sağlamak için manuel bypass hatlarını kullanılmalıdır.
- Yağ ölçme çubuğu kullanarak motorun yağ karterindeki yağ seviyesini kontrol edilmelidir.
- Soğutma sıvısı seviyesi kontrol edilmelidir.
- Havalandırma sisteminin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir.
- Oda ısı kontrol edilmelidir. Dizel sürücünün üzerinde yağ ısıtıcısı yoksa oda sıcaklığı en az 10°C olmalıdır.
- Buz oluşumu için emiş filtrelerinin kontrol edilmesi gerekir.
- Çalışır durumda olduğundan emin olmak için su gömleği ısıtıcısı kontrol edilmelidir.
- Haftalık testlerde sistem basıncını düşürerek yangın pompalarını otomatik olarak devreye girmesi sağlanmalıdır.
- Başlangıç basıncı kaydedilerek, bu işlem her bir akü için ayrı ayrı yapılmalıdır.
- Jokey pompanın ve yangın pompasının devreye girme basınçları kaydedilmelidir. Set edilen basınç değerlerinde devreye girip girmediği kontrol edilmelidir.
- Dizel motorun kaç saniye sonra çalıştığını kayıt edilmelidir.
- Dizel motorun çalışma devrine ulaşması için geçen zamanı kayıt edilmelidir.



- En az 30 dakika çalıştırdıktan sonra kontrol edilerek Dizel sürücünün devir sayısı regülatörünün çalışması, basınç rahatlatma vanasının (relief valve) çalışması, emme ve basma basınçları kaydedilmelidir.
- Isı eşanjörünün çıkışından soğutma suyu akışı ve eğer varsa sirkülasyon rahatlatma akışı kontrol edilmelidir.
- Çalışma zamanı esnasında makina göstergeleri (yağ basıncı, su ve yağ ısı, hız) periyodik olarak kontrol edilmelidir. Normal olmayan durumlar kaydedilerek, gerekli adımlar atılmalıdır.
- Yumuşak salmastrada az miktarda damlama olması normaldir. Eğer gerekiyorsa salmastrayı ayarlanmalıdır.
- Olağandışı ses veya titreşim kontrol edilmelidir.
- Aşırı ısınma için salmastra kutusu, mil ve rulman yatakları ve pompa gövdesi kontrol edilmelidir.
- Her bir bataryadan ayrı ayrı manuel olarak dizel motoru çalıştırılmalıdır.

Aylık Denetim ve Test (Dizel Pompalar)

Akü suyunu kontrol edilmelidir. Akü terminallerinde korozyon olup olmadığı, kondüktörlerin ve bağlantıların durumları kontrol edilmelidir.

Yıllık Denetim, Test

Yılda bir kez debimetre veya hortum vanaları ile akış testi yapılmalıdır.

Pompa Performans Testi:

Sıfır debideki basınç (kapalı vana basıncı), anma debisindeki basınç, %150 kapasitedeki basınç değerleri kayıt edilir. Bu değerleri yangın pompası fabrika performans eğrisindeki değerler ile karşılaştırılır. %10'dan fazla kapasite kaybı bulunuyorsa araştırma ve onarım gerekir. Test genellikle pompanın bir saat çalışması ile yapılır.

Sıfır Debi Testi:

Akışın olmadığı durumda, aşağıdakiler kontrol edilerek teste yaklaşık 30 dakika devam edilmelidir. Basınç rahatlatma vanası çalışması (mevcutsa), sirkülasyon rahatlatma vanası çalışması (mevcutsa), her bir akış durumunda (anma debisinin %100'ünde ve % 150'sinde) emme ve basma basınçları, elektrikli motor/pompa hızı (devir sayısı) kaydedilmeli ve görünür herhangi bir anormallik veya alarm gözlemlenmelidir.

Yıllık Bakım

Yıllık periyodik bakım yetkili servis tarafından yapılmalıdır. Elektrikli pompaların ve motor rulmanlarının yağlanması, kaplin ayarı vs. gibi işlemler yapılmalıdır. Dizel pompaların hava filtresi, yağ filtresi, yakıt filtresi vs. değişimleri yapılmalıdır. Ekipman bakımı imalatçı tarafından önerildiği şekilde yapılmalıdır.

7. RAPORLAMA

Mevzuata göre ekipmanların periyodik kontrolleri; bakanlık tarafından yayımlanan periyodik kontrol rapor formatı ve kriterlerine uygun olarak yapılması zorunludur. Ancak bakanlık tarafından yangın sistem ekipmanları konusunda hazırlanan format henüz taslak halinde olup, öneri olarak verilmiştir. Resmi onaylı bir format yayımlanmadığından, periyodik kontrollerde rapor format şartı aranmamaktadır.

Standartlara göre periyodik kontrollerde, kilit noktaların gözden kaçırılmaması için kontrol listeleri oluşturulur. Basılı veya dijital formlar ve raporlar kullanılabilir. Tüm dünyada başlayan dijitalleşme süreci bu konuda da devam etmektedir. Tek tuşla form ve rapor oluşturabilen bilgisayar uygulamaları bulunmaktadır. Periyodik kontroller sırasında binada bulunan sistemler için standartlarda verilen örnek kontrol listelerinden faydalanılabilir veya binanın ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kontrol listeleri ve formlar oluşturulabilir.

Ekipmanların periyodik kontrolü sonucunda düzenlenecek raporda aşağıdaki bölümler bulunmalıdır.

- Genel bilgiler: Bu bölümde işyerinin adı, adresi, iletişim bilgileri (telefon, faks, elektronik posta adresi, internet sitesi ve benzeri), periyodik kontrol tarihi, normal şartlarda yapılması gereken bir sonraki periyodik kontrol tarihi ve gerekli görülen diğer bilgilere yer verilir.
- Ekipmanına ait teknik özellikler: Raporun bu bölümünde periyodik kontrole tabi tutulacak ekipmanının adı, markası, modeli, imal yılı, ekipmanın seri numarası, konumu, kullanım amacı ile gerek görülen teknik özellikler ve diğer bilgilere yer verilir.
- Periyodik kontrol metodu: İlgili standart numarası ve adı, periyodik kontrol esnasında kullanılan ekipmanların özellikleri ve diğer bilgiler belirtilir.
- Tespit ve değerlendirme: Periyodik kontrolden elde edilen değerlerin, ekipmanın teknik özelliklerini karşılayıp karşılamadığı, ilgili standart ve teknik literatürde yer alan sınır değerlere uygun olup olmadığı kıyaslanarak değerlendirilir. Periyodik kontrolde uygulanan test ve diğer işlemlere ilişkin bilgilere yer verilir.
- Testler: Ekipmanının periyodik kontrolü esnasında yapılan testlerin sonuçları belirtilir.
- Öneriler: Yapılan periyodik kontrol sonucunda standartlara göre uygun bulunmayan hususların belirlenmesi halinde, bunların nasıl uygun hale getirileceğine ilişkin öneriler belirtilir.
- Onay: Bu bölümde periyodik kontrolleri yapmaya yetkili kişinin/kişilerin bilgileri, belirtilerek, imza altına alınır.

SONUÇ

Ülkemizde yapılan yangın tesisatlarının çoğu, devreye alındıktan sonra kendi haline terk edilmekte ve çalışır durumda olup olmadığı bile bilinmemektedir. Bu çalışma, yangın tesisatının durumu hakkında bilgi sahibi olmanın ve kurulu yangından korunma sistemlerine duyulan güveni arttıran kontrollerin, testlerin ve önleyici bakım eylemlerinin önemini vurgulamaktadır. Etkili ve sürdürülebilir bir kontrol programı oluşturmak, tam olarak anlamak ve uygulamak önemlidir. Periyodik kontrol ve bakım sistemi riskin azaltılarak mal ve can güvenliğinin sağlanabilmesi için elzemdir.

KAYNAKLAR

- [1] “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”, 2021
- [2] “İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği”, 2013
- [3] “Inspection, Test and Maintenance of Water-based Systems”, NFPA 25, 2020.
- [4] “Sulu Söndürme Tesisatı Ekipmanları için Denetim, Test ve Bakım El Kitabı”, TÜYAK, 2017

ÖZGEÇMİŞ

Özlem GÜNEÇ

1976 yılı Çanakkale doğumludur. 1994 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Satış, proje ve uygulama alanında on beş yıllık deneyiminin ardından 2012 yılında Profel Yangın firmasını kurmuştur. NFPA üyesi olup, Aynı zamanda NEBOSH “Uluslararası Risk Analizi Sertifikası” ve NICET sertifikasına sahiptir. TÜYAK Vakıf Yönetim Kurulu Üyesi olup, “Tüyak Yangın Mühendisliği Dergisi” ve Tüyak teknik komiteleri içerisinde “ Yangın Yönetmeliği Uygulama El Kitabı” konusunda devam eden çalışmalarda görev almaktadır. Halen kendi firmasında yangın korunum sistemleri ile ilgili tasarım, proje ve danışmanlık konularındaki çalışmalarına devam etmektedir.



YANGIN ALGILAMA VE UYARI SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM PROSEDÜRLERİ

Fire Detection And Warning Systems Periodic Control, Test And Maintenance Procedures

Volkan Aktaş

ÖZET

Günümüzde yangın algılama sistemleri, binaların ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak sadece algılama ve uyarı yapan sistemlerin dışına çıkarak diğer sistemlerle de aktif bir şekilde bağlantılı çalışma mecburiyetindedir. Bu nedenle Türkiye Yangından Korunma Yönetmeliği 2015 'te Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri; yangın algılama, alarm verme, kontrol ve haberleşme fonksiyonlarını ihtiva eden, komple bir sistem olarak tarif edilmektedir.

Yangın Algılama ve Uyarı Sistemleri; yangın gelişim evreleri göz önünde bulundurularak, yangınla mücadele stratejisi gereği insanların güvenli tahliyesi için gerekli olan zamanın sağlanması, öngörülen sürelerde insanların uyarılması ve tesis sorumlularının bilgilendirilerek tahliye kararlarının verilmesi, prosese bağlı olarak işletme sürekliliği ve mal korumaya yönelik tedbirlerin alınması, prosenin durdurulması, söndürme sistemlerinin devreye sokulması, duman tahliye sistemlerinin kontrolü gibi birçok fonksiyonu yerine getirmektedir.

Yangın algılama ve uyarı sistemlerinin gerektiğinde amacına uygun şekilde çalışabilmesi için, sistemin düzenli olarak denetlenmesi ve bakımının yapılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın konusu, EN54-14 ve Türkiye Yangından Korunma Yönetmeliğine göre kurulu sistemlerin sürekliliğini ve doğru çalışmasını sağlamak için yetkili servislerin ve son kullanıcının sorumluluğunda olan bakım talimatlarının içeriği, tarafların bakım periyotları ve düzeltici bakım faaliyetlerinin ne şekilde gerçekleştirileceğinin belirlenmesidir.

1. GİRİŞ

Yangın sistemlerinde hatasız ve 7gün/24 saat çalışmasının garanti edilebilmesi için düzenli sistem bakımı mutlaka yapılmalıdır. Yangın sistemleri bu doğrultuda korunması ve sürdürülmesi gereken önemli yatırımlardır. İdeal olarak, bir sistemin optimum yaşam beklentisine göre düşük maliyetli bir bakıma ihtiyaç duyması beklenir. Yangın sistemleri genellikle insan müdahalesi olmadan arka planda çalışmakta ve kapsamlı olarak kendi kendini test yetenekleri ile donatılmıştır. Sistemler hatalarını tespiti ile sınırlı olduğundan, arıza durumunda uygun önlemleri başlatabilmek için sistemin devamlı izlenmesi ve kontrolü gereklidir.

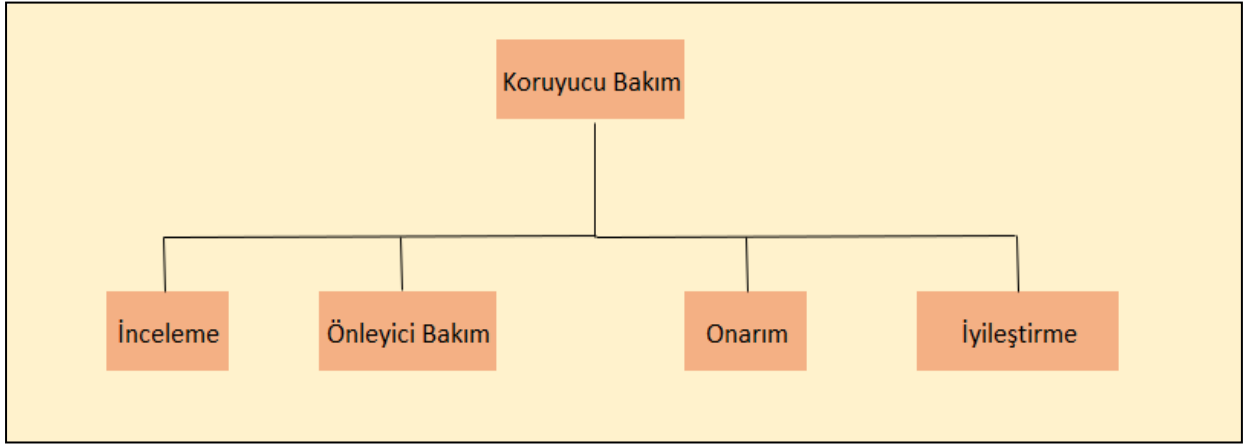
Yangın sistemlerine yapılan bakımlar, koruyucu ve düzeltici önlemler için yapılır. Bakımlar altyapıyı gerekli seviyede tutmak ve sistemi değişen çevre ve kullanım koşullarına sürekli olarak uyarlamak için gerekli tüm faaliyetleri içermelidir. Özellikle düzeltici önlemler genellikle ihmal edilir ve bunun çok geniş kapsamlı sonuçları olabilir. Örneğin yapısal değişikliklerden sonra, algılama sistemi yapıya uyarlanmaz ise sistemin zamanında tepki vermemesinden yanlış alarmlara kadar birçok olumsuz sonuç ortaya çıkabilir.

Koruyucu ve düzeltici bakım ile, müdahaleden önce net bir tanı konulmalıdır. Esasen bakım bu tanı öncesi teşhis faaliyetlerini de kapsar. İlaveten eğitim, yardım hattı desteği, yedek parça ve 7/24 kalifiye personelin bulunması gibi diğer konularda bakım kapsamında değerlendirilir.

Bakımlarda, yetkinliğini ve tecrübesini kanıtlamış üretici firmalar ya da bu firmaların bakım partneri olan deneyimli bir şirketin seçilmesi tavsiye edilir. Ek olarak, üretici firmanın ürün stratejisinin kademeli olarak modernleştirmeye imkan sağladığından, mevcut tesislerin ve sistemlerin ileriye doğru uyumlu bileşenler ürettiğinden emin olunmalıdır.

Bakımlar birçok ülkede yasalarca zorunlu hale getirilmiş, standartlar ve yönergeler ile kapsamaları açıkça tarif edilmiştir.

2. BAKIM FAZLARI



Koruyucu Bakım

Yangın sisteminin yaşam döngüsü boyunca tüm teknik ve idari önlemlerle birlikte, sistemin fonksiyonel durumunu korumak veya gerekli işlevleri yerine getirebileceği duruma geri döndürmek amacıyla yapılan tüm faaliyetlerdir.

İnceleme

Yangın sisteminin mevcut durumunu belirlemek ve değerlendirmek amacıyla, aşınma nedenlerini belirlemek ve gelecekteki kullanım için gerekli sonuçları elde etmek üzere yapılan faaliyetlerdir.

Önleyici Bakım

Mevcut sistemin aşınmasını veya devre dışı kalmasını geciktirecek tüm tedbirlerdir.

Onarım

Yangın sistemini işlevsel durumuna geri döndürmeye yönelik tüm faaliyetlerdir.

İyileştirme

Yangın sisteminin işlevsel güvenliğini, gerekli olan işlevi değiştirmeden arttırmak için yapılan tüm teknik ve idari önlemlerin birleşimidir.



Satış sonrası tüm bu hizmetler, satın alma işleminden sonra yüklenici veya üretici tarafından sunulan hizmetlerdir. Bu başlangıçta muayene ve bakımı, zaman içinde kullanımdan veya uzun vadede belirtilen koruma hedeflerine ulaşmak için yapılan çalışmalarda tüm ayarlamaları içerir.

3. TS CEN/TS 54-14'E GÖRE BAKIM TALİMATLARI

3.1 KULLANICI SORUMLULUKLARI (BÖLÜM-11)

Tesis sahibi aşağıdaki işlemlerin yapılmasından sorumludur ve bu amaçla bir veya daha fazla sayıda kişiyi tayin etmelidir:

- Sistemden kaynaklanan çeşitli alarmlar, uyarılar ve diğer olaylarla müdahale prosedürlerinin belirlenmesi,
- Paneli çalıştırmaya yetkili kişilerin eğitimi,
- Dedektörlerin kesim, kaynak, testere, sigara, ısıtma, pişirme, egzoz dumanları vb. nedeniyle kaynaklanan yanlış alarmların önlenmesi,
- Herhangi bir kullanım veya binanın konfigürasyonunda önemli değişiklikler olması durumunda sistemin uygun şekilde modernizasyonunu sağlamak,
- Yangına dayanıklı kapıları içermeli, senaryo ve yangın koruma planına dahil edilmelidir.
- Gerektiğinde uygun bir bölge haritasının gösterilmesini ve güncel tutulmasını sağlamak,
- Kayıt defteri tutmak ve sistemden kaynaklanan veya sisteme etki eden tüm olayları kaydetmek,
- Bakımın (Bölüm-12) doğru aralıklarla yapılmasını sağlamak,
- Bir arıza, yangın veya sistemi olumsuz yönde etkileyebilecek başka bir olayın meydana gelmesinden sonra sistemin uygun şekilde hizmet edilmesini sağlamak,

Yukarıdaki işlemlerin takibi için tayin edilen kişilerin adı günlük defterine kaydedilmeli ve bu kayıtlar güncel tutulmalıdır. Yukarıdaki işlemlerin bazıları veya tümü üçüncü bir tarafa (kurulum veya servis kuruluşu gibi) sözleşme ile devredilebilir.

Günlük Kullanıcı Bakımı (Madde-11.2.1);

- Sistemde yeni arıza olmadığını ve stabil (yeşil) gösterge ışığının yandığını doğrulamak için panelin en az 24 saatte bir ön gösterge panelinin kontrol edildiğinden emin olunmalıdır.
- Yeni olaylar için kayıt defteri kontrol edilmeli ve gerekli işlemler yapılmalıdır.

Aylık Kullanıcı Bakımı (Madde-11.2.2);

- Her dedektörün çevresinde ve altında en az 0,5 m boşluk bırakılmalıdır.
- Yangın ürünlerin, dedektörlere doğru hareketini engelleyebilecek engeller kaldırılmalıdır.
- Yangın ihbar butonlarına erişim engellenmemelidir ve yedek camların kullanılabilir olduğu kontrol edilmelidir.
- Panel ana besleme ve yedek güç kaynağının doğru çalışması kontrol edilmelidir. (Bkz. 6.8.2)

Yıllık Bakım(Madde-11.2.3);

Yıllık bakım içeriği standardın EK-D başlığında ve Tablo D1'e detaylandırılmıştır.

3.2 BAKIM (BÖLÜM-12)

Genel

- Kurulu sistemin sürekliliğini ve doğru çalışmasını sağlamak için, sistem düzenli olarak denetlenmeli ve bakım yapılmalıdır.
- Genel olarak, kullanıcı ve / veya işletme sahibi ile kurulu sistemin bakımını (inceleme, servis ve onarım dahil) yapmaya yetkili bir kuruluş arasında bir sözleşme yapılmalıdır.



- Bakım ulusal gerekliliklere göre yapılmalıdır.
- Bakım hizmeti sağlayıcılarının sertifikasyonu için ulusal gereksinimler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Sistemde yapılan çalışmalar kayıt defterine kaydedilmelidir. Çalışmanın tamamlanmasının ardından bir bakım onayı verilmelidir (bkz. Ek D).
- Sistemin tespit edilen eksiklikleri sorumlu kişiye yazılı olarak bildirilmelidir.
- Kurulu sistemin kullanıcısı ve / veya sahibi, yangın algılama ve alarm sisteminin bakımının yapılmasından sorumludur.
- Bakım sorumluluğu, bakım işini yapan kuruluşun içindedir.
- Bakım, yalnızca kurulu sistemin bakımı (muayene, servis ve onarım dahil) için nitelikli bir kuruluş tarafından yapılmalıdır.

Bakım Periyodu

- Bir muayene ve servis rutini benimsenmelidir.
- Bu rutin, normal şartlar altında sistemin sürekli olarak doğru şekilde çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır.
- Uygun bir bakım rutini için Ek D baz alınmalıdır.

Bakım sırasında itfaiye ve kurtarma servisine istenmeyen yangın sinyallerinin önlenmesi

- Bakım işlemlerinin yanlış alarma neden olmaması için önlemler alınmalıdır.
- Uzak izleme merkeze bağlantı mevcutsa ve test sırasında etkinleşecekse, testi gerçekleştirmeden önce merkeze haber vermek gerekir.
- Sisteme ait sesli ve görsel alarm cihazlarının çalıştırılmasına neden olabilecek herhangi bir testten önce tesis sakinleri bilgilendirilmelidir.

Rutin testler sırasında istenmeyen aktivasyonun önlenmesi

- Bakım işlemlerinin yangından korunma ekipmanlarında istenmeyen aktivasyonuna yol açmaması sağlanmalıdır.
- Eğer diğer yangın koruma ekipmanına bir bağlantı mevcutsa ve yapılacak testin koruma ekipmanının bir testi olması amaçlanmıyorsa, bağlantı veya koruma ekipmanı test süresince devre dışı bırakılmalıdır.
- Yangın alarm sisteminin yangın kapılarını veya benzer ekipmanları otomatik olarak çalıştıracığı durumlarda, testin olası etkileri konusunda yolcuların bilgilendirilmesine dikkat edilmelidir.

Bakım sırasında alınacak önlemler

Bakım sırasında dedektörler test moduna geçirilirse aşağıdakiler uygulanmalıdır:

- Birden fazla yangın bölmesi bulunmayan algılama bölgeleri test moduna geçirilmelidir.
- Test modunda olan bir bölgeden çıkan gerçek bir yangına insan müdahalesini sağlamak için özel dikkat gösterilmelidir (insanlar bu bölgede yangın algılama ve alarm sistemlerinin geçici olarak devre dışı bırakıldığı farkında olmalıdır).

Düzeltilici Bakım Durumunda

- a) Sistemin herhangi bir göstergesinin arızası;
- b) Sistemde olası bir arıza şüphesi (örneğin bir yangın olayından sonra);
- c) Sistemin herhangi bir parçasının zarar görmesi;
- d) Servis veya muayene sonrası tespit edilen arızalar;

Kullanıcı ve / veya sahibi, sistemin mümkün olan en kısa sürede düzeltilmesini / onarılmasını sağlamalıdır.



Yedekler

Tesiste en az aşağıdaki yedek parçaların bulundurulması gerekir:

- a) Korunan alandaki 12'den az yangın ihbar butonu olmadığı sürece 6 adet kırılabilir eleman ve yangın ihbar butonları için uygun araç; aksi takdirde uygun araçlara sahip iki yedek kırılabilir eleman.
**Sıfırlanabilir yangın alarm butonları kullanılıyorsa gerekli değildir.
- b) Panelin dahili bir yazıcısı varsa, yazıcı sarf malzemeleri (kağıt, vb.)
- c) Daha büyük tesisler için (1.000'den fazla dedektör), sistem kayıt defterinin yedek bir kopyasının bulunmasını sağlamak mantıklı olacaktır.
- d) Kullanıcı ve sistemin bakımından sorumlu olan kuruluş arasında mutabık kalınan bu tür diğer yedek parçalar.

3.3 BAKIM RUTİNİ (EK-D)

Bakım konusunda standardın 12. maddesi ve Ek-D başlığı bizlere detaylı bilgi vermektedir.

Bu maddelere göre yetkili servislerce Ek-D D.1.1-D.1.12 'deki bakım referanslarına uygun olacak şekilde 12 aylık periyodun sonunda tüm cihazların testlerinin ilgili referans maddelerindeki tanımlamalara uygun şekilde yapılması istenmektedir.

- D.1.1 Butonlar İçin Bakım Talimatları
- D.1.2 Tüm Dedektör Tipleri ve Algılama Teknolojileri İçin Bakım Talimatları
- D.1.3 Sesli ve Görsel Alarm Cihazları İçin Bakım Talimatları
- D.1.4 Yangın Alarm ve Tekrarlama Paneli Sesli ve Görsel Uyarı Göstergeleri İçin Bakım Talimatları
- D.1.5 Radyo Bağlantılı Sistemler İçin Bakım Talimatları
- D.1.6 Ana Besleme ve Yardımcı Güç Kaynağı İçin Bakım Talimatları
- D.1.7 Tüm G Tipi Fonksiyonların Aktivasyonu İçin Bakım Talimatları
- D.1.8 İftaiyeci Paneli İçin Bakım Talimatları
- D.1.9 İftaiye Anahtar Kasası İçin Bakım Talimatları
- D.1.10 Alarm ve Hata Uyarılarının İzleme ve Yönlendirmeleri İçin Bakım Talimatları
- D.1.11 Buton, Dedektör, Sesli ve Görsel Uyarı Cihaz Yerleşim Kontrolleri İçin Bakım Talimatı
- D.1.12 Sistem Geriye Dönük Mesaj Hafızasının Kontrolü İçin Bakım Talimatları

Tablo-1 Bakım Periyodu

Yangın Alarm Sistemi Bölümü	Referanslar	Nitelikli bir şirket tarafından muayene aralığı			Kullanıcı tarafından inceleme aralığı		
		Aralık	Üretici tarafından belirlenen sapma	Sahaya özgü sapma	Aralık	Üretici tarafından belirlenen sapma	Sahaya özgü sapma
Yangın ihbar butonları (D)	D.1.1	12			1		
Yangın ihbar butonlarına erişim	D.1.1	12			1		
Otomatik Dedektörler (A)	D.1.2	12			3		
Uzak göstergeler	D.1.2	12			3		
Etiketler	D.1.2	12			3		
Dedektörlerin etrafındaki boş alan	D.1.2	12			3c		
Alarm cihazları (C)	D.1.3	12			3		
Yangın alarm paneli (B)	D.1.4	12			Günlük		
Fonksiyon kontrolü	D.1.4	12			-		
Tesis özel parametreler	D.1.4	12			-		
Yardımcı gösterge panelleri	D.1.4	12			3		
Olay yazıcısı	D.1.4	12			1		
Radio sinyal günü	D.1.5	12			12		
Güç kaynağı (L)	D.1.6	12			3		
Yardımcı yangından korunma ekipmanı(G)	D.1.7	12			12		
İtfaiye paneli (M)	D.1.8	12			3		
İtfaiye paneli anahtar	D.1.9	12			3		
Ulaşılabilirlik	D.1.9	12			12d		
Alarm iletim birimleri (E)	D.1.10	12			-		
Hata iletim birimleri (J)	D.1.10	12			-		
Kullanım alanlarında değişiklikler	D.1.11	12			3		
Dokümantasyon	D.1.12	12			3		
Kayıt Defteri	D.1.12	12			1		

D.1.1 Her yangın butonunun anahtar mekanizması, yangın durumunda çalıştırılacağı şekliyle, kırılabilir bir elemanın çıkarılmasıyla, bir test anahtarının takılmasıyla veya cihazın çalıştırılmasıyla test edilmelidir.

Tüm manuel yangın butonlarının engellenmemiş ve dikkat çekici olup olmadığını doğrulamak için özel dikkat gösterilmelidir.

D.1.2 Tüm otomatik yangın dedektörleri ve uzak dedektörler, doğru şekilde etiketlendiklerinden ve hasar görmediklerinden, boyanmadıklarından veya başka bir şekilde olumsuz etkilenmediklerinden emin olmak için, uygulanabilir olduğu ölçüde incelenmelidir. Daha sonra her dedektör işlevsel olarak test edilmelidir. Kullanılan testlerin yalnızca dedektörlerin sisteme bağlı olduğunu, çalışır durumda olduğunu ve algılamak üzere tasarlandıkları olaylara yanıt verebildiklerini kanıtlaması gerekir. Takıldığı yerlerde, dedektör uzaktan göstergeleri de doğru çalışma için kontrol edilmelidir.

Dedektörün bu şekilde çalıştırılması, algılama elemanının bir kısmının veya tamamının değiştirilmesini gerektirmedikçe (Örn; eriyebilir bağlantı noktası dedektörlerinde veya entegre olmayan lineer dedektörlerde olduğu gibi), her bir sıcaklık dedektörü, uygun bir ısı kaynağı aracılığıyla işlevsel olarak test edilmelidir. Kablo tipi lineer sıcaklık dedektörleri için özel test düzenekleri kullanılmalıdır, Isı kaynağı yangını tutuşturma potansiyeline sahip olmamalıdır ve canlı alev kullanılmamalıdır. Patlayıcı ortamlarda özel test ekipmanları gerekli olabilir.

Noktasal duman dedektörleri, dumanın dedektör hücresine girebileceğini ve bir yangın alarm sinyali üretebileceğini doğrulayan bir yöntemle işlevsel olarak test edilmelidir (örneğin, dedektör etrafında simüle duman veya uygun aerosoller oluşturan aparatların kullanılmasıyla). Kullanılan malzemenin

dedektöre zarar vermemesi veya sonraki performansını etkilememesi sağlanmalıdır, üreticinin malzemelerle ilgili yönergelerine uyulmalıdır.

Işın tipi duman dedektörleri, bir optik filtre (veya dumanın neden olduğu karartmayı simüle etmenin benzer bir yöntemi), duman veya simüle edilmiş duman kullanılarak verici ve alıcı arasına sinyal zayıflaması getirilerek işlevsel olarak test edilmelidir.

Hava çekmeli hassas duman dedektörleri, dumanın dedektör hüzmesine girebileceğini ve bir yangın alarm sinyali üretebileceğini doğrulayan bir yöntemle işlevsel olarak test edilmelidir. Kullanılan malzemenin dedektörlerin sonraki performansına zarar vermemesi veya etkilememesi sağlanmalıdır; üreticinin uygun malzemelerle ilgili yönergelerine uyulmalıdır.

Ayrıca, dumanın her bir numune alma noktasına (veya imalatçı tarafından bir nokta duman dedektörü ile aynı alanı kaplaması için tavsiye edilen numune alma noktalarının toplanmasına) girebildiğini doğrulamak için uygun testler yapılmalıdır.

Bu, sırayla her örnekleme noktasına duman verilerek ve dedektörde bir yanıt doğrulanarak sağlanabilir. Ancak, erişimin kısıtlandığı veya diğer saha koşullarının bunu engellediği durumlarda, aşağıdakiler gibi diğer doğrulama teknikleri kullanılmalıdır:

- En uzak delikten veya özel bir test noktasından taşıma süresinin doğrulanması ve sapmaları belirlemek için önceden kaydedilen sonuçlarla karşılaştırılması;
- Akış izlemenin, tek bir örnekleme noktasındaki (veya ilgili riskler için kabul edilebilir olduğu düşünülen örnekleme noktalarının toplanmasını) tespit edebildiğinin doğrulanması;
- Algılama performansı kaybına işaret edecek sapmaları belirlemek için akış okumalarının incelenmesi ve önceden kaydedilen sonuçlarla karşılaştırılması;
- Her örnekleme noktasında basıncın ölçülmesi ve tespit performansında bir kayıp olduğunu gösterecek sapmaları belirlemek için önceden kaydedilen sonuçlarla karşılaştırılması;
- Kullanılan teknik, ASD teknolojisinin belirli özelliklerine, belirli uygulamanın riskine ve ayrıntılarına bağlıdır. Bu tür teknikler, mümkün olduğunda örnekleme noktalarının görsel muayenesi ile desteklenebilir. Ancak yeterli tespit performansının korunduğunun doğrulanması önemlidir.

Kullanılan tekniklerin detayları kaydedilmeli ve tüm taraflar bu tekniklerde mutabık kalmalıdır. NOT Daha fazla bilgi için Aktif Hama Çekmeli Duman Dedektörleri (ASD) Sistemlerinin Tasarımı, Kurulumu, Devreye Alınması ve Bakımı için FIA Uygulama Kurallarına [EN 54-10] bakılabilir.

Karbon monoksit yangın dedektörleri, karbon monoksitin dedektör hüzmesine girebileceğini ve bir yangın alarm sinyali üretebileceğini doğrulayan bir yöntemle işlevsel olarak test edilmelidir (örneğin, karbon monoksit üreten test aparatı veya elektrokimyasal üzerinde benzer bir etkiye sahip bir gaz kullanılarak.)

UYARI - Karbonmonoksit oldukça zehirli bir gazdır ve kullanımında uygun önlemler alınmalıdır.

Kullanılan herhangi bir test gazının dedektöre zarar vermemesini veya sonraki performansını etkilememesini sağlamak gereklidir. Bunun için üreticinin uygun test gazları hakkındaki yönergelerine uyulmalıdır.

Alev dedektörleri, dedektörün uygun bir radyasyon frekansına tepki vereceğini ve bir yangın alarm sinyali üreteceğini doğrulayan bir yöntemle işlevsel olarak test edilmelidir. Üreticinin dedektörlerin test edilmesine ilişkin rehberliğine uyulmalıdır.

Analog değerlerin YAP'de belirlenmesini sağlayan yangın algılama sistemlerinde, her bir analog değer üretici tarafından belirtilen aralık içinde olduğu doğrulanmalıdır.

Çok sensörlü dedektörler, dedektörün yakınındaki yanma ürünlerinin sensörlere ulaşabildiğini ve uygun şekilde bir yangın sinyalinin üretilebileceğini doğrulayan bir yöntemle çalıştırılmalıdır. Üreticinin, dedektörün işlevsel olarak etkin bir şekilde test edilebileceği yöntemle ilgili rehberliği izlenmelidir.

Uzaktan göstergeler, işlevsellik ve doğru etiketleme açısından kontrol edilmelidir.



Her otomatik dedektörün etrafında 0,5 m'lik engelsiz bir boş alan olduğunu doğrulamak için özen gösterilmelidir.

D.1.3 Tüm yangın alarm cihazlarının doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Görsel yangın alarm cihazlarının görüşe engel olmadığı ve lenslerinin temiz olduğu teyit edilmelidir.

D.1.4 Yangın panelindeki tüm izlenmeyen, sürekli yanan lamba göstergeleri değiştirilmelidir. Sebep ve sonuç programının hala doğru olduğu onaylanmalıdır.

Yangın paneli üzerindeki tüm fonksiyon gösterge tuşları (alarm, hata uyarısı, devre dışı bırakma ve test koşulu) EN 54-2'nin tüm koşullarına uygun şekilde test edilmelidir.

Yardımcı gösterge paneli için gerekli tüm işlevler, doğru gösterimleri dahil olmak üzere test edilmelidir.

Yeterli oranda baskı sarf malzemesinin sağlanması ile birlikte yazıcının doğru işlevi kontrol edilmelidir.

D.1.5 Madde 27'nin uygulandığı radyo bağlantılı sistemlerdeki radyo sinyali güçleri, yeterlilik açısından kontrol edilmeli ve sonuçlar kaydedilmelidir.

D.1.6 Alarm ve arıza uyarı koşulu akımı, hem ölçülecek hem de yedek güç kaynağı kapasitesinin yedekleme süresi için uygun kaldığını doğrulamak için kullanılacaktır.

D.1.7 Tüm G tipi işlevlerin etkinleştirilmesini kontrol edilecektir.

Test, arayüz cihazının aktivasyonunun bir teyidi ile sınırlı olacaktır ve H tipi fonksiyonun çalışmasını hariç tutabilir. Bu test sırasında kullanıcının eş zamanlı olarak H tipi cihazların doğru işlevini test etmesi tavsiye edilir.

D.1.8 İtfaiye paneli için geçerli olan standardın tüm koşulları ve işlevleri, YAP üzerindeki doğru gösterimleri dahil olmak üzere test edilecektir.

İşin tamamlanmasının ardından, tüm önemli kusurlar kullanıcıya bildirilmeli ve servis teyidinde inceleme ve testin bir kaydı yapılmalıdır.

D.1.9 İtfaiye anahtar kasesinin doğru çalışıp çalışmadığı, bırakılan genel anahtarın veya anahtar kartının hala tüm kapıların kilidini açtığı teyidi dahil olmak üzere kontrol edilmelidir.

D.1.10 Bir yangın alarmı olayı ve arıza alarmı olayı başlatarak ve alarm alma merkezinde ve / veya arıza uyarısı alma merkezinde doğru alarmı doğrularak alarm yönlendirme ve arıza uyarısı yönlendirme cihazlarının doğru çalışıp çalışmadığını kontrol edilmelidir.

D.1.11 Manüel yangın butonlarının, otomatik yangın dedektörlerinin ve yangın alarm cihazlarının konumlandırılmasına yönelik bu kılavuzların tavsiyelerine sistemin yapısal veya kullanım değişikliklerinin uygunluğunu etkileyip etkilemediğini kontrol etmek için görsel inceleme yapılmalıdır.

D.1.12 Sistem kayıt defteri incelenmelidir. Kaydedilen herhangi bir arızaya uygun şekilde dikkat edildiğinden emin olunmalıdır. Yangın algılama ve ihbar sistemi için gerekli belgelerin eksiksiz, doğru ve güncel olduğundan emin olmak için görsel inceleme yapılmalıdır.

3.4 SİSTEM KAYIT DEFTERİ (EK-B MODEL DOKUMANLAR)

Bu kayıt defterindeki tüm girişleri denetlemek veya yürütmeyi sağlamak için sorumlu atanmalıdır. Bu kişinin adı (ve sorumlu kişinin herhangi bir değişikliği) kaydedilmelidir.

Tüm olaylar (yangın alarmları, yanlış alarmlar, arızalar, ön alarm uyarıları, testler, devre dışı bırakmalar, geçici bağlantı kesilmeleri, servis ziyaretleri ve diğer önemli olaylar dahil) uygun şekilde kaydedilmelidir. Gerçekleştirilen veya bekleyen herhangi bir iş için kısa bilgilendirme notları alınmalıdır.

SYSTEM LOGBOOK

Foreword
A responsible executive should be appointed to oversee or carry out all entries in this logbook. The name of this person (and any changes of responsible person) should be recorded.

Reference data
Name and address

.....

Responsible person Date

..... Date

..... Date

..... Date

The system was installed by

and is maintained under contract by.

.....

until

Telephone number E-mail address: should be contacted if service is required.

Event data
All events (including fire alarms, false alarms, faults, pre-alarm warnings, tests, disablements, temporary disconnections, service visits and any other significant occurrences) should be properly recorded. A brief note of any work carried out or outstanding should be made.

Date	Time		Alarm counter reading	Event	Zone (detector)	Location	Reason /Action	Name and signature
	• OFF	• ON						

Expendable components:

.....

.....

.....

.....

Replacement due:

.....

.....

.....

Figure B.5 — Model logbook

3.5 MUAYENE VE SERVİS ONAY BELGESİ (EK-D.2)

Yangın algılama ve ihbar sistemi için verilen muayene ve servis hizmetlerinin, sisteminin servisinden sorumlu firmadaki yetkili kişi / kişiler tarafınca söz konusu işin CEN/TS 54-14: 2018 Madde- 12'deki tavsiyelere göre yapıldığı aşağıdaki onay dokümanı ile kayıt altına alınmalıdır.



D.2 Inspection and servicing confirmation

Confirmation of servicing for the fire detection and fire alarm system at:

Address:.....
.....

I/we being the competent person(s) responsible (as indicated by my/our signatures below) for the servicing of the fire detection and fire alarm system, particulars of which are set out below, CERTIFY that the said work for which I/we have been responsible complies to the best of my/our knowledge and belief with the recommendations of Clause 12 of CEN/TS 54-14:2018 quarterly inspection of vented batteries/periodic inspection and test/inspection and test over a 12 month period (delete as applicable), except for the variations, if any, stated in this confirmation.

Name (in block letters):.....Position:.....

Signature:Date:.....

For and on behalf of:

Address:.....
.....Postcode:

The extent of liability of the signatory is limited to the system described below.

Extent of system covered by this confirmation:

.....
.....Variations from the recommendations of Clause 12
of CEN/TS 54-14:2018 for periodic or annual inspection and test (as applicable):
.....
.....

Relevant details of the work carried out and faults identified have been entered in the system logbook.

During the past 12 months ... false alarms have occurred. This equates to ... false alarms per 100 automatic fire detectors per annum.

The following work/action is considered necessary:

.....
.....
.....

.....Please add additional pages if necessary

4. BAKIM FİRMASI YETERLİLİKLERİ VE SEÇİMİ

Yangın algılama ve alarm sisteminin periyodik bakım ve onarım işlerinin yeterli niteliklere sahip firmalar tarafından yapılması sağlanmalıdır.

Bakım firması en az aşağıdaki yeterlilikleri sağlaması istenmelidir. Bunlar;

- 1 Bakım yapacak firmanın, ilgili markaya ait yetkili distribütörlük belgesi veya yetkili distribütörden alınmış yetki belgesi olmalıdır.



- 2 Bakım yapacak firma, distribütör değil ise bakım, servis ve devreye alma konularında alınmış eğitim sertifikasına sahip olması.
- 3 TSE Hizmet Yeri yeterlilik belgesi (TSE-HYB) olmalıdır. Bu belge TS 12849 'a göre ilgili yangın sistemi markalarını içermeli ve güncel tarihli olmalıdır.
- 4 Hizmet verecek firmanın ISO 9001 : 2015 belgesi bulunmalıdır.
- 5 1.5 Bakım yapacak firma ilgili yangın alarm sistemlerinin bakımı için gerekli olan her türlü test, ölçüm, analiz cihazlarını demirbaşında bulunduruyor olmalıdır. Teklif ekinde bu amaçla kullandığı cihazların listesini üretici firma kodları ile vermelidir.
- 6 Bakım firması uygun ISG eğitimlerini almış ve eğitim sertifikasına sahip olmalıdır. İşin yapımı için gerekli iş güvenliği ekipmanları bakım firması tarafından sağlanmalıdır.

5. ÖRNEK YANGIN ALARM SİSTEMİ TEST VE BAKIM RAPORU

Firmalar bakım prosedürleri için standart ve yönetmelik hükümleri paralelinde, her projenin gereklerine uygun bir kontrol listesi oluşturabilirler. Burada amaç; listenin standartta geçen bakım tariflerine uymasını ve hizmet alan son kullanıcı tarafından yönergelerin kolaylıkla anlaşılabilirliğini sağlamaktır.

Örnek kontrol listeleri aşağıda gösterilmiştir.

YANGIN ALARM SİSTEMİ TEST VE BAKIM RAPORU						
Firma	: 0	Tarih	: 1.12.2019			
Adres	: 0	Referans	: 0			
	: 0	Hazırlayan	: 0			
İlgili	: Sn.	E-mail	: 0			
Tel	: 0	Standart	: EN 54 - 14			
Proje	: 0			Sayfa	2	7
Dedektörler				Evret	Hayır	Miscut Değil
1.	Yangın alarm butonları testi başarılı					
2.	Optik duman dedektörleri testi başarılı					
3.	Sıcaklık dedektörleri testi başarılı					
4.	Kanal tipi optik duman dedektörleri testi başarılı					
5.	Kanal tipi optik duman dedektörleri alarm verdiğinde ilgili klima kapanıyor					
6.	Sprinkler flow switchleri testi başarılı					
7.	Sprinkler vanaları testi başarılı (kapalı durum arıza)					
8.	Dedektörler için kirlilik seviye raporu alındı					
9.	Bakım ve temizleme sonrası dedektörler için kirlilik seviye raporu alındı					
10.	Tüm dedektörlerin %30'u test edildi					
Dedektörler için Açıklamalar:						
Devreye alınan tüm dedektörlerin %30'u test edildi. Dedektörlerin tamamı sistemin yıllık son bakımında test edilmiş olacaktır. Ayrıca sistemdeki tüm dedektör, modül, buton vb. cihazların durumlarını, I-Check Loop Diyagnostik yazılımı test edilmektedir. Bu yüzden tüm dedektörlerin testine gerek yoktur.						



YANGIN ALARM SİSTEMİ TEST VE BAKIM RAPORU				
Firma	: 0	Tarih	: 1.12.2019	
Adres	: 0	Referans	: 0	
	: 0	Hazırlayan	: 0	
İlgili	: Sn.	E-mail	: 0	
Tel	: 0	Standart	: EN 54 - 14	
Proje	: 0	Sayfa	3 / 7	
Yardımcı Fonksiyon ve Kontroller				
		Evet	Hayır	Mevcut Değil
1.	Sesli tahliye sisteminin aktivasyonu için bölge miktarı kadar modül bağlantısı var			
2.	Tahliye anonsları testi başarılı			
3.	Tahliye anonsları duyulabilir ve anlaşılır			
4.	Tahliye anonsu için 2. dil seçeneği var mı? Testi başarılı			
5.	Tesis senaryosuna uygun olarak tüm duman / yangın damperleri çalışıyor			
6.	Tüm duman / yangın damperleri sistemden izlenebiliyor			
7.	Yangın merdiveni ve acil durum asansör kovası basınçlandırılıyor			
8.	Basınçlandırma fanları doğrudan sistemden kontrol ediliyor			
9.	Yangın merdivenleri kovalarında duman basıncı dengeleniyor			
10.	Duman alma aspiratörleri doğrudan sistemden kontrol ediliyor			
11.	Yangın durumunda asansörler otomatik olarak zemine çağılarak park ediyor			
12.	Otopark fan ve aspiratörleri yangın durumunda otomatik kontrol ediliyor			
13.	Yangın durumunda kontrol önceliği sistem tarafından otomatik olarak alınıyor			
14.	Manyetik kapı tutucular alarm durumunda yangın kapılarını bırakıyor			
15.	Yangın durumunda kontrollü geçişler serbest geçişe izin veriyor			
16.	Otomatik söndürme sistemleri durum bilgileri sistemden izlenebiliyor			
17.	Otopark karbonmonoksit sistem durumları sistemden izlenebiliyor			
18.	Yedek güç kapasitesi (aku kapasitesi)			
19.	İtfaiyeci (mimik) panel kontrol testi başarılı			
20.	İtfaiyeci (mimik) panel led göstergesi testi başarılı			
21.	İtfaiyeci (mimik) panel kontrol önceliği testi başarılı			
Yardımcı Fonksiyon ve Kontroller için Açıklamalar:				

YANGIN ALARM SİSTEMİ TEST VE BAKIM RAPORU				
Firma	: 0	Tarih	: 1.12.2019	
Adres	: 0	Referans	: 0	
	: 0	Hazırlayan	: 0	
İlgili	: Sn.	E-mail	: 0	
Tel	: 0	Standart	: EN 54 - 14	
Proje	: 0	Sayfa	4 / 7	
Kullanıcı Fonksiyon ve Kontrolleri				
		Evet	Hayır	Mevcut Değil
1.	Sistem insanli ve insansiz çalışma testi başarılı			
2.	Sistem müdahale süresi testi başarılı			
3.	Yangın alarm inceleme süresi testi başarılı			
4.	Şebeke yok bildirim süresi testi başarılı			
5.	Sistem tarih ve saat ayarları doğru			
6.	Geçikmeli çalışma isteniyor			
7.	Geçikmeli mod başlangıç saati ayarlandı			
8.	Geçikmeli mod başlangıç testi başarılı			
9.	Geçikmesiz mod başlangıç saati ayarlandı			
10.	Geçikmesiz mod başlangıç testi başarılı			
11.	Çevrim hattı kopuk arıza bildirim testi başarılı			
12.	Çevrim hattı kısa devre arıza bildirim testi başarılı			
13.	Siren hattı arıza bildirim testi başarılı			
14.	Aku arıza bildirim testi başarılı			
15.	Buzzer susturma testi başarılı			
16.	Uyarı (siren/ flaşör) susturma testi başarılı			
17.	Sistem resetleme testi başarılı			
18.	Dedektör ve/veya bölge bakım modu testi başarılı			
19.	Dedektör ve/veya bölge izolasyon testi başarılı			
20.	Dedektör ve/veya bölge aktivasyon testi başarılı			
21.	Alarm ve/veya arıza inceleme testi başarılı			
22.	Kullanıcı şifre testi başarılı			
Kullanıcı Fonksiyon ve Kontrolleri için Açıklamalar:				

YANGIN ALGILAMA VE UYARMA SİSTEMLERİ İÇİN PERİYODİK KONTROL FORMU				
Testin Adı				Kontrol Tarihi
Bulunduğu Adres				
Periyodik bakımı gerçekleştiren firma				
Devreye alma ve ilk test tarihi				
Sistem tipi	Noktasal bildirim esaslı (Adresli)	Bölgesel bildirim esaslı (Konvansiyonel)		
Periyodik kontrol öncesi "Periyodik Bakım Gerçekleştirilen Firma" tarafından hazırlanmış olan, periyodik bakım ve test tutanakları işleme başlamadan önce teslim edilir. İşletme Sorumlusu tarafından bir bilgilendirme belgesi imzalanır. "Periyodik Bakım Gerçekleştirilen Firma" nezaretinde İşletme Sorumlusu tarafından aşağıdaki kontroller gerçekleştirilir. Bu kontroller ve tespitler, yangın algılama ve uyarma sistemlerinin, binalarda yangın risklerini engellemek ve yangını erken tespiti sağlayacak şekilde, yangın ile mücadele aşamasında gerekli mekanik, elektrik ve elektronik sistemleri kontrol edecek özelliklerde olması için, "Binalarda Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" hükümleri ve TS CEN/TS 54-14 standartlarına uygun projelendirilmesi, gerekli malzemelerin TS EN-54 standartlarına ilgili bölümlerine uygun olarak seçilmesi, montaj, işletmeye alma, denetim, kullanım ve bakım aşamalarının ayrıntılı bulundurulması yönetmelik hükümleri ve standartlar doğrultusunda yapılmasını, yürürlükte olan ilgili yönetmelikleri kapsar.				
KONTROL VE TESPİTLER				
	UYGUN	UYGUN DEĞİL	GEREKLİ DEĞİL	NOT
Bakım ve test işlemlerinin ve periyodik TS CEN/TS 54-14 Standardında işletme ve bakım ile ilgili maddelerine göre anlaşılmalı firma tarafından yapılması				
Yangın algılama için kullanılan dedektörlerin ortamlara göre uygun tipte olması ve miktarının olması (TS CEN/TS 54-14 Standardının 6.4 ve 6.4.2 bölümlerinde yer alan şartlara göre)				
Yangın alarmi butonlarının yerleşimleri, etijim mesafeleri ve montaj yükseklikleri (TS CEN/TS 54-14 Standardının A.6.4.4 bölümünde yer alan şartlara göre)				
Kapalı mekanlarda, asma tavan içlerinde ve yüksekliği ölçüme aklarında bulunan dedektörlerin uygun lambaların en kolay şekilde görülebilir hale getirilmesi için ortak mekanlara paralel ihbar lambaları tesis edilmesi				
Sesli ve ışıklı alarm cihazlarının yerleşimleri (TS CEN/TS 54-14 Standardının A.6.5 bölümünde yer alan şartlara göre yapılacaktır. Ayrıca, ses seviyeleri EN 60849 standardına uygun değerlerde hesaplanacak ve buna göre sesli alarm cihazlarının yerleşimleri yapılacaktır. Sesli ve ışıklı alarm cihazlarının toz, nem ve su gibi etkilerin olduğu ortamlarda kullanılması halinde EN 60529 Standardının belirlediği şartlara uygun koruma sınıflarına sahip sesli ve ışıklı cihazları seçilecektir)				
Bölgelerin belirlenmesi (Bölgelerin belirlenmesi TS CEN/TS 54-14 Standardının 3.47, 3.45, 6.3, A.6.2 bölümlerinde belirtilen şartlar doğrultusunda yapılacaktır)				
Yangın alarmi santralının bölge ve çevrim kapasitesi				

Yangın alarmi santralının yedek güç kaynağı kapasitesi (Santralın yedek güç kaynağı bakım gerektirmeyen kuru tip akülerden oluşacak olup, aku kapasiteleri TS CEN/TS 54-14 Standardının 6.8.3 ve A.6.7.3 bölümlerinde belirtilen şartlar doğrultusunda hesaplanarak seçilecektir)				
Santralın yeri (TS CEN/TS 54-14 Standardının 6.7.1 bölümünde belirtilen şartlar doğrultusunda belirlenecektir)				
Tekrarlayıcı santral ve yeri (Santral yerinin İtfaiye girişinin uzağında olduğu, binden fazla İtfaiye girişinin bulunduğu veya santralın sürekli insan bulunan yerlerde olmadığı durumlarda, yangın alarm sisteminin alarm ve arıza durumlarını binada başka bir noktadan izlemek ve gerekli kontrol ve eylemleri yapmak üzere tekrarlayıcı santraller kullanılacaktır)				
Bina otomasyon sistemi bağlantısı (Yangın algılama ve alarm sisteminin tesis edildiği binada, bina otomasyon sistemi ile tesis edilecek ise, bu durumda, yangın algılama ve alarm sistemi santrali ile otomasyon sistemi arasında doğrudan bilgi alışverişini sağlayacak gerekli donanım ve yazılım birimleri tesis edilmesi gerekir)				
Çevrimlerin kısa devre koruması (TS CEN/TS 54-14 Standardının A.6.1.2.1 bölümünde yer alan şartlara göre yapılacaktır)				
Yangın söndürme sistemi, akis anahtarlarının konum bilgileri, hat kesme vanalarının konum bilgileri, yangın pompalarının çalışma fonksiyonlarının konum bilgilerinin doğrudan çevrimlere bağlı kontak izleme amaçlı cihazlar ile izlenmesi				
Yangın anında gazlı yangın söndürme sistemlerinin kontrolü				
Duman damperlerinin açık/kapalı konum bilgilerinin doğrudan çevrimlere bağlı kontak izleme amaçlı cihazlar ile izlenmesi				
Asansörlerin yangın anında davranışları (TS EN 81-73 standardı ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin 62. Maddesinde belirtilmiştir. Buna göre; yangın anında, asansörler acil çıkış katına gidecek (genelde zemin kat olarak belirlenmektedir), yangın acil çıkış katında ise bu durumda asansörler alternatif çıkış katına gidecektir. Deprem anında ise asansörler en yakın durakta duracaktır. Yangın algılama ve alarm sistemi, bu işlevleri yerine getirmek üzere gerekli donanım ve yazılım birimlerini sahip olacaktır)				
Yangın anında asansör kuyuları ve yangın merdiven boşlukları basınçlandırma sistemlerinin kontrolü				
Yangın anında konfor havalandırma sisteminin ve duman emme sisteminin kontrolü				
Yangın anında yangın bölme kapıları elektromanyetik tutucularının kontrolü				



6. SONUÇ

Bakım konusunda standardın 12. maddesi ve Ek-D başlığı bizlere detaylı bilgi vermektedir.

Bu maddelere göre yetkili servislerce Ek-D D.1.1-D.1.12 'deki bakım referanslarına uygun olacak şekilde 12 aylık periyodun sonunda tüm cihazların testlerinin tamamlanması istenmektedir. Bu ise tesis büyüklüğüne göre değişkenlik göstermekte beraber, genellikle senede 2 veya 4 defalık bir bakım rutini oluşturularak sağlanabilmektedir.

Yangın sistemleri yapıları gereği hassas sistemler olduğundan ve yangınla mücadele stratejisi gereği birçok sistemle entegre çalışmak durumundadır. Bakım periyodunun kısa tutulmasının birçok avantajı mevcuttur. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Sistemde oluşabilecek arızalar daha kısa sürede giderilebilmekte ve arıza birikimi olmamaktadır. Bu da bakıma gelen ekiplerin arıza gidermekten ziyade standartlar çerçevesinde belirlenen bakımların uygulanmasına yoğunlaşabilmesini sağlamaktadır.
- Sistemin geriye dönük mesaj hafızası 3 aylık periyotta yedeklenebilmektedir. Bu sayede mesaj hafızasında tespit edilebilecek hatalı alarm ya da kronik arıza bildirimlerine daha kısa sürede müdahale şansı olmaktadır.
- Aktif testi yapılacak toplam cihaz adedi %25 lik periyotlara bölünebilmektedir. Tüm cihazların testi için gerçekleştirilebilir bir plan çizilebilmektedir.
- Sesli ve görsel uyarı cihazlarının daha sık aralıklarla test edilebilmesine olanak vermektedir.
- Yangınla mücadele stratejisi gereği kontrollü yapılan asansörler, kontrollü geçiş kapıları, söndürme entegrasyonu gibi birçok sistemi daha kısa periyotlarda kontrol edebilme şansı olmaktadır. Bu da diğer sistemlerde oluşabilecek noksanlıkların daha kısa sürede tespit edebilmesine olanak vermektedir.
- Daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılan aktif hava çekmeliduman dedektörlerinin 3 aylık periyotla filtre ve boru temizliğinin yapılabilmesine olanak vermektedir. Daha kısa periyotlarda sistem performans testleri yapılabilir.
- Tablo D.1 de geçen kontrol aralıklarında son kullanıcı ve yetkili bakım servis planları örtüştürülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tse Cen/Ts 54-14 :2018 Yangın Algılama Ve Yangın Alarm Sistemleri Bölüm 14: Planlama, Tasarım, Montaj, İşletmeye Alma, Kullanım Ve Bakım İçin Kılavuz Bilgiler
- [2] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik-2015
- [3] Elektrik Tesisat Portalı - Etp

ÖZGEÇMİŞ

Volkan AKTAŞ

18.07.1986 İstanbul/Bakırköy doğumludur. Ön lisans eğitimini 2004-2006 yılları arasında Ankara Üniversitesi – Endüstriyel Elektronik Bölümünde, Lisans eğitimini 2007-2010 yılları arasında İstanbul Üniversitesi – Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2002 yılından itibaren Elektronik Kart Tasarımları, Endüstriyel Otomasyon, Güç Elektroniği, C++ ve C Sharp programcılık konularında çeşitli firmaların Teknik ve Arge kısımlarında görev almıştır. 2011 yılından günümüze kadar geçen süreçte Matriks Bina Kontrol Sistemleri bünyesinde, Bina Otomasyon Sistemleri üzerine çalışmaktadır. 2011-2015 yılları arasında Proje ve Uygulama Departman Müdürlüğü, 2015 yılından itibaren ise Proje ve Mühendislik Departman Yöneticiliği görevini yürütmektedir.

DUMAN KONTROL SİSTEMLERİNİN PERİYODİK KONTROL, TEST VE BAKIM PROSEDÜRLERİ

Periodic Control, Test and Maintenance Procedures of Smoke Control Systems

Gökhan Balık

ÖZET

Duman kontrol sistemi denildiğinde; basınçlandırma sistemleri, atrium duman kontrol sistemleri, otopark duman tahliye sistemleri ve koridor duman kontrol sistemleri gibi uygulamalar akla gelir. Binalarda tesis edilen duman kontrol sistemlerinin gerektiğinde amacına uygun şekilde çalışabilmesi için, ilgili standartlara uygun olarak periyodik kontrol, test ve bakımları yapılmalıdır.

Duman kontrol sistemlerinin bileşenleri arasında, fan ve damper gibi ekipmanlar ile havalandırma kanalı gibi tesisatların yanısıra mimari ve inşai yapı elemanları da yer alır. Örneğin merdiven basınçlandırma sisteminde merdiven yuvasının duvarlarında kontrolsüz boşluklar olmaması ve kapılarının önüne engel konulmadan kendiliğinden kapanabilecek şekilde işletilmesi sistemin performansına doğrudan etki eder. Bu nedenle duman kontrol sistemlerinde periyodik kontrol, test ve bakım prosedürleri, sadece ekipmanların ve tesisatların kontrolü ile sınırlı kalmamalı, mimari ve inşai bileşenleri ile birlikte sistemin bütün halinde performansına etki edecek tüm unsurlar kontrol edilmelidir.

Duman kontrol sistemlerinin performansını kontrol etmek için uygulanan yöntemler arasında; sistemin hizmet verdiği bölgenin sınırlarındaki açıklıklardan giren ve çıkan hava miktarlarının ölçülmesi, başlangıçta sis makinası ile ortamın sisle doldurulup belirli bir görüş mesafesi değerinin ne kadar sürede elde edildiğinin belirlenmesi veya sis makinasının ortamdaki hava hareketlerini görünür hale getirmek için çok az miktarda sis oluşturacak şekilde kullanılması gibi farklı uygulamalar mevcuttur. Bu çalışmanın konusu, farklı duman kontrol sistemi uygulamaları için, ilgili standartlara göre bileşen bazında ve sistem bazında periyodik kontrol, test ve bakımların hangi sıklıkla ve ne şekilde gerçekleştirileceğinin ve sistem performansının nasıl ölçüleceğinin belirlenmesidir.

Anahtar Kelimeler: Periyodik kontrol ve testler, Duman kontrol sistemi, Duman tahliye sistemi, Basınçlandırma sistemi.

ABSTRACT

Smoke control systems covers the applications such as pressurization systems, atrium smoke control systems, car park smoke ventilation systems and corridor smoke control systems. In order to maintain the operational reliability of the smoke control systems and ensure that they will run properly when required, the systems must be subject to periodic control, test and maintenance.

Smoke control systems are comprised of not only fans, dampers and service ducts but also of architectural or constructional elements. For instance, the availability of uncontrolled openings on stair walls or blockage of stair doors to disable their self-closing feature will have adverse effects on the system performance. Therefore the periodic control, test and maintenance of smoke control systems are not restricted to checking the equipment and the system performance must be checked as a whole, including the architectural and constructional components.

Among the methods for checking the performance of the smoke control systems, the following applications are commonly used: measuring the air flow rate entering or leaving the boundaries of the

smoke control zone, filling the smoke control zone initially with fog using a fog generator and recording the time when the system sufficiently clears the zone from fog upto a target level of visibility, using the fog generator to produce a small amount of fog to visualize the flow. The aim of this study is to determine the appropriate periods and methods for periodic control, test and maintenance procedures for checking the performance of various smoke control systems, regarding both the main components and the whole system, based on the related standards.

Key Words: Periodic controls and tests, Smoke control system, Smoke extraction system, Pressurization system.

1. GİRİŞ

Binalarda duman kontrolü veya duman tahliyesine yönelik alınması zorunlu önlemler Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) hükümlerine göre belirlenir [1] ve bu kapsamda basınçlandırma sistemleri, atrium duman kontrol sistemleri, koridor duman kontrol sistemleri ve otopark duman tahliye sistemleri gibi sistemler tesis edilir. Ayrıca yönetmeliğe göre zorunluluk olmadığı halde bazı bina bölümleri için, işletme talep ve ihtiyaçları doğrultusunda duman kontrolüne veya duman tahliyesine yönelik düzenlemeler yapılması istenebilir. Bu açıdan yaygın olarak karşılaşılan bir uygulama, özellikle konaklama amaçlı binalarda 50 kişiden fazla insanın bulunduğu toplanma amaçlı mekanlardan duman tahliyesi yapılmasıdır. Mevzuata göre zorunluluk söz konusu olmaksızın yapılan bu tür uygulamalarda, binanın sprinkler sistemi ile korunuyor olması şartıyla mekandan duman tahliyesi için havalandırma sistemi kanalları ve klima santral fanları da kullanılabilir.

Yönetmelik hükümleri gereği tesis edilmesi zorunlu olan duman kontrol sistemleri, genellikle sadece yangın durumunda çalıştırılacak şekilde işletilir ve bu sistemlere ait ekipmanların izleme ve kontrolleri doğrudan yangın alarm paneline bağlı modüllerle gerçekleştirilir. Bu durum yangın otomasyonu açısından kolaylık sağlar ancak bu tür sistemlerin herhangi bir bileşeninde veya bütün olarak sistem performansında beklenmeyen sonuçların tespiti ancak periyodik kontrol ve testlerle ortaya çıkarılabilir. Normal işletme koşullarında havalandırma amacıyla kullanılan bir duman kontrol sistemi olan otopark duman tahliye sistemlerinde ise, bazı hataların normal işletme sırasında farkedilmesi de mümkündür.

Duman kontrol sistemlerinin işletme süresince çalışır durumda olmasına yönelik periyodik kontrol, test ve bakım yapılması yönetmelik (BYKHY) gereği zorunludur. Ancak sistemlerin ve sistem bileşenlerinin performansına yönelik testlerin ve kontrollerin hangi sıklıkla ve ne şekilde yapılacağı gibi bilgiler yönetmelikte doğrudan yazılı değildir. Yönetmelikte hakkında yeterli hüküm bulunmayan hususlarda ilgili standartlara başvurulur ve bunun için öncelikle Türk standartları (TS) ve Avrupa standartları (EN) esas alınır. Türk veya Avrupa standartlarında düzenlenmeyen hususlarda ise uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlar kullanılabilir.

Duman kontrol sistemi bileşenleri ile ilgili Türk standartları genel olarak ilgili Avrupa standartlarından tercüme edilmiş ve teknik anlamda değişiklikler yapılmadan kullanılmaktadır. Bu kapsamda, duman ve ısı kontrol sistemleri ile ilgili Avrupa standardı olan EN 12101 standardının çeşitli sistem bileşenlerine ait 13 farklı bölümünden yedi adedi aynı zamanda Türk standardı olarak kabul edilmiştir [2]. Bu standardın bölümleri arasında 1.bölüm yangın ve duman perdelerini, 2.bölüm doğal duman tahliye kapaklarını, 3.bölüm duman egzoz fanlarını, 6.bölüm basınçlandırma sistemlerini ve 8.bölüm duman kontrol damperlerini ele alır. Bu standardın farklı bölümleri arasında yer almayan “yangın damperleri” için, periyodik kontrollerle ilgili bilgilere ayrıca TS EN 15650 standardında yer verilmiştir [4].

Türk ve Avrupa standartlarında düzenlenmeyen hususlar için başvurulabilecek uluslararası geçerliliği kabul gören standartların başında NFPA kod ve standartları gelir. NFPA standartlarında damperlerle ilgili bilgiler NFPA 80 standardı [4] ile NFPA 105 standardında [6], mekanik duman kontrol sistemlerinin tasarımıyla ilgili bilgiler NFPA 92 standardında [5] ve doğal duman tahliye sistemlerinin tasarımıyla ilgili bilgiler NFPA 204 standardında [7] verilmiştir.

NFPA standartlarında jet fan sistemlerinin binalardaki kapalı otoparkların havalandırılması veya duman kontrolünde kullanılmasına yönelik bilgiler bulunmamaktadır. Kapalı otoparklardan duman tahliyesi için ülkemizde yaygın olarak tercih edilen jet fan sistemi uygulamalarına yönelik olarak kullanılabilir bir Türk-Avrupa standardı ya da NFPA standardı olmadığından, özellikle bu sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakımları gibi konular için esas alınabilecek en uygun referanslar ülkemizde yayınlamış olan “*Otopark ve Tünellerde Jetfan Havalandırma ve Duman Kontrolü*” adlı teknik yayın [8] ile BS 7346-7 ve BS 9999 isimli İngiliz standartlarıdır [9] ve [10].

2. KONTROL, TEST VE BAKIMLAR İÇİN PERİYOT VE YÖNTEM BELİRLENMESİ

Otopark jet fan sistemi gibi istisnalar dışında, duman kontrol sistemleri genellikle ana bileşenleri farklı üreticilerden temin edilen sistemlerdir ve sistemin bütün halinde performansına yönelik kontrol ve testler için dışarıdan teknik servis desteği alma imkanları diğer yangın korunum sistemlerine göre kısıtlıdır. Bunun doğal bir sonucu olarak, işletmelerde yangın korunum sistemleri için yapılması zorunlu olan periyodik kontrol ve testler arasında en fazla ihmal edilen sistemler duman kontrol sistemleri olmaktadır.

Duman kontrol sistemlerinin fan ve damper gibi bileşenleri için, özellikle ekipman bakımlarının hangi sıklıkta ve ne şekilde yapılacağına yönelik bilgiler üretici firmaların teknik spesifikasyonlarında yazılıdır. Ancak sistemin bütün halinde performansına yönelik kontrol ve test yöntemleri için sistemden beklenen performansı tarif eden yönetmelik hükümlerine ve tasarım standartlarına başvurulması gerekir. Duman kontrol sistemlerinde özellikle işletme ekipleri tarafından yapılması gereken kontrol ve test işlemlerinin hangi sıklıkta ve ne şekilde yapılması gerektiği bu kısımda ele alınmıştır.

2.1. İşletme Ekipleri Tarafından Yapılacak Kontrol ve Test İşlemlerinin Sıklığı

EN 12101 standardının 13 farklı bölümünden 7 adedi ülkemizde de yürürlükte olan Türk standartlarıdır. Bu standardın taslak aşamasında olan ve henüz ülkemizde yürürlüğe girmemiş olan diğer altı bölümü bu çalışmanın kapsamına dahil edilmemiştir. TS EN 12101 standardının basınçlandırma sistemi tasarımıyla ilgili 6.bölümünde basınçlandırma fanlarının her hafta çalıştırılması gerektiği ifade edilmiştir. Bu standardın doğal duman tahliye kapaklarıyla ilgili 2.bölümünde ve duman egzoz fanlarıyla ilgili 3.bölümünde, doğrudan ekipmanların kontrol veya testlerine yönelik belirli bir periyot tanımlanmamış, bakım periyodu için ise üretici teknik spesifikasyonlarına yönlendirme yapılmıştır. Standardın 7.bölümünde duman kontrol sistemlerine hizmet veren kanallar için en fazla 12 ay aralıklarla kontroller yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Duman kontrol sistemlerinde kullanılan damperlerle ilgili 8.bölümde yer alan bilgilere göre, bu tür damperlerin en fazla 3 ay aralıklarla kontrol edilmesi gerektiği yazılıdır. Eriyebilen sigortalı damperlerin de olduğu yangın damperlerinin periyodik kontrol, test ve bakımları ile ilgili bilgiler ise TS EN 15650 standardında yer alır ve bu standartta yangın damperleri için söz konusu kontrollerin en fazla 6 aylık periyotlarla yapılması gerektiği belirtilir.

Yukarıda belirtilen şekilde TS EN 12101-6 standardına göre basınçlandırma fanlarının haftada bir çalıştırılması, İngiliz standartlarında da (BS 9999) benzer şekilde tarif edilir ve hatta basınçlandırma yapılmayan merdivenlerdeki doğal duman tahliye kapakları ile kaçış yollarını dumandan korumaya yönelik diğer duman kontrol sistemlerindeki egzoz fanları ve duman kontrol damperleri için de, benzer şekilde haftada bir çalıştırma-durdurma veya açma-kapama işlemlerinin yapılması istenir.

Duman kontrol sistemleri ve sistem bileşenleri için Amerikan menşeli NFPA standartlarında belirtilen kontrol, test ve bakım periyotları Türk-Avrupa standartlarından ve İngiliz standartlarından oldukça farklıdır. NFPA 92 standardında mekanik duman kontrol sistemlerinin kontrol ve testleri için belirtilen periyot 6 aydır ve duman kontrolü dışında konfor veya havalandırma için de kullanılan sistemlerde bu sürenin 12 aya çıkarılabileceği belirtilir. Bu testler sistemin bütün halinde performansının kontrolüne yönelik olup fan veya damper gibi bileşenlere özel ayrı bir test veya kontrol söz konusu değildir. Öte yandan NFPA 204 standardında doğal duman tahliyesi veya tamamlama havası girişi için mekanik olarak açılması gereken kapaklarla ilgili test ve kontrollerin 12 ayda bir yapılabileceği belirtilmiştir.

Yangın bariyerleri veya duman bariyerleri üzerinde kapıların ve damperlerin aynı kapsamda değerlendirildiği ve “açıklık koruyucular” şeklinde isimlendirildiği NFPA 80 ile NFPA 105 standartlarında; genel olarak tüm damperler için ekipmanların devreye alınmasından sonraki birinci yılın sonunda bir kontrol ve test yapılması istenmektedir. Birinci yılın sonunda yapılması istenen bu kontrol ve testlerin ardından ise, damperlerle ilgili testlerin sıklığının 4 yılda bir kereye düşürülebileceği ve ayrıca hastanelere özel olarak 6 yıllık periyotlarla test yapılmasına izin verilebileceği belirtilmiştir.

Ülkemizde jet fan sistemleriyle ilgili yayınlanan “*Otopark ve Tünellerde Jetfan Havalandırma ve Duman Kontrolü*” adlı teknik yayında da kontrol ve testlerin yıllık olarak yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Otopark jet fan duman tahliye sistemlerinin tasarımında kullanılan BS 7346-7 standardında bu sistemlerin kontrol ve test periyotları doğrudan belirtilmemiş olmakla birlikte, bu konuyla ilgili bu standartta referans gösterilen bir diğer İngiliz standardı olan BS 9999’da verilen bilgilere göre, otopark jet fan sistemlerinde 12 ayı aşmayan periyotlarla kontrol ve testler yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

2.2. Duman Kontrol Sistemleri ve Çeşitli Sistem Bileşenleri için Kontrol ve Test Yöntemleri

Duman kontrol sistemlerinin fan ve damper gibi başlıca bileşenleri ile Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’te (BYKHY) belirtilen çeşitli duman kontrol sistemleri için, işletme ekipleri tarafından yapılması gereken kontrol ve test yöntemleri bu bölümde farklı başlıklar altında anlatılmıştır.

2.1.1. Damperlerle İlgili Periyodik Kontrol ve Testler

TS EN 12101-8 standardında duman kontrol sistemlerinde kullanılan damperler için en fazla 3 ayda bir periyodik kontroller yapılması ve bu kontroller sırasında damper gövdesinde, kanadında, sızdırmazlık elemanlarında ve kablo bağlantılarında hasar olmadığına dair gözle kontroller yapılması gerektiği belirtilir. Bu tür gözle kontrollerin yanısıra ayrıca damperin en fazla 60 saniyede tam olarak açılabilmesi ve en fazla 60 saniyede tam olarak kapanabilmesine yönelik testler de yapılması istenir.

Damperlerin periyodik kontrol ve testleriyle ilgili NFPA standartlarıyla karşılaştırma yapıldığında, bir duman kontrol sisteminin parçası olan damperler için, sistemin bütün olarak performansına yönelik olarak yapılacak testler sırasında damperlerin de dolaylı olarak kontrol edilmiş olacağı göz önünde bulundurulur. Duman kontrol sistemi performansı kapsamında kontrolü yapılması gerekmeyen diğer damperler için ise, damperlerin devreye alınmasından bir yıl sonra ve birinci yılın ardından dört yıllık periyotlarla (hastanelerde 6 yıllık periyotlarla) açma ve kapama işlemlerinin yapılmasını gerektiren periyodik test ve kontrollere tabi tutulması yeterlidir. Eriyebilen sigortalı damperlerin testleri sırasında hat üzerindeki ilgili fanın durdurulmasına izin verilirken, motorlu damperlerde fan çalışır durumdayken test yapılmalıdır. Motorlu damperlerde ekipmanların devreye alma işleminden bir yıl sonra yapılması gereken ilk testlerde damperin açılıp kapanma işleminin yerinde gözlenmesi istenirken, daha sonra 4 yılda bir (hastanelerde 6 yılda bir) yapılacak periyodik testlerde yangın alarm panelinden konum izleme bilgisinin takip edilmesi yeterli görülür. Eriyebilen sigortalı damperlerde, eriyebilir bağlantı elemanı çıkarıldıktan sonra damper kapatılıp açılmak suretiyle yapılacak testlerin ardından, herhangi bir hasar gözlenmemiş olan eriyebilir bağlantı elemanları tekrar yerine takılıp kullanılmaya devam edilebilir.

2.1.2. Fanlarla İlgili Periyodik Kontrol ve Testler

Basınçlandırma sistemleri dışındaki diğer duman kontrol sistemlerinde kullanılan fanlar için Türk-Avrupa standartlarında ekipman bazında işletme ekipleri tarafından yapılacak periyodik kontrol veya testlerden bahsedilmemiş, daha çok bu ekipmanların ve motorlarının üretimi ve kalitesiyle ilgili olarak ve fabrika çıkışında yapılacak testlerin detayları ve ekipmanların seçim esaslarına yönelik bilgiler anlatılmıştır. Öte yandan TS EN 12101-6 standardında basınçlandırma fanlarının haftada bir kez çalıştırılması ve uygun şekilde çalıştıklarının gözlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca ayda en az bir defa fanların yedek güç beslemesine otomatik olarak geçirilerek çalıştırılmak suretiyle bu işlemin yapılması ve yedek güç olarak dizel jeneratör kullanılan yerlerde aylık çalıştırma süresinin en az 1 saat olması istenmektedir.

Basınçlandırma fanları için TS EN 12101-6 standardında belirtilen haftalık ve aylık çalıştırma testleri, özellikle çok sayıda basınçlandırılan merdiveni bulunan binalardaki işletmeler için oldukça zorlayıcıdır. Her ne kadar TS EN 12101-6 standardı aynı zamanda Türk standardı da olsa, basınçlandırma fanlarının bu kadar sık çalıştırılması istisnai yerler dışında uygulanabilir değildir. Türk-Avrupa standartlarında (TS EN 12101-6) ve İngiltere menşeli yangın kodlarında (BS 9999) benzer şekilde tarif edilen bu haftalık çalıştırma ihtiyacının genel olarak her bina için geçerli olacakmış gibi yazılmış olması bu standartların en azından bu konudaki güvenilirliğini tartışmalı hale getirmektedir. Özellikle de uluslararası geçerliliği ve güvenilirlik düzeyi çok daha yüksek olan Amerikan menşeli NFPA kod ve standartları ile karşılaştırma yapıldığında, NFPA 92 standardının basınçlandırma sistemi de dahil herhangi bir duman kontrol sisteminde bu şekilde sadece fanlara yönelik bir test tarif etmediği görülür. Dolayısıyla Amerika'daki uygulamalarda duman kontrol sistemine hizmet veren fanlar için, sistemin bütün olarak performansına yönelik yapılacak testler kapsamında duman kontrol sistemleri için 6 ayda bir ve normal işletme koşullarında havalandırma veya konfor amacıyla çalıştırılan duman kontrol sistemleri için ise 12 ayda bir kontrol ve testler yapılması yeterlidir.

2.1.3. Basınçlandırma Sistemleri için Periyodik Kontrol ve Testler

Merdiven basınçlandırma sistemlerinden beklenen performans kriterleri, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (BYKHY) hükümlerinde doğrudan tarif edilmiştir. Buna göre, merdiven basınçlandırma sisteminin yangına müdahale sırasında açık kapılardan (birbirini takip eden iki katın kapılarının ve dışarı tahliye kapısının tam olarak açık olması hâli için) basınçlandırılmış alana duman girişini engelleyecek yeterlilikte hava hızını (ortalama olarak en az 1 m/s) sağlayabilmesi gerekir. Bu sırada kapıların kapalı olduğu katlarda merdiven yuvası ile bina kullanım alanları arasındaki basınç farkının da en az 15 Pa olması istenir.

Yönetmelik (BYKHY) gereği merdiven basınçlandırma sistemlerinde tüm kapıların kapalı olduğu ikinci bir çalışma senaryosu için, merdiven yuvası ile bina kullanım alanları arasındaki basınç farkı değerinin en az 50 Pa olması gerekir. Bu senaryoda hem basınçlı havanın ve hem de otomatik kapı kapatıcının kapı üzerinde yarattığı kuvveti yenererek kapıyı açmak için kapı koluna uygulanması gereken kuvvet 110 Newton değerini geçmemelidir.

Merdiven basınçlandırma sistemlerinde yukarıda açıklanan performans kriterlerinin sağlandığının gösterilmesi için iki ayrı çalışma senaryosuna göre test yapılmalıdır. Birinci senaryoda birbirini takip eden iki kat kapısı ile merdivenin bina dışına tahliyesini sağlayan kapılar tam açık konumdayken, açık kapılarda hava hızı ölçümleri ile kapalı kapılarda kat koridoru ile merdiven yuvası arasındaki basınç farkı ölçümleri yapılmalıdır. Açık kapılardaki hız ölçümlerinde TS EN 12101-6 standardında verilen bilgiler doğrultusunda en az 8 noktadan hız ölçümü yapılmalıdır. İkinci senaryoda ise, tüm kapılar kapalı konumdayken sistem çalıştırıldığında merdiven yuvası ile kat koridoru arasındaki basınç farkının 50 Pa değerinin altında olmadığı ve merdiven kapıları ile yangın güvenlik holü kapılarını açmak için kapı kollarına en fazla 110 N kuvvet uygulandığını kontrol etmeye yönelik ölçümler yapılmalıdır. Her iki senaryoda da, basınçlandırma fanına ait frekans konvertörünün fanı yaklaşık hangi değerde çalıştırdığı ve relief damperin konumu gözlenmeli ve not edilmelidir.

Basınçlandırma sisteminin kapı açma kuvvetine etkisini, hidrolik kapı kapatıcının etkisinden ve kapının kendi direncinden bağımsız olarak değerlendirebilmek için, dinamometre kullanılarak yapılacak kapı açma kuvveti ölçümlerinde, basınçlandırma sistemi devreye sokulmadan önce ve sonra iki ayrı ölçüm yapılmalıdır. Merdiven kapılarında panik bar olsa dahi, kuvvet ölçümü için tatbik noktası olarak kapıda basma kolu olmasına karşılık gelen nokta esas alınmalıdır. Merdivenin tüm kapıları kapalıyken merdiven ile kat koridoru arasındaki basınç farkı en az 50 Pa olduğunda aynı zamanda kapı açma kuvveti de 110 N değerini aşıyorsa, basınç farkı 50 Pa değerinin altında kalacak olsa bile kapı açma kuvvetinin 110 N değerini geçmemesi sağlayacak şekilde fan daha düşük bir frekansta çalıştırılmalıdır.

TS EN 12101-6 standardında basınçlandırma sistemleri için yılda bir kez yapılması gereken sistem performansına yönelik testlerde, açık kapılarda ölçülecek hava hızı ile kapalı kapılarda ölçülecek basınç farkı ve kapı açma kuvveti değerleri yönetmelikte tarif edilen değerlerden farklıdır. Bu nedenle yapılacak test ve kontrollerde öncelikle yönetmelikte belirtilen değerler esas alınmalı ve sadece yönetmelikte hakkında yeterli hüküm bulunmayan ve herhangi bir önlem alınmadığında bariz bir risk oluşturacak olan hususlarda ilgili standartlara başvurulmalıdır.

TS EN 12101-6 standardında tarif edilen yıllık test yöntemleri büyük ölçüde sistemin derveye alınması ile aynı aşamaları içermekte olup, ilk etapta basınçlandırma sisteminin 10 dk çalıştırılıp durdurulmak suretiyle öncelikle merdivendeki hava sıcaklığının dış hava sıcaklık koşullarına getirilmesiyle oluşturulan baca etkisinin neden olduğu basınç farkı değerleri ölçülür ve referans olarak kaydedilir. İkinci aşamada bu referans ölçümünden sonraki 15 dk içinde tekrar basınçlandırma fanı çalıştırılarak elde edilen basınç farkı değerleriyle karşılaştırma yapılır.

Acil durum asansör basınçlandırma sistemlerinin tasarım kriterleri veya performans beklentisi hakkında yönetmelikte (BYKHY) ilave bir ayrıntı belirtilmemiştir. Bu durumda merdiven basınçlandırma sistemleri için belirtilen tasarım kriterlerine benzer şekilde, asansör kapısı açık durumdayken asansör kabini ile açık durumdaki kat kapısının arasındaki açıklıklardan dışarı doğru ortalama hava hızının en az 1 m/s olduğunun ve aynı anda diğer katlarda kuyu ile kat koridoru arasında en az 15 Pa basınç farkı olduğunun kontrol edilmesi uygun bir yöntemdir. Asansörün herhangi bir kat kapısı açık değilken ise, kuyu ile kat koridoru arasındaki basınç farkı en az 50 Pa olmalıdır.

Asansör kat kapıları el kuvveti ile açılmadığından, kapı açma kuvveti ile ilgili bir sınırlama söz konusu değildir. Ancak asansör kat kapılarının basınçlandırma sistemi çalışır durumdayken de tam olarak açılıp kapatılabildiğinin kontrol edilmesi önemlidir. Özellikle tahliye katında acil durum asansörü önündeki yangın güvenlik holüne giriş kapısı ile asansör kat kapısı açıkken, asansör kuyusundan dışarıya doğru çok yüksek hızla hava akışı meydana gelmesi ve bunun sonucunda asansör kat kapısının hava akışı sırasında tam olarak kapanmaması durumuyla karşılaşılabılır. Bu durumda, yangın güvenlik holü kapısı kapatılarak asansör kuyusuyla yaklaşık aynı basınca getirilen yangın güvenlik holüne doğru hava akışı azaltılmak suretiyle kat kapısının tam olarak kapanması sağlanabilir. Ancak acil durumlarda bu yöntemi düşünmeye gerek kalmadan kat kapılarının tam olarak açılıp kapanmasını sağlayacak şekilde, basınçlandırma fanının gerekirse daha düşük devirde çalışacak şekilde programlanabilmesi önemlidir.

2.1.4. Atrium Duman Kontrol Sistemleri için Periyodik Kontrol ve Testler

Atrium duman kontrol sistemleri, yangında oluşan dumanın kendi sıcaklığı ile yükselip tavanda birikirken belirli bir yüksekliğin altına kadar derinleşmemesini sağlayacak şekilde tasarlanır ve bunun için çok yüksek debilerde egzoz yapılması ve alt seviyeden düşük hızda tamamlama havası verilmesi gerekir.

Yukarıda tarif edilen tasarım koşullarının gözlenebilmesine yönelik test imkanlarını oluşturmak pratik olarak mümkün değildir. Bu durumda atrium duman kontrol sistemlerinin periyodik testlerinin ne şekilde yapılabileceğine dair bilgiler için NFPA 92 standardı esas alınabilir. Bu standartta, genel olarak yangın durumunda kullanılmak üzere tesis edilen duman kontrol sistemlerinin 6 aylık periyotlarla testlerinin yapılması gerektiği ve testler sırasında duman egzoz fanı debisinin, tamamlama havası sağlayan fanların debisinin ve söz konusu duman zonu sınırlarındaki açıklıklardan içeriye giren hava hızının ölçülmesi gerektiği yazılıdır. Öte yandan zon sınırlarındaki açıklıklardan giren hava hızının ölçülmesi sadece bina cephesinden hissedilir bir hızla mekanik veya doğal hava girişi sağlanabilen tasarımlar için uygulanabilir. Bu şekilde bir açıklık olmadığında ise atriumu çevreleyen sınırlardaki sızıntıların belirlenmesi ve bu noktalarda ölçüm yapılması mümkün olmayacak, periyodik testlerde kaydetmek üzere debi ölçümünün yapılabileceği noktalar ise duman egzoz fanı ve tamamlama havası sağlamak amacıyla kullanılan santral üfleme fanları ile sınırlı olacaktır.

2.1.5. Otopark Duman Tahliye Sistemleri için Periyodik Kontrol ve Testler

Otopark duman tahliye sistemlerinin periyodik testleri 12 aylık periyotlarla gerçekleştirilebilir.

Periyodik testler sırasında otopark duman tahliye sistemlerinden beklenen performans, yönetmelikte verilen tasarım hedefi doğrultusunda ilgili duman tahliye zonundan saatte en az 10 hava değişimine tekabül eden bir duman tahliyesi yapılmasıdır. “*Saatte 10 hava değişimi*” ifadesi, ilgili zonun hacmini kaplayan havanın 60 dakika içinde 10 defa yenilenmesi anlamına gelir ve ideal bir sistemde 6 dakika sonra başlangıçtaki hava yenilenmiş olur.

Yukarıda belirtilen tasarım hedefinin yerine getirildiğini kontrol etmek üzere, özellikle sistemlerin devreye alınma süreçlerinde kritik olan zonlar için uygulanan yöntemlerden biri soğuk duman testidir. Bu test yönteminde, başlangıçta ilgili otopark duman tahliye zonu sis makinası aracılığıyla üretilen sis ile doldurulur. İnsanlara ya da binaya zarar vermeden ve havanın içinde görünür beyaz renkte olan sisle doldurma işlemi tamamlandıktan sonra duman kontrol senaryosunun kendiliğinden devreye girmesi sağlanır. Saatte 10 hava değişimi sağlamak için tasarlanmış bir sistemde ideal durumda 6 dk içinde başlangıçtaki sisin tamamen temizlenmiş olması beklenir ancak genellikle 10 dakikaya kadar ilgili zon içindeki tüm bölgelerin görünür hale gelmesi de yeterli kabul edilir.

Özellikle birden fazla otopark duman tahliye zonuna ayrılmış büyük otoparklarda ve zonun büyüklüğü ve/veya yüksekliği de arttıkça, otopark zonunun başlangıçta sis ile doldurulması zorlaşır ve sistem devreye girmeden önce sisin ilgili zonun dışına çok fazla yayılması söz konusu olur. Bu nedenle duman tahliye sistemi tesis edilen birçok otopark için soğuk duman testi yapılması pratik olarak mümkün olmayabilir ve genel olarak otopark duman tahliye sistemlerinin periyodik testlerinde sadece duman egzoz debisi ile taze hava girişi açıklıklarından (mekanik ya da doğal) tamamlama havası debisi hesaplamak için gerekli hız ölçümlerinin yapılması yeterlidir. Ayrıca otopark duman tahliye sistemlerinin performans testlerine görsellik katmak için, sis makinası ile çok az miktarda sis üretilerek belirli bölgelerde ve menfezlerde akışın görünür hale getirilmesi yöntemine başvurulabilmektedir.

2.1.6. Koridor Duman Kontrol Sistemleri için Periyodik Kontrol ve Testler

Koridor duman kontrol sistemlerinin periyodik testlerinin hangi periyotlarla yapılması gerektiği konusunda NFPA 92 standardına başvurulduğunda, 6 ayda bir test yapılması gerektiği ortaya çıkar. Test yöntemine karar vermek için ise öncelikle bu sistem için tasarım hedeflerinin ve performans beklentilerinin değerlendirilmesi ve bunun için de öncelikle Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik'in (BYKHY) ilgili hükmüne bakılması gerekir. Yönetmelikte yapı yüksekliği 51.5 m'yi geçen binaların hol ve koridor gibi ortak alanlarında koridor duman kontrol sistemleri yapılması gerektiği yazılıdır, ancak bu sistem için performans beklentisi veya tasarım kriterleri hakkında bilgi verilmemiştir.

Koridor duman kontrol sisteminin hangi performans kriterine göre tasarlanması gerektiği yönetmelikte verilmemiş olduğundan, öncelikle ilgili standartlara bakılması gerekir. Ancak Türk-Avrupa standartlarında veya NFPA standartlarında kat koridorlarının birbirine açık olduğu bir atrium yapısı söz konusu olmadığı sürece, belirli bir kattaki kapalı bir koridordan duman kontrolü yapılmasını gerektiren bir uygulama söz konusu değildir. Atriumlardaki gibi dumanın tavan seviyesinde belirli bir yükseklikten aşağıya derinleşmemesini sağlayacak bir tasarım hedefi koridorlar için uygun değildir, çünkü bir katın koridoruna geçen dumanın koridorun tavan seviyesinde tutulmaya çalışılmasından ziyade, örneğin asansör kat kapıları çevresindeki sızıntılar aracılığıyla diğer kat koridorlarına duman yayılmaması daha makul bir performans beklentisidir. Koridor duman kontrol sistemlerinin atrium duman kontrol sistemleri gibi tasarlanmasını gerektiren bir benzerlik olmadığı gibi, bu tür bir benzeşimin yapılmasını destekleyen herhangi bir referans da bulunmamaktadır. Ayrıca bu sistem, aynı zamanda merdiven basınçlandırma yapılan binalarda merdiven kapıları çevresinden koridora sızan basınçlandırma havasının koridordaki duman egzoz emiş noktalarından bina dışına atılmasına da yardımcı olacaktır, ki bu tür bir tasarım hedefi için saatte 10 hava değişimi esasına göre koridordan egzoz yapılması, koridorlar için atrium duman kontrolüne benzer bir sistem tasarlamaktan çok daha uygun bir yaklaşımdır. Öte yandan, BS 9999 standardının 2017 yılında yayınlanan versiyonunda, koridorlardan duman ve ısı atılmasını gerektiren durumlar için, koridordaki egzoz debisinin $2 \text{ m}^3/\text{s}$ değerinin altında kalmayacak şekilde saatte 10 hava değişiminin esas belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Buradaki minimum $2 \text{ m}^3/\text{s}$ değeri, 2 m yükseklikte ve 1 m genişlikteki bir merdiven kapısından 1 m/s ortalama hızla koridora geçen basınçlandırma havasını karşılar ve bu anlamda koridordan en az $2 \text{ m}^3/\text{s}$ debiyle egzoz yapacak şekilde tasarlanan bir sistem, duman kontrol sistemlerinin en başta gelen uygulaması olan merdiven basınçlandırma sisteminin tamamlayıcısı olarak çalıştırılmış olur. Merdiven kapılarının kapalı olduğu durumda bu iki sistem birlikte çalışırken, basınçlandırma sisteminin merdiven kapılarının açılmasını zorlaştırma etkisinin aynı anda koridordan egzoz yapılmasıyla daha da artabileceği dikkate alınmalıdır. Bu açıdan koridordan yapılacak duman egzoz miktarının gerekenden fazla olmamasına dikkate edilmeli ve merdiven basınçlandırma sisteminden gelecek sızıntılar ile asansör kat kapısı çevresinden koridora geçecek sızıntıların dışında kalan egzoz debisinin, koridora harici bir tamamlama havası olarak verilmesi önemlidir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, koridor duman kontrol sistemiyle ilgili periyodik testler sırasında basınçlandırma sistemlerinin de çalışır durumda olmasının gerekli olduğu söylenebilir. En azından duman egzoz fanına en uzak olan kat koridorunda test yapılmak şartıyla, sistem performansının kontrolü için koridordan egzoz yapan ve koridora tamamlama havası sağlayan menfezlerden hız ve/veya debi ölçümü yapılabileceği gibi, sistemin performans beklentisini karşılayıp karşılamadığını soğuk duman testi ile belirlemek de mümkündür. Bunun için öncelikle hedeflenen duman egzoz miktarının saatte kaç hava değişimine tekabül ettiği hesaplanarak bir tam hava değişimi için kaç dakikaya ihtiyaç olduğu belirlenmelidir. Örneğin saatte 10 hava değişimine göre tasarlanan bir sistemde, sis makinasından üretilen sis ile doldurulan koridorda, sistem devreye sokulduktan 6 dk sonra bir tam hava değişimi sağlanmış olacaktır. Ancak soğuk duman testi sırasında egzoz edilen havanın içinde tamamlama havası da yer alacağından, 6 dk sonunda ortamda hiç sis kalmaması mümkün değildir. Bu tür testlerde performans kriteri olarak en fazla 10 dk içinde koridorun en uzak uçlarının ve/veya koridordaki tüm acil durum yönlendirme işaretlerinin görünür hale gelmesi beklenir ve çok iyi tasarlanmış sistemlerde bu sonucun yaklaşık 5 dk sonunda elde edilebileceği ifade edilir. Soğuk duman testlerinin tekrarlanabilirliği açısından, testin başlangıcındaki ortalama görüş mesafesinin ve hedeflenen görüş mesafesine kaçınıcı dakikada ulaşıldığının kaydedilmesi önemlidir.

SONUÇ

Duman kontrol sistemlerinin çalışır durumda işletilebilmeleri için gerekli kontrol, test ve bakımlarının yaptırılması yönetmelik gereği zorunludur. Ekipmanlarda periyodik bakımların hangi sıklıkta ve nasıl yapılacağı konusunda üretici teknik spesifikasyonları esas alınır. Ancak işletme ekipleri tarafından yapılması gereken kontrol ve testler için ilgili standartlara başvurulur. Bu çalışma kapsamında verilen bilgiler doğrultusunda belli başlı duman kontrol sistemlerinin ve ana sistem bileşenlerinin işletme ekipleri tarafından yapılması gereken periyodik kontrol ve testlerinin hangi sıklıkta ve ne şekilde yapılacağına ilişkin temel hususlar aşağıda özetlenmiştir.

Duman kontrol sistemi ekipmanlarının işletme ekipleri tarafından yapılması gereken kontrol ve testleri ile ilgili olarak Türk-Avrupa standartlarında verilen periyotlar, birçok işletme için uygulanabilir olmayacak düzeyde sıklıkla test yapılmasını gerektirmektedir. Örneğin TS EN 12101 standardının 6.bölümünde basınçlandırma fanlarının haftada bir çalıştırılmaları, 8.bölümünde ise duman kontrol sistemlerinde kullanılan damperlerin en fazla 3 ayda bir tam olarak açma-kapama testine tabi tutulmaları istenir. Ayrıca TS EN 15650 standardına göre eriyebilen sigortalı damperleri de kapsayan bir terim olarak kullanılan “yangın damperlerinin” kapatılıp açılmasını gerektiren testlerin 6 aylık periyotlarla yapılması gerektiği yazılmıştır. Uluslararası geçerliliği ve güvenilirliği daha yüksek olan NFPA standartlarında veya söz konusu ekipmanlara ait üretici teknik spesifikasyonlarında bu kadar sık aralıklarla periyodik kontrol ve test yapılmasını gerektiren bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle NFPA 92 standardında yer alan bilgilerle uyumlu olarak; basınçlandırma sistemleri, atrium duman kontrol sistemleri ve koridor duman kontrol sistemleri gibi sadece yangın durumunda çalıştırılan duman kontrol sistemlerinin testlerinin 6 aylık periyotlarla yapılması uygun bir yaklaşımdır. Normal işletme koşullarında otopark havalandırması için de kullanılan otopark duman kontrol sistemlerinin periyodik testleri ise yılda bir kez yapılabilir.

Duman kontrol sistemleri arasında en yüksek öneme sahip uygulama olan merdiven basınçlandırma sistemlerinin periyodik testleri sırasında, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’te (BYKHY) belirtilen performans beklentilerinin karşılandığını gösterecek şekilde farklı çalışma koşullarında testler yapılmalı ve bu testler sırasında açık kapılardan hız ölçümleri ile kapalı kapılardan basınç farkı ve kapı açma kuvveti ölçümleri yapılmalıdır. Diğer duman kontrol sistemlerinde ve duman tahliye sistemlerinde duman egzoz fanlarından ve tamamlama havası fanlarından debi ölçümleri ile ilgili duman zonu sınırlarında bulunabilecek belirgin açıklıklardan hız ölçümleri yapılmalıdır. Koridor duman kontrol sistemlerinde duvarlarla ve kapılarla sınırlandırılmış küçük hacimli duman zonları söz konusu olduğundan, sistem performansını soğuk duman testleri yaparak belirlemek de mümkündür.

Duman kontrol sistemi testleri kapsamında 6 ayda bir defa veya yılda bir defa, söz konusu sistemlerde yer alan motorlu damperlerin de senaryo gereği aldıkları konumlara gelip gelmediği kontrol edilmiş

olacaktır. Bunun dışındaki damperlerin ve özellikle de eriyebilen sigortalı damperlerin testi için ise, NFPA 80 ve NFPA 105 standartlarında belirtildiği gibi devreye alma işleminden sonraki birinci yılda bir test yapıldıktan sonra testlerin sıklığının 4 yılda bir kereye düşürülmesi (hastanelerde 6 yılda bir kereye düşürülmesi) makul bir yaklaşımdır. Motorlu damperlerde uzaktan açma-kapama yapılabildiği için istenirse bu testlerin daha sık yapılması da çok zorlayıcı olmayabilir ancak özellikle eriyebilen sigortalı damperler için TS EN 15650 standardında belirtilen 6 aylık test periyodu birçok işletme için uygulanabilir değildir.

KAYNAKLAR

- [1] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, *Bakanlar Kurulunun 27.11.2007 gün ve 2007/12937 sayılı kararı ile resmi gazetesinin 19.12.2007 gün ve 26735 sayılı sayısı*
- [2] TS EN 12101, Smoke and heat control systems
 - Part 1 : Specification for smoke barriers (*TSE kabul tarihi: 08.01.2009*)
 - Part 2 : Natural smoke and heat exhaust ventilators (*TSE kabul tarihi: 24.04.2017*)
 - Part 3 : Specification for powered smoke and heat exhaust ventilators (*TSE kabul tarihi: 23.10.2015*)
 - Part 6 : Specification for pressure differential systems – Kits (*TSE kabul tarihi: 13.03.2008*)
 - Part 7 : Smoke duct sections (*TSE kabul tarihi: 13.12.2011*)
 - Part 8 : Smoke control dampers (*TSE kabul tarihi: 13.12.2011*)
 - Part 10 : Power supplies (*TSE kabul tarihi: 08.01.2009*)
- [3] TS EN 15650, Ventilation for buildings - Fire dampers (*TSE kabul tarihi: 13.07.2010*)
- [4] NFPA 80 (2019), Standard for Fire Doors and Other Opening Protective Systems
- [5] NFPA 92 (2018), Standard for Smoke Control Systems
- [6] NFPA 105 (2019), Standard for Smoke Door Assemblies and Other Opening Protective Systems
- [7] NFPA 204 (2018), Standard for Smoke and Heat Venting
- [8] "Otopark ve Tünellerde Jetfan Havalandırma ve Duman Kontrolü", Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın No:36, Editör: A.KILIÇ, 2017.
- [9] BS 7346-7 (2013), Components for smoke and heat control systems - Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks (2013)
- [10] BS 9999 (2017), Fire safety in the design, management and use of buildings - Code of practice

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan BALIK

1979 yılında Tunceli'de doğdu. 1996 yılında Nazilli Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde öğrenim görmeye başladı. İstanbul Teknik Üniversitesi'nden 2000 yılında "mühendis", 2003 yılında "yüksek mühendis" ve 2010 yılında "Doktora" ünvanlarını aldı. 2006 yılında doktora çalışmalarına 1 yıl ara vererek Belçika'da bulunan Von Karman Akışkanlar Dinamiği Enstitüsü'nde diploma kursu programını tamamladı ve bugünkü adıyla "research master" diploması aldı.

İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nde önce "Araştırma Görevlisi" sonra "Öğretim Görevlisi" olarak 2001-2012 yılları arasında hizmet verdi. 2012 yılından beri, binalarda yangın güvenliği ile ilgili danışmanlık hizmeti veren Etik Mühendislik Danışmanlık Tasarım ve Eğitim Hizmetleri A.Ş.'de çalışmakta ve aynı zamanda Türkiye'de yangın güvenliği anlayışının ve sektörün gelişimi için yapılan çalışmalara, makaleler, bildiriler, kurslar ve seminerlerle destek olmaya devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.



YANGIN KORUNUM SİSTEMLERİNDE AKILLI BAKIM YÖNETİMİ – VERİ ANALİZİ VE KESTİRİMCİ BAKIM

Smart Maintenance Management for Fire Protection Systems – Data Analysis and Preventive Maintenance

Duhan Portakal

ÖZET

Endüstri 4.0 ile birlikte ülkemizde dijitalleşme kavramı yaygınlaşmıştır. Bu kapsamda; büyük veri, veri analizi, veri yorumlaması, veri güvenliği vb. kavramlar hayatımıza girmiş ve verinin önemi daha iyi anlaşılmıştır. Özellikle endüstriyel üretim alanlarında dijitalleşme hız kazanmış, yangın güvenliği sektöründe de dijitalleşme alanında adımlar atılmaya başlanmıştır. Yangın güvenliği sektörünün temel dinamiklerinden biri olan sistemlerin sürdürülebilirliği konusunda ise, dijitalleşme kapsamında ekipmanların performans sürekliliğinin takibini ve bakım yönetimini daha pratik hale getirecek yazılım tabanlı çözümler sektöre kazandırılmaktadır.

Binalarda tesis edilen yangın korunum sistemleri yalnızca ihtiyaç halinde kullanılması gereken sistemler olup, binada bulunabilecek kişilerin can güvenliği ve binanın mal güvenliğinin sağlanması adına sistemlerin sürdürülebilirliği oldukça önemlidir. Yangın korunum sistemleri devreye alındıktan sonra performans sürekliliğini sağlamanın temel yolu ise ekipmandan alınan verileri doğru yorumlamak ve kullanmaktır. İşletme zamanında, ekipmanlardan hangi verilerin alınması ve verilerin nasıl yorumlanması gerektiği ve bu veriler kullanılarak oluşturulacak ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürlerinin belirlenmesi konusu uzmanlık gerektiren bir konudur ve bina yönetimi, malzeme üreticileri ve yangın güvenliği uzmanlarının ortak yürüteceği çalışmalar ile ortaya konulması gerekir.

Bu çalışma kapsamında, çeşitli bina kullanım sınıflarında yer alan toplam 36 adet binada, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri hakkında bilgi toplanmıştır. Binalarda periyodik bakım prosedürlerinin ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğuna yönelik değerlendirme yapılmış ve bakım süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik çözümler ortaya konmuştur. Sistemlerin periyodik bakımlarına ilave olarak, ekipmanların çalışma ve arıza verilerini yorumlayarak, ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürlerinin nasıl belirleneceği ve hangi verilerin değerli veri olacağı konusunda öngörüler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yangın korunum sistemleri, Akıllı bakım, Dijitalleşme, Veri analizi, Kestirimci bakım.

ABSTRACT

Digitalization gains momentum in our country thanks to Industry 4.0. Within this scope; big data, data analysis and interpreting of data, data security, etc. came up and the importance of data has been understood better. Especially, digitalization accelerates in the industrial manufacturing area. Studies have been carried out regarding the digitalization in the fire and life safety sector. Regarding the sustainability of systems which is one of the basic dynamic of fire and life safety, software-based solutions that will provide to track and manage equipment maintenance practically, are developing within the scope of digitalization.

Since the fire protection systems in buildings are only used when they required, the sustainability of these systems is quite important to provide life and property safety. After the acceptance of fire

protection systems, data that is gained from equipment should be interpreted and used correctly to keep the sustainability of these systems. During the operation, which data should be taken from the equipment and how the data should be interpreted and the determination of the predictive maintenance procedures by using data taken from equipment are special issues that require know-how. Building management, manufacturer companies and fire and life safety experts are working together to determine these issues.

Studies have been carried out regarding the periodic inspection, test and maintenance of fire protection systems in more than thirty buildings with the different intended use. Within the scope of this study periodic maintenance of each building is evaluated regarding its compliance with local and international standards and given a solution to improve maintenance procedures for buildings. In addition to the periodic maintenance of the systems, by interpreting the operation and failure data of the equipment, predictions were made about how to determine the predictive maintenance procedures and which data would be valuable data.

Key Words: Fire protection systems, Smart maintenance, Digitalization, Data analysis, Preventive maintenance.

1. GİRİŞ

Binalarda yangın güvenliğine yönelik alınan önlemlerin zamanla işlerliğini yitirmesine sebep olabilecek olası arızaların önüne geçebilmek için düzenli aralıklarla kontroller yapılmalıdır. Bu amaçla gözle kontrol esasına dayalı olarak gerçekleştirilen “periyodik kontroller” (“denetim” veya “muayene” olarak da ifade edilebilir) aşağıda tarif edilen periyodik test ya da periyodik bakım işlemlerine kıyasla daha sık yapılır ve test ya da bakımlara kıyasla daha az zamanda ve daha kolay gerçekleştirilebilir.

Yangın korunum sistemlerinin ya da ekipmanlarının olası bir yangın vukuunda beklenen performansı göstermeye devam ettiğinden emin olmak için, ilgili sisteme veya ekipmana yönelik, periyodu ve yapım yöntemi önceden belirlenmiş olan “fonksiyon testleri” de yapılması gerekir. Fonksiyon testleri, yalnızca sistemler devreye alındığında değil, işletme aşamasında belli aralıklarla ilgili uluslararası standartlarda veya üretici tarafından hazırlanan teknik kılavuzlarda tarif edilen şekilde ve belirlenen aralıklarda yapılır. Fonksiyon testlerine benzer şekilde, ekipmanlar için bakım işlemleri de yine ilgili uluslararası standartlarda ve üretici teknik kılavuzlarında tarif edildiği şekilde yapılmalıdır. Periyodik bakım işlemlerinin ekipman ömrünü uzatmak ve ekipman performansını arttırmak adına göz önünde bulundurulması ve düzenli şekilde takibinin yapılması gerekir.

Periyodik kontrol, test ve bakım işlemlerinin; yangın algılama ve alarm sistemi, söndürme sistemi ve duman kontrol sistemi gibi aktif yangın korunum sistemlerinin yanı sıra, kaçış yollarının acil durumlarda kullanıma uygun olarak işletilmesi ve yangın kompartıman bütünlüğünün bozulmaması gibi mimari ve inşai yangın koruma önlemlerini de kapsadığı düşünülmelidir. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik’te (BYKHY) sistem ihtiyaçlarının anlatıldığı ilgili başlıkların altında, sistemlerin periyodik kontrol ve bakım işlemlerinin de yapılması ile ilgili zorunluluklar ve bu işlemlerin yapılmasında sorumlu olan kurum ve kişilerden de bahsedilir. BYKHY’ye göre, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol ve bakımlarından bina veya işyeri sahibi ve yöneticileri veya bu kişilerin görevlendirdiği tesis yönetim firmaları sorumlu tutulmakta olup, sistemlerin işler halde tutulması ve ihtiyaç halinde çalışır durumda olacaklarından emin olunması elzemdir. [1] Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol ve bakımlarının nasıl yapılacağı ile ilgili olarak ise BYKHY’de ayrıntılı bilgi bulunmamakta olup, yönetmeliğin ilkelerle ilgili 5.maddesinin 2.fıkrası gereği sırasıyla Türk standartlarına, Avrupa standartlarına, burada da yeterli hüküm yok ise, uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlara başvurulması ve ilgili standartlarda ayrıntılı şekilde tarif edilen periyodik kontrol, test ve bakım işlemlerinin takip edilmesi gerekir. [1]

Sektörde adı henüz yeni duyulmaya başlanan “kestirimci bakım” işlemleri ise aynı işletmede uzun süre takip edilen ekipmanların veya farklı işletmelerdeki aynı marka ve model ekipmanların arıza istatistiklerine bağlı olarak, söz konusu ekipmanların arızalı duruma geçme ihtimallerini azaltıp ömrünü

arttırmaya yönelik işlemleri içeren bakım prosedürleridir. Kestirimci bakım prosedürleri, ilgili standartlarda doğrudan tarif edilmemektedir. Ekipman türüne, modeline, konumuna, kullanım amacına vb. parametrelere bağlı olarak ekipmanda meydana gelmesi muhtemel arızaların önceden tahmin edilmesine dayalı oluşturulan periyodik kontrol ve bakım işlemleri, sahadan toplanan verilere dayalı sürekli gelişim ve güncelleme geçirmektedir. Günümüzde oldukça popüler hale gelen veri toplanması ve yönetimi sayesinde, ekipman özelinde toplanan veriler kullanılarak kestirimci bakım prosedürleri belirlenir. Konuyla ilgili yangın ve can güvenliği sektöründeki öncü kurum ve kuruluşlar yoğun bir çalışma içerisinde bulunmakta olup, önümüzdeki süreçte yangın güvenliği ekipmanları özelinde kestirimci bakım prosedürlerinin nasıl belirlendiği ve ne şekilde kullanılması gerektiği ile ilgili çalışmalarını sektöre kazandıracaktır. Yangın korunum sistemlerinde kestirimci bakım uygulamaları da yine çok yakın zamanda ülke genelinde yaygınlaşacak ve bina işletmelerinin yangın korunum sistemlerindeki kestirimci bakım prosedürlerine kolaylıkla erişim sağlayabileceği online bakım takip ve yönetim programları kullanılacaktır.

2. BİNA İŞLETMELERİNDEKİ BAKIM SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, çeşitli bina kullanım sınıflarında yer alan toplam 36 adet bina işletmesinde, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol ve bakım işlemlerinin planlaması, takibi ve raporların arşivlenmesi çerçevesinde değerlendirme yapılmış olup, çalışmanın sonuçlarına ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte bakım süreçlerinin yönetiminin kolaylaştırılmasına yönelik analizler yapılmıştır.

2.1. Çalışmaya Katılan Bina İşletmelerinin Özellikleri

Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri ile ilgili çalışmalara katılan bina işletmeleri altı farklı kullanım sınıfı içerisinde yer almaktadır. Kullanım sınıflarına göre çalışmaya katılan işletme sayıları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanım Amacına Göre Çalışmaya Katılan Bina Sayıları

Kullanım Amacı	Çalışmaya Katılan Bina Sayısı (Adet)	Çalışmaya Katılan Binalara Oranı
Eğitim Binaları	2	%5
Endüstriyel Tesisler	6	%17
Havalimanları	2	%5
Kompleks Yapılar	12	%33
Konut Binaları	5	%14
Ofis Binaları	9	%25

Çalışmaya katılan binaların tamamında aşağıdaki yangın korunum sistemleri tesis edilmiştir:

- Yangın Pompa Sistemleri
- Otomatik Söndürme Sistemleri
- Elle Yangına Müdahale Sistemleri
- Duman Kontrol Sistemleri
- Yangın Algılama ve Alarm Sistemleri

Binalarda belirli sistem bakımlarını yapabilen teknik personeller bulunmaktadır. Ayrıca, bina işletmelerinin tamamı bağımsız kuruluşlar (sigorta firmaları, muayene kuruluşları vb.) tarafından da denetime tabidir. Bu sebeple, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarına yönelik raporlar bina işletmeleri tarafından arşivlenmekte ve periyodik olarak ilgili kuruluşlarla paylaşılmaktadır.

2.2. Çalışma Konuları

Bina işletmeleri ile yapılan çalışmada yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri detaylı olarak incelenmiştir. Bina işletmelerinin bakımları nasıl planladığı, teknik personele görev dağılımını nasıl yaptığı ve bakım raporlarını nasıl arşivlediği konularında bina işletmelerine sorular yönelmiş ve alınan cevaplar grafikler halinde paylaşılmıştır.

Bina işletmelerinde periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinin doğru şekilde yürütülebilmesi için öncelikle bina işletmesinin bu konuda planlama yapması oldukça önemlidir. Planlama yaparken, bakım personelinin ve/veya ekiplerinin belirlenmesi, bakım ihtiyacı duyulan envanterin listelenmesi, uluslararası standartlara uygun bakım periyotlarının belirlenmesi, ana sistemler özelinde teknik servis bakımları için periyotların belirlenmesi ve bakım raporlarının nasıl arşivleneceğine yönelik çalışmaların ortaya konulması gerekir. Bina işletmeleri ile yapılan bu çalışma kapsamında, bina işletmelerinin bakım planlamasını mevcut durumda nasıl yaptığı ve özellikle teknolojinin getirdiği yeniliklerin bakım planlamasına doğru şekilde dahil edilmesine yönelik neler yapılabileceği hakkında fikir alışverişinde bulunulmuştur.

2.2.1. Bakım personeli ve teknik servis desteği

Çalışmaya dahil olan altı farklı kullanım amacındaki toplam 36 adet binada, bakım planlamasının temel ayağı olan personel istihdamı ve teknik personel desteğine yönelik mevcut çalışmalar incelendiğinde, çalışmaya katılan bina işletmelerinin %75'inin bakım personelleri çalıştırdığı ve yangın korunum sistemlerinde kullanılan ekipmanların periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinin sorumluluğunun belirli bir personele verildiği ortaya çıkmıştır. Çalışmaya katılan bina işletmelerinden yaklaşık %20'sinde ise, yangın korunum sistemleri için belirli bir personel ataması yapılmadan, bina işletmesinde görev alan personellerden bakım takvimine göre müsait olan personele ilgili bakım sürecini yönetmesi konusunda görevlendirme yapılmaktadır. Geriye kalan %5'i oluşturan işletmelerde ise, sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerine yönelik bir planlama yapılmadığı sonucu çıkmıştır.

Bakım personeline yönelik çalışma sonuçlarına göz atıldığında, çalışmaya dahil olan binaların büyük çoğunluğunun bakıma yönelik personel istihdam ettiği ve bakım konusunda personel sorumluluklarını çok iyi bir şekilde tarif ettiği görülmektedir. Bakımların yapılmasına rağmen, personel görevlendirme konusunda yeterli seviyede planlama yapmayan bina işletmelerinin büyük çoğunluğunu konut binaları oluşturmaktadır. Farklı kullanım amaçlarına sahip binalarda gösterilen hassasiyetin konut tipi binalarda da gösterilmesi ve bu binalarda tesis edilen yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinin doğru şekilde planlanıp yönetilmesi, özellikle binadaki insanların can güvenliği açısından oldukça önemlidir.

Binalarda istihdam edilen teknik personellerin yanı sıra, ana sistemler için belli periyotlarda ilgili sisteme hakim teknik servislerden de destek alınması uluslararası standartlar tarafından zorunlu tutulmaktadır. Yangın pompa sistemleri, yangın algılama ve uyarı sistemleri vb. sistemler için yılın belirli periyotlarında teknik servis tarafından kontrol, test ve bakımlar yapılmalı ve olası arıza durumları tespit edilerek gerekli onarım işlemleri gerçekleştirilmelidir. Bu kapsamda, çalışmaya dahil olan bina işletmeleri ile yapılan görüşmeler sonucunda, çalışmaya katılan binalardan %92'sinin ana sistemler için teknik servis desteği aldığı ve yılın belirli periyotlarında teknik servisleri binaya davet ederek sistemlerin kontrol, test ve bakımlarını yaptırdığı sonucu çıkmıştır. Çalışmaya katılan ve teknik servis desteği almayan %8'lik kısmı ise yine konut tipi binaların oluşturduğu sonucu çıkmıştır.

Tablo 2. Bakım personeli planlaması

Bakım Yapan Personel Tipi	Bina Sayısı (Adet)	Çalışmaya Katılan Binalara Oranı
Bakıma Özel Görevlendirilmiş Personel	27	%75
Müsait Durumdaki Personel	7	%19
Bakım Yapılmaması	2	%5
Teknik Personel Desteği Alınması	33	%92

2.2.2. Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım periyotları

Binalarda tesis edilen yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarının hangi periyotlarda ve nasıl yapılması gerektiği ile ilgili detaylı bilgiler, BYKHY'nin de atıfta bulunduğu uluslararası kabul görmüş standartlarda detaylı şekilde tarif edilmektedir. Yangın güvenliği konusunda tüm Dünya'da kabul görmüş NFPA (National Fire Protection Association) standartlarında yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri çok detaylı şekilde anlatılmakta ve sistem bakımlarında takip edilmesi gereken yöntemler ilgili standartlarda tarif edilmektedir. Uluslararası standartlarda yangın korunum sistemleri için verilen periyodik kontrol, test ve bakım periyotları farklı sistemler için Tablo 3'ten Tablo 9'a kadar aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 3. Yangın pompa sistemleri [2]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
YANGIN POMPA DAİRESİ (EP - DP)	-	K _H T _H	K _A T _A	K _{3A} B _{3A}	K _{6A} T _{6A} B _{6A}	K _Y T _Y B _Y
YANGIN POMPA DAİRESİ (EP-EP)	-	K _H	T _A	K _{3A}	T _{6A}	T _Y B _Y
Elektrik Motor Tahrikli Yangın Pompası (NFPA 25)	-	K _H	T _A	K _{3A}	T _{6A}	T _Y B _Y
Dizel Motor Tahrikli Yangın Pompası (NFPA 25)	-	K _H T _H	K _A	K _{3A} B _{3A}	K _{6A} T _{6A} B _{6A}	K _Y T _Y B _Y
Su Deposu (NFPA 25)	-	-	-	K _{3A}	T _{6A}	-

K: Kontrol (Denetim), T: Test, B: Bakım

K_H: Haftalık Kontrol, K_A: Aylık Kontrol, K_{3A}: 3 Aylık Kontrol, K_{6A}: 6 Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık Kontrol

T_H: Haftalık Test, T_A: Aylık Test, T_{6A}: 6 Aylık Test, T_Y: Yıllık Test

B_{3A}: 3 Aylık Bakım, B_{6A}: 6 Aylık Bakım, B_Y: Yıllık Bakım

Tablo 3'te verilen yangın pompa sistemleri periyodik kontrol, test ve bakım periyotlarına bakıldığında dizel motor tahrikli yangın pompasının elektrik motor tahrikli yangın pompasından daha sık denetlenmesi gerektiği görülmektedir. Bakımlarda yapılacak işlemler de göz önüne alındığında, projelendirme aşamasında pompa tipine karar verirken işletme zamanında ekipman için ayrılacak bakım süreleri ve bakım maliyetlerinin göz önünde bulundurulması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4. Otomatik sulu söndürme sistemleri [2]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
OTOMATİK SULU SÖNDÜRME SİSTEMLERİ	-	-	K _A	K _{3A}	K _{6A} T _{6A}	K _Y T _Y B _Y
Sulu Söndürme Sistemi Alarm Vanaları (NFPA 25)	-	-	K _A	K _{3A}	T _{6A}	T _Y B _Y
Sulu Söndürme Sistemi İzlemeli Vanalar (NFPA 25)	-	-	-	K _{3A}	K _{6A}	T _Y
Flow-switch (NFPA 25)	-	-	-	K _{3A}	T _{6A}	-
Sprinkler Başlıklar (NFPA 25)	-	-	-	-	-	K _Y

K: Kontrol (Denetim), T: Test, B: Bakım

K_A: Aylık Kontrol, K_{3A}: 3 Aylık Kontrol, K_{6A}: 6 Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık Kontrol

T_{6A}: 6 Aylık Test, T_Y: Yıllık Test

B_Y: Yıllık Bakım

Tablo 4'te tarif edilen otomatik sulu söndürme sistemleri periyodik kontrol, test ve bakım periyotlarına göre sistem ekipmanlarının aylık ve 3 aylık periyotlarda kontrol edilmesi, 6 aylık periyotlarda test edilmesi gerektiği görülmektedir. Ekipman bakımlarının ise yıllık periyotlarda yapılmasının yeterli olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Otomatik Diğer söndürme sistemleri [3] [4]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
OTOMATİK DİĞER SÖNDÜRME SİSTEMLERİ	-	-	K _A	K _{3A} B _{3A}	K _{6A} T _{6A} B _{6A}	K _Y T _Y B _Y
Temiz Gazlı Söndürme Sistemi (NFPA 2001)	-	-	K _A	-	K _{6A}	T _Y
Davlumbaz Söndürme Sistemi (NFPA 17A)	-	-	K _A	K _{3A} B _{3A}	K _{6A} T _{6A} B _{6A}	K _Y T _Y B _Y

K: Kontrol (Denetim), T: Test, B: Bakım

K_A: Aylık Kontrol, K_{3A}: 3 Aylık Kontrol, K_{6A}: 6 Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık Kontrol

T_{6A}: 6 Aylık Test, T_Y: Yıllık Test

B_{3A}: 3 Aylık Bakım, B_{6A}: 6 Aylık Bakım, B_Y: Yıllık Bakım

Sulu söndürme sistemi haricindeki otomatik söndürme sistemlerinden özellikle davlumbaz söndürme sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım periyotları oldukça sık aralıklarla yapılması gerekir. Risk açısından da değerlendirildiğinde yoğun pişirme yapılan ticari mutfak davlumbazlarında yangın çıkma ihtimali hiç de azımsanmayacak bir orana sahiptir.

Tablo 6. Elle müdahale sistemleri [2] [5] [6]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
ELLE MÜDAHALE SİSTEMLERİ	-	-	K _A	K _{3A}	-	K _Y T _Y B _Y
Hidrant Sistemi (NFPA 25)	-	-	-	-	-	K _Y T _Y B _Y
İtfaiye Su Alma Ağızı (NFPA 25)	-	-	-	-	-	K _Y
İtfaiye Su Verme Ağızı (NFPA 25)	-	-	-	K _{3A}	-	-
Yangın Dolabı (EN 671-3)	-	-	-	-	-	K _Y T _Y B _Y
Taşınabilir Yangın Tüpü (ISO 11602-2)	-	-	K _A	-	-	B _Y

K: Kontrol (Denetim), T: Test, B: Bakım

K_A: Aylık Kontrol, K_{3A}: 3 Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık Kontrol

T_Y: Yıllık Test

B_Y: Yıllık Bakım

Elle yangına müdahale sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinin otomatik söndürme sistemlerine göre daha seyrek aralıklarla yapılabileceği belirtilmekte olup, sistemlerin özellikle yıllık periyotlarda test ve bakımlarının yapılması oldukça önemlidir.

Tablo 7. Yangın algılama ve uyarı sistemleri [7]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
YANGIN ALGILAMA VE UYARI SİSTEMİ	K _G	-	-	-	K _{6A}	K _Y T _Y B _Y
Yangın Algılama Sistemi (NFPA 72)	K _G	-	-	-	K _{6A}	K _Y T _Y B _Y
Acil Anons Sistemi (NFPA 72)	K _G	-	-	-	K _{6A}	K _Y T _Y B _Y

K: Kontrol (Denetim), T: Test, B: Bakım
K_G: Günlük Kontrol, K_{6A}: 6 Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık Kontrol
T_Y: Yıllık Test
B_Y: Yıllık Bakım

Yangın algılama ve uyarı sistemlerinde, özellikle merkez panellerin günlük periyotlarda izlenmesi ve panele düşen olayların günlük raporlanması oldukça önemlidir. Bu kontrolün yanı sıra, sistem ekipmanlarının 6 aylık periyotlarda kontrol edilmesi ve yıllık periyotlarda da test ve bakımlarının yapılması gerektiği belirtilmektedir.

Tablo 8. Duman kontrol sistemleri [8] [9]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
DUMAN KONTROL SİSTEMLERİ	-	-	-	-	T _{6A}	T _Y B _Y
Dedike Sistemlere Ait Fanlar (NFPA 92)	-	-	-	-	T _{6A}	B _Y
Dedike Olmayan Sistemlere Ait Fanlar (NFPA 90A)	-	-	-	-	-	T _Y B _Y
Yangın Damperleri (NFPA 92)	-	-	-	-	-	T _Y

T: Test, B: Bakım
T_{6A}: 6 Aylık Test, T_Y: Yıllık Test
B_Y: Yıllık Bakım

Duman kontrol sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde Avrupa Standartları ile NFPA standartları arasında ciddi farklar bulunduğu söylemek yanlış olmaz. Özellikle Avrupa Standartlarında çok daha sık periyotlarda bakım yapılması gerektiği tarif edilmekte iken, sistemlerin bu kadar sık aralıklarla test edilmesi çok gerçekçi değildir. NFPA standardında tarif edilen ve Tablo 8'de paylaşılan periyotlara bakıldığında 6 aylık periyotlarda test edilmesi ve yıllık periyotlarda da bakım yapılması yeterli olacaktır.

Tablo 9. Kaçış yolları güvenliği [10]

Yangın Korunum Sistemleri Kontrol Test ve Bakım Periyotları						
Sistem Adı	Günlük	Haftalık	Aylık	3 Aylık	6 Aylık	Yıllık
KAÇIŞ YOLLARI GÜVENLİĞİ	-	-	K _A T _A	-	-	K _Y T _Y
Acil Yönlendirme (NFPA 101)	-	-	K _A T _A	-	-	-
Acil Aydınlatma (NFPA 101)	-	-	K _A T _A	-	-	-
Yangın ve Kaçış Kapısı (NFPA 101)	-	-	-	-	-	K _Y T _Y

K: Kontrol (Denetim), T: Test

K_A: Aylık Kontrol, K_Y: Yıllık KontrolT_A: Aylık Test, T_Y: Yıllık Test

Aktif yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım ihtiyacı birçok işletme tarafından bilinmekte iken, pasif yangın güvenliği olarak adlandırılabilir kaçış yolları düzenlemesi ve buna bağlı kaçış yolları güvenliği konularında da uluslararası standartlarda kontrol ve test prosedürlerinden bahsedilmektedir. Özellikle acil aydınlatma ve yönlendirme sistemlerinin aylık periyotlarda kontrol ve test edilmesi, kaçış kapılarının ise yıllık periyotlarda kontrol ve test edilmesi uygun olacaktır.

Çalışmaya katılan binalardaki mevcut periyodik kontrol, test ve bakım periyotları, uluslararası standartlarda tarif edilen periyotlar ile karşılaştırılmış olup, uluslararası standartlara uygun olarak bakım planı yapan işletme sayıları ve bu sayıların çalışmaya katılan binalar arasındaki yüzdelere yönelik sonuçlar paylaşılmıştır.

Tablo 3 ila Tablo 9 arasında paylaşılan periyodik kontrol, test ve bakım periyotları göz önüne alındığında; binaların günlük kontrol kapsamında yangın algılama ve uyarı sistemlerini gözle kontrol etmeleri, haftalık kontrol kapsamında yangın pompa sistemlerini gözle kontrol etmeleri, aylık kontrol kapsamında yangın pompa sistemi gözle kontrolleri ve fonksiyon testleri, ıslak alarm vanaları, otomatik söndürme sistemleri, taşınabilir söndürme tüpü kontrolleri, acil aydınlatma ve yönlendirme sistemini gözle kontrol etmeleri beklenir. 3 aylık periyotlarda; dizel motor tahrikli yangın pompasının bakımı, elektrik motor tahrikli yangın pompasının kontrolü, sulu söndürme sistemi ekipmanlarının kontrolü, davlumbaz söndürme sisteminin kontrolü ve bakımı ve itfaiye su verme ağız kontrollerinin yapılması, 6 aylık periyotlarda ise; yangın pompa sistemlerinin kontrol, test ve bakımı, söndürme sistemi ekipmanlarının kontrolü ve testi, diğer söndürme sistemlerinin kontrol, test ve bakımı ve algılama ve uyarı sistemlerinin ise kontrolü gerçekleştirilmelidir. Son olarak yıllık periyotta ise, sistemlerin kapsamlı şekilde kontrol, test ve bakım prosedürlerinin işletilmesi gerekmektedir. Yıllık periyodun ötesinde başta sprinkler başlıkları olmak üzere belli başlı sistemlerin 3 yıllık, 5 yıllık, 10 yıllık, 25 yıllık ve 50 yıllık kontrol, test ve bakım prosedürleri bulunmakta olup, işletmede öncelikle yıllık periyotların hazırlanması sonrasında periyodu bir yıldan fazla olan kontroller için de prosedürlerin hazırlanıp zamanı geldiğinde bu kontrol işlemlerinin de gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.

Çalışmaya katılan binaların kontrol, test ve bakım periyotları haftalık, aylık, 3 aylık, 6 aylık ve yıllık olmak üzere derlenmiş olup, uluslararası standartlara uygun şekilde kontrol, test ve bakım periyotlarını belirlemiş olan firmaların sayısı Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Binaların kontrol, test ve bakım periyotlarının uluslararası standartlara uygunluğu

Sistem	Periyot	Standarda Uygun Bakım Planı Bulunan Bina Sayısı (Adet)	Çalışmaya Katılan Binalara Oranı
Yangın Pompa Sistemleri	Haftalık	18	%50
	Aylık	30	%83
	3 Aylık	30	%83
	6 Aylık	32	%89
	Yıllık	34	%94
Otomatik Sulu Söndürme Sistemi	Aylık	22	%61
	3 Aylık	22	%61
	6 Aylık	30	%83
	Yıllık	33	%92
Otomatik Diğer Söndürme Sistemi	Aylık	10	%28
	3 Aylık	10	%28
	6 Aylık	24	%67
	Yıllık	32	%89
Elle Yangına Müdahale Sistemi	Aylık	27	%75
	3 Aylık	27	%75
	6 Aylık	32	%89
	Yıllık	34	%94
Yangın Algılama ve Uyarı Sistemi	Günlük	28	%78
	6 Aylık	33	%92
	Yıllık	34	%94
Duman Kontrol Sistemi	6 Aylık	13	%36
	Yıllık	20	%55
Kaçış Yolları Güvenliği	Aylık	10	%28
	Yıllık	24	%67

Tablo 10'da yer alan, yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerine yönelik planlamasını uluslararası standartlara uygun şekilde hazırlayan bina sayıları incelediğinde, özellikle sık periyotlardaki (günlük, haftalık ve aylık) kontrol, test ve bakımların daha az sayıdaki bina tarafından uygun şekilde yapıldığı görülmektedir. Bu durumun başlıca sebebi, bina teknik ekiplerinin uluslararası standartlarda tariflenen kontrol, test ve bakım periyotlarına hakim olamamasıdır. Bir diğer sebep ise, kontrol işlemlerinin zaman alacağını düşünerek daha fazla teknik personel istihdam etmemek adına, kontrol, test ve bakım periyotlarını sıklaştırmaktan kaçınmaktır. Halbuki sık periyotlarda yapılan işlemler ağırlıklı olarak gözle kontrol işlemleri olup, bu işlemlerin gerçekleştirilmesi bina personellerinin sistemlere aşina haline gelmeleri için de önemlidir ve bu işlemler için ilave uzman personel istihdam edilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Sık periyotlarda gerçekleştirilen kontrol işlemleri geleneksel bakım süreci içerisinde değerlendirilse de, aslında işletmeler için kestirimci bakım süreci içerisinde de değerlendirilebilir. Gözle kontrol işlemleri uluslararası standartlarda tarif edilen periyotlarda yapıldığı sürece, ekipmanın arızaya düşme ihtimali azalmakta, daha da önemlisi ekipmanların arızalı konumda kalma süreleri kontrol sıklığına kadar düşmektedir. Bu sayede, arızalandığı zaman uzaktan izleme yoluyla takip edilemeyen ekipmanların, gözle kontrol işlemleri sayesinde arıza tespiti yapıp daha erken müdahale edilebilmektedir.

2.2.3. Periyodik kontrol, test ve bakımların raporlanması

İşletmelerdeki periyodik kontrol, test ve bakım planlamasının son ayağı, yapılan işlemlerin ne şekilde raporlanıp arşivleneceğidir. Raporlama ve arşivleme, periyodik kontrol, test ve bakımların doğru şekilde yapılması kadar önemli bir konu olup, özellikle kredi kuruluşları, muayene kuruluşları, sigorta firmaları, firma içi denetleme birimleri vb. kurum ve kuruluşlar tarafından düzenli olarak denetime tabi olan bina işletmeleri için kritik bir öneme sahiptir.

Çalışmaya dahil olan bina işletmeleri farklı yöntemleri kullanarak periyodik kontrol, test ve bakım çalışmalarını raporlandırmakta olup, bu raporları yine farklı yöntemler kullanarak arşivlemekte ve denetim zamanında ilgili kurum ve kuruluşlara teslim etmektedir. Çalışmaya katılan otuz altı bina işletmesinden yalnızca iki tanesi kontrol, test ve bakım raporlarını arşivlemediğini, kalan 34 işletme ise çıktı olarak, bilgisayar ortamında ve kullandıkları bakım takip ve yönetim programları üzerinde arşivleme yaptıklarını belirtmiştir. Çalışmaya katılan bina işletmelerinin raporları arşivleme yöntemine göre dağılımı Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Bina işletmelerinin raporları arşivleme yöntemi

Arşivleme Yöntemi	Bina Sayısı (Adet)	Çalışmaya Katılan Binalara Oranı
Çıktı Arşivleme	19	%53
Bilgisayar Üzerinden Arşivleme	9	%25
Bakım Yönetim Programı Kullanımı	6	%17
Arşivleme Yapılmaması	2	%5

Geçmişten gelen alışkanlıklar sebebiyle, bina işletmelerinin büyük çoğunluğu bakım raporlarını çıktı olarak arşivlemekte iken, bu konuda yaşadıkları sıkıntılarının farkındadırlar. Özellikle denetim zamanlarında raporlara kolay erişim imkanı sağlayamamaları ve denetim firmalarına raporların teslimleri konusunda güçlük yaşamaktadır. Günümüzde, teknoloji firmaları tarafından üzerine yoğun çalışmalar yapılan bakım takip ve yönetim programlarının da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle periyodik kontrol, test ve bakım formlarının sisteme yüklenmesi, ilgili teknik personele sistem üzerinden atama yapılması ve raporların dijital olarak arşivlenmesi konusunda büyük kolaylık sağlayan bakım takip ve yönetim programları sayesinde bina işletmeleri hem bakım sürecini kolay şekilde takip edebilmekte hem de denetim zamanlarında ilgili kuruluşlara bakım raporlarını yine sistem üzerinden kolaylıkla iletebilmektedir. Pandemiden hemen önce yapılan bu çalışmanın sonucuna göre, çalışmaya katılan binaların %17'si bu programları kullanmakta iken, muhtemelen önümüzdeki senelerde bu sayı giderek artacak ve çıktı olarak arşivleme yönteminin yerini bu tür bakım takip ve yönetim programlarının kullanımı alacaktır.

Raporlandırma ve arşivleme konusundaki çalışmalardan elde edilen bir diğer kıymetli bilgi ise, çalışmaya katılan bina işletmelerinin yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri hakkında sıkı bir denetime tabi olduklarının öğrenilmesidir. Özellikle sigorta firmaları ve muayene kuruluşları bu konuda düzenli olarak bilgi talep etmektedir. Bu firmaların yanı sıra, üst yönetim ve binada yer alan kiracıların yönetim ekipleri tarafından da bina işletmelerinin bakım raporları talep edilebilmektedir. Çalışmaya katılan bina işletmeleri ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilen, bina işletmelerinden bakım raporlarının talep edilme istatistiği Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Bina işletmelerinden rapor talep eden kurum ve kuruluşlar

Rapor Talep Eden Kurum	Bina Sayısı (Adet)	Çalışmaya Katılan Binalara Oranı
Sigorta Firmaları	18	%50
Muayene Kuruluşları	18	%50
Üst Yönetim ve Firma İçi Denetim	24	%67
Bina Kiracılarının Yönetim Ekibi	9	%25
Uluslararası Denetim Firmaları	4	%11
Rapor Talep Edilmemesi	3	%8

Tablo 12 incelediğinde, çalışmaya katılan binaların yaklaşık %67'sinin üst yönetimler tarafından denetlendiği, buna ilave olarak çalışmaya katılan binaların yarısının ayrıca sigorta firmaları ve muayene kuruluşları tarafından da denetlendiği görülebilir. Uluslararası denetim firmaları tarafından denetime tabi olan bina işletmeleri de bulunmakta olup, denetime tabi olmayan bina işletmelerinin yüzdesinin ise yalnızca %8 olduğu ortaya çıkmıştır. Tabloda yer alan bina sayılarından da anlaşılacağı üzere, birden fazla kurum tarafından rapor talep edilebilmekte, özellikle alışveriş merkezi, ofis vb. bina tiplerinde kiracıların da bu konuda talepleri bulunabilmektedir. Bu konudaki çalışma sonuçları göz önüne alındığında, bina işletmelerinin denetime tabi olduğu ve bu denetimlerden geçebilmek için sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerini çok iyi şekilde yönetmesi ve raporlandırması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3. AKILLI BAKIM YÖNETİMİ

Bina işletmelerinin yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarına yönelik izlediği geleneksel yöntemlerin uygulanabilirliği konusunda çekinceler bulunmaktadır. Özellikle geleneksel yöntemlerin bina işletmelerine getirdiği mali yükler sebebiyle, periyodik kontrol, test ve bakım işlemleri uluslararası standartlarda tarif edildiği şekilde yapılamamakta ve bu sebeple de yangın korunum sistemlerinin sürdürülebilirliği konusunda tereddütler ortaya çıkmaktadır. Bina işletmelerinin bakım maliyetlerini ciddi anlamda düşürecek, sistemleri sürdürülebilir kılacak ve özellikle bina işletmelerinin, işverenlere, sigorta kuruluşlarına ve bağımsız muayene kuruluşlarına karşı sorumluluklarını tam anlamıyla yerine getirebilmesine imkan verecek akıllı bakım yönetimi konusundaki çalışmalar sektöre kazandırılmış ve bina işletmelerinin kullanımına sunulmuştur. Yangın korunum sistemleri özelinde akıllı bakım yönetimi, veri analizine ve buna bağlı şekilde ortaya konan kestirimci bakım prosedürlerine dayanmaktadır.

3.1. Veri Analizi

Günümüz iş yaşamındaki en popüler terimlerden biri olan veriyi kullanarak yapılabileceklerin bir sınırı yoktur. Her alanda kullanılabilen verinin, doğru yorumlandığı takdirde bu veriyi kullanan kişi için güçlü bir silah olduğunu söylemek yanlış olmaz. Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde de verinin önemi büyük olup, ekipmanlardan elde edilecek veri doğru yorumlandığı takdirde, ekipman ömrünün uzatılması, arıza sürelerinin azaltılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi kaçınılmazdır.

Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakımlarına yönelik veri analizi yapılabilmesi için izlenmesi gereken belli başlı adımlar bulunmaktadır. Öncelikle yangın korunum sistemlerinde kullanılan ekipmanların listesi yapılarak bu ekipmanlara yönelik envanter yönetimi yapılması gerekir. Envanter yönetiminde; ekipmanın tipi, markası, modeli, devreye alınma tarihi, konumu, kullanım amacı vb. bilgiler kaydedilerek ekipmanın takip edilebilir hale getirilmesi oldukça önemlidir. Ekipmanlar listelendikten sonra her bir ekipman için ekipmandan alınacak veriler ve verilerin hangi yollarla alınacağı belirlenmeli, verilerin alınacağı yöntemle ilgili olarak sistem altyapısı oluşturulmalıdır [11]. Ekipmandan alınacak veriler ve izleme yöntemi de belirlendikten sonra sırada bu verilerin sınıflandırılması ve yorumlanması aşamaları gelmektedir. Özellikle verinin sınıflandırılması ve yorumlanması aşaması uzmanlık gerektiren aşamalar olup, yangın korunum sistemlerine ait ekipmanlar konusunda bina işletmelerinin bu aşamalarda üretici firmalardan ve yangın güvenliği uzmanlarından destek alması oldukça önemlidir. Verilerin sınıflandırılıp doğru şekilde yorumlanması sayesinde, ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürleri oluşturulabilecek ve bu prosedürler sayesinde zaman ve para tasarrufu sağlanabilecektir.

Günümüzde, periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde veriler farklı formatlarda toplanabilmektedir. Bina işletmesinin planlamasına bağlı olarak veriler; çıktı olarak alınan formlar, bilgisayar ortamında kayıtlı tutulan dokümanlar veya yakın zamanda kullanılmaya başlanan bakım takip ve yönetim programları aracılığıyla toplanabilmektedir. Verinin nasıl alınacağına dair bir sınırlama bulunmamakta olup, yapılacak tercih bina işletmesinin veriyi kullanması ve/veya önemsemesi ile ilgilidir. Bakım

verilerinin tutulması ve kullanılması istendiğinde ise, bakım süreçlerinin bu şekilde farklı formatlarla yürütülmesi işleri zorlaştıran bir etken olmaktadır. Veri analizini olumsuz yönde etkileyebilecek diğer parametreler; bakım süreçlerine farklı grupların dahil olması, ekipmandan alınan verinin güvenli şekilde alındığından emin olunamaması, veri yorumlamasında verinin doğru şekilde sınıflandırılmaması ve hatalı yorumların yapılabilmesi olarak sıralanabilir [11].

Veri analizi yönteminde yukarıda tarif edilen yöntemi zorlaştıran şartlar göz önünde bulundurularak uygun bir altyapı kurulur ise, veri analizi yönteminin bakım sürecine ciddi katkıları olacağı aşikardır. Veri analizi yönteminin bakım sürecine katkıları ana maddeler halinde aşağıda paylaşılmıştır [11]:

- Ekipmanın arızalanma süreleri ile bakım periyotları zaman çizelgesinde incelenerek ekipmanın arızada kalma süresi belirlenebilir.
- Ekipmanın arızada kalma süresinin azaltılması adına, bakım periyotlarında güncelleme yapılabilir.
- Arızaya düşmeyen ya da performansında değişiklik gözlenmeyen alt ekipman bakımları için bakım periyotlarında değişiklik yapılarak teknik personelin bakıma ayırdığı zaman azaltılabilir.
- Ekipmanın performansı bakım periyotlarında takip edilip elde edilen veriler uluslararası standartlarda tarif edilen sınır şartların içerisinde kaldığı gözlenir. Aksi bir durum söz konusu olacak ise de, erken müdahale yapılarak ekipman tamir/onarım giderleri azaltılabilir.
- Ekipmandan elde edilen veriler kullanılarak üretici firmaların ekipman üretiminde göz önünde bulundurması gereken iyileştirmeler belirlenebilir.
- Ekipmanların arızaya düşme oranları azaltılarak ekipman ömrü uzatılabilir.
- Verilerin uzaktan izlenmesi sayesinde periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri çok daha pratik hale getirilebilir.

Sonuç olarak, periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde verinin analiz edilip kullanılması bina işletmelerine birçok farklı açıdan yarar sağlayacak olup, bina işletmelerinin yanı sıra, üretici firmalara, yangın ve can güvenliği uzmanlarına ve bina teknik personellerine de katkı sağlayacaktır. Veri analizi sürecinden en iyi şekilde verim alınabilmesi ve bu sayede tutarlı kestirimci bakım prosedürlerinin hazırlanabilmesi için bina işletmelerinin üretici firmalar ve yangın ve can güvenliği uzmanları ile sürekli diirsek temasında bulunması oldukça önemlidir.

3.2. Kestirimci Bakım

Yangın korunum sistemlerinin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerinde kullanılacak verinin sağlayacağı en büyük yarar, ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürlerinin bu veri sayesinde belirlenebilecek olmasıdır. Kestirimci bakım olgusu yakın zamanda hayatımıza girmiş ve özellikle üretim sektöründe yaygın şekilde kullanılmaktadır. Yangın ve can güvenliği sektöründe de kestirimci bakımlara yönelik çalışmalar yürütülmekte olup, bu sektördeki kullanımı henüz istenen seviyede değildir.

Kestirimci bakım, bakım sınıflandırması olarak periyodik bakım ile birlikte önleyici bakım sınıfında yer alır [12]. EN 13306 standardına göre önleyici bakım, “*Önceden belirlenmiş aralıklarda veya öngörülen kriterlere göre gerçekleştirilir ve bir ürünün işleyişinin bozulmasını engellemek veya bozulma olasılığını azaltmak amacıyla yapılır*” şeklinde tanımlanır [13]. Bina işletmeleri önleyici bakımlardan periyodik bakımlar konusunda çalışmalar yapmakta olup, bu çalışmalar da henüz istenen seviye değildir. Periyodik bakımlara yönelik çalışmalar olgunlaştıkça kestirimci bakımlara yönelik çalışmalar hız kazanacak ve periyodik bakımlardan kaynaklanabilecek sorunlar kestirimci bakım prosedürleri ile çözüme kavuşturulacaktır. Kestirimci bakım her ne kadar periyodik bakımlar ile aynı sınıfta değerlendiriliyor olsa da, aslında kestirimci bakım prosedürlerinin kesin bir periyodu yoktur ve tam zamanında bakım olarak da adlandırılabilir. Kestirimci bakım prosedürleri yalnızca ekipmandan toplanan verilere dayalı bir süreç olup, veriye bağlı periyodu ve kontrol maddeleri değişkenlik gösterecektir.

Periyodik bakımların yararlarının yanı sıra iki temel sakıncasının da bulunduğu söylenebilir. Bu sakıncalardan birincisi; düzenli periyotlarda alt ekipman değişikliğinin zorunlu tutulması olup, çalışma durumundaki bir alt ekipmanın ihtiyaç olmadığı halde değiştirilmesi ve buna bağlı olarak maliyet artışının söz konusu olmasıdır. Bir diğer sakıncası ise, düzenli periyotlarda bakım yapılması için teknik

personel planlaması yapılması ve teknik personelin bakımlar için ayırdığı çalışma saatlerinin yüksek oranda olmasıdır. Bu tür sakıncaları ortadan kaldıracak en iyi yöntemin ekipman özelinde kestirimci bakım prosedürleri oluşturmak olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Kestirimci bakım prosedürlerinin uygulaması genel hatlarıyla dört aşamaya ayrılabilir. Bu aşamalar; İzleme yapılacak noktaların belirlenmesi, ekipmandan toplanan verilerin analiz edilip değerlendirilmesi, veriye dayalı kestirimci bakımların planlanması ve kestirimci bakımların uygulanmasıdır. Kestirimci bakıma yönelik yangın ve can güvenliği özelinde izleme yapılabilecek noktalar aşağıda genel hatlarıyla paylaşılmış olup, tesis özelliklerine göre bu sayı artırılabilir:

- Su deposu seviye izlemeleri
- Yangın pompalarının emme hatlarındaki basınç izlemeleri
- Yangın pompalarının basma hatlarındaki basınç izlemeleri
- Yangın pompa dairesi sıcaklık izlemeleri
- Yangın pompalarının test hatlarındaki debi izlemeleri
- Yangın pompalarının elektrik panolarından alınacak izlemeler
- Yangın kolon hattı üzerinden alınan kat besleme hatlarındaki basınç izlemeleri
- Yangın alarm panelindeki yangın alarmı, teknik alarm, devre dışı ve arıza izlemeleri
- Otomatik söndürme sistemi izlemeleri
- Dedike duman kontrol sistemi fan izlemeleri
- Ana pano ve jeneratör izlemeleri

Kestirimci bakım prosedürleri için belirlenecek izleme noktalarına göre bakıma yönelik anahtar performans göstergeleri (KPI) hazırlanıp elde edilen veriler bu göstergelere göre yorumlanır. Verilerin yorumlanmasında, konuya hakim olmak ve ekipmanın arızalanma ihtimalini öngörebilmek oldukça önemlidir. Bu konuda yeterli bilgi sahibi olunmaması durumunda, altyapı ne kadar iyi olursa olsun kestirimci bakım prosedürlerinden istenen verim elde edilemeyecektir. Sağlıklı bir değerlendirme ve arıza öngörüsü yapılması durumunda ise, kestirimci bakım prosedürleri sayesinde elde edilebilecek avantajlar şu şekildedir:

- Periyodik bakımlar kapsamında yapılan alt ekipman değişimleri, ekipmanın arızaya düşme süresine yakın planlanması mümkün olur ve bu sayede alt ekipman maliyetleri azaltılır.
- Bakım için harcanan iş gücünden tasarruf edilebilir.
- Ekipmanın arızaya düşme süresi için öngörü yapılabilir ve bu sayede ekipmanın arızada kalma süresi azaltılır.
- Ekipman değişimine sebep olabilecek arızaların önüne geçilebilir ve ekipman maliyetleri azaltılır.
- Bina işletmesinin ekipman/alt ekipman stok yönetimi kolaylaşır, ekipman temin süreleri ve maliyetlerinde avantaj sağlanır.
- Envanter yönetimi pratik hale gelir ve ekipman performans değerlendirmesi yapılabilir.

SONUÇ

Binalarda can ve mal güvenliğini sağlamak amacıyla tesis edilen yangın korunum sistemlerinin standartlara uygun şekilde projelendirilip devreye alındıktan sonra sistemlerin sürdürülebilirliğini de sağlamak esastır. Yangın korunum sistemlerinin sürdürülebilirliğini sağlamanın temel yolu ise, konuyla ilgili uluslararası standartlarda tarif edilen periyodik kontrol, test ve bakım yöntemlerinin takip edilmesidir. Bu yöntemlerin uygulanmasında; öncelikle periyodik kontrol, test ve bakım formlarının hazırlanması, bina işletmesinin teknik personel planlaması ve bakım raporlarının düzenlenmesi büyük öneme sahiptir. Bina işletmeleri ile yapılan çalışmalar neticesinde, farklı kullanım amacına sahip işletmelerdeki mevcut periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri incelenmiş ve konuyla ilgili değerlendirme yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, işletmelerdeki mevcut periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri ile ilgili genel tespitler şu şekildedir:

- Sistem bakımlarına yönelik teknik personel planlamasında özellikle konut tipi binalarda bu konuda yapılan çalışmaların yetersiz olması, bunun sebebinin de konut binalarında yeterli sayıda teknik personel istihdam edilmiyor olmasıdır.
- Farklı kullanım amacına sahip binalarda, sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakımları için hazırlanan kontrol listelerinin uluslararası standartlara uygun olmaması.
- Uluslararası standartlara göre daha sık periyotlarda yapılması gereken gözle kontrol işlemleri için planlama yapılmamış olmaması. Bu planlamanın yapılmamasının temel sebebi, gözle kontrol işleminin çok vakit alacağına düşünülmesi olup, aslında gözle kontrol işlemleri kısa sürede tamamlanabilen ve çok özel uzmanlık gerektirmeden yapılabilen kontrol işlemleridir.
- Periyodik kontrol, test ve bakımlara yönelik hazırlanan raporların benzer formatta olmaması ve raporların arşivlenmesinde güçlük yaşanması.
- Denetime tabi olan bina işletmelerinin sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakım süreçleri ile ilgili denetimlerden kolay şekilde geçememesi.
- Sistemlerin periyodik kontrol, test ve bakım süreçlerine yönelik teknik personel gideri ve bakım maliyetlerinin fazla olması ve bu süreçler için ciddi zaman harcanması. Bina işletmelerinin bakım takip ve yönetim programları ile bu sorunun üstünden gelmesi mümkündür. Özellikle teknolojinin gelişimi ile birlikte ortaya çıkan bu tür programlar hem bakım planlaması konusunda işletmelere zaman tasarrufu sağlamakta hem de veri kullanımı ile yaptığı analizler sayesinde bakım maliyetlerini düşürülmektedir.

Bina işletmelerindeki mevcut bakım süreçleri göz önüne alındığında, işletmelerin teknolojik altyapıya sahip bakım takip ve yönetim programlarını kullanmasının ihtiyaç olduğunu söylemek yanlış olmaz. Bu tür programlar sayesinde, bina işletmeleri yangın korunum sistemlerini/ekipmanlarını uzaktan takip edip bu sistemlerden/ekipmanlardan istediği türde veriyi alabilecek ve bu verileri doğru yorumlamak kaydıyla veri analizi yapıp zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabilecektir. Bu tasarrufların yanı sıra, veri analizi ve buna bağlı olarak ortaya koyacağı kestirimci bakım prosedürleri sayesinde, denetime tabi olan bina işletmelerinin, denetimden çok daha hızlı ve kolay şekilde geçmesi mümkün olacak ve özellikle yangın güvenliğine yönelik binasını sigortalatan işletmeler süreç içerisinde sigorta priminden avantaj sağlayacaktır. Bakım süreçlerini belli bir disiplinde yöneten, ekipmanlarına özel kestirimci bakım prosedürlerini oluşturan binaların güvenilirliği ve prestiji de artacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BYKHY (2015), Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007 yılındaki ilk yayımı: Bakanlar Kurulu'nun 27.11.2007 gün ve 2007/12937 sayılı kararı ile resmi gazetenin 19.12.2007 gün ve 26735 sayılı sayı 2009 ve 2015 yıllarında yapılan değişiklikler: Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (2015), Bakanlar Kurulu'nun kararı ile resmi gazetenin 9.09.2009 gün ve 27344 sayılı ve 9.07.2015 gün ve 7401 sayılı resmi gazetelerde yayınlanan hükümleri
- [2] NFPA 25 (2020), *Standard for the Inspection, Testing and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [3] NFPA 2001 (2018), *Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [4] NFPA 17A (2017), *Standard for Wet Chemical Extinguishing Systems*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [5] TS EN 671-3 (2010), *Sabit Yangın Söndürme Sistemleri – Yangın Hortumları – Bölüm 3: Yarı Sert Hortumlu Hortum Makaraları ve Yassı Hortumlu Hortum Sistemlerinin Bakımı*, Türk Standartları Enstitüsü.
- [6] TSE ISO/TS 11602-2 (2010), *Yangından Korunma – Taşınabilir ve Tekerlekli Yangın Söndürücüler – Bölüm 2: Muayene ve Bakım*, Türk Standartları Enstitüsü
- [7] NFPA 72 (2019), *National Fire Alarm and Signaling Code*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [8] NFPA 92 (2018), *Standard for Smoke Control Systems*, National Fire Protection Association, Massachusetts.



- [9] NFPA 90A (2018), *Standard for the Installation of Air-Conditioning and Ventilation Systems*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [10] NFPA 101 (2018), *Life Safety Code*, National Fire Protection Association, Massachusetts.
- [11] Joglar, F., Ontiveros, V., & Pennel, G. (2018), *Applying Reliability Based Decision Making to ITM Frequency*, Quincy: Fire Protection Research Foundation
- [12] Öztanır, O. (2018), *Makine Öğrenmesi Kullanılarak Kestirimci Bakım* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalı, Ankara.
- [13] TS EN 13306 (2017), *Bakım – Terimler ve Tarifler*, Türk Standartları Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Duhan PORTAKAL

1992 yılında Mersin’de doğdu. 2010 senesinde İçel Anadolu Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl İTÜ Makina Fakültesine girdi. 2015 yılında İTÜ Makina Fakültesinden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 2017 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve “İtfaiye Su Alma Ağızlarındaki Tasarım Basıncının, Debi, Püskürtme Mesafesi ve İtfaiyeciyeye Gelen Kuvvete Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasını 2020 yılında tamamlayarak Makina Yüksek Mühendisi ünvanını aldı.

2015 yılından beri, binalarda yangın güvenliği ile ilgili danışmanlık hizmeti veren Etik Mühendislik Danışmanlık Tasarım ve Eğitim Hizmetleri A.Ş.’de Makina Yüksek Mühendisi olarak çalışmaktadır. Bu süreçte, birçok uluslararası projede yangın danışmanı görevinde bulundu ve çeşitli ülkelerde ulusal ve uluslararası konferanslara konuşmacı olarak katıldı. Ayrıca, çalışma arkadaşları ile birlikte 2019 yılında TTMD adına REHVA’nın 24 numaralı el kitabı Duman Kontrol Kılavuzu’nun çevirisini yapmıştır.



ENDÜSTRİDE GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI İÇİN YÜKSEK SICAKLIKTAKİ TERMAL ENERJİ DEPOLAMA

High Temperature Thermal Energy Storage for Solar Heat Industrial Applications

Burcu Koçak
Halime Paksoy

ÖZET

Endüstride üretim maliyetlerini düşürmek, fosil yakıt tüketimini, CO₂ emisyonlarını ve enerji kaynaklarında dış ülkelere bağımlılığı azaltmak için kullanılacak en önemli yenilebilir enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi yüksek sıcaklıktaki endüstriyel prosesler için uygun olmakla birlikte, verimliliğinin günün saatlerine ve mevsimlere göre farklılık göstermesi, sürekli kullanımının önünde bir engel oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki endüstriyel proseslerin, güneş enerjisinden verimli ve sürekli bir şekilde yararlanabilmesi için termal enerji depolama (TED) teknolojileri kullanılmalıdır. Düşük maliyet ve teknik uygulanabilirlik açısından, yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalarda, atık bazlı depolama malzemelerinin kullanıldığı duyulur ısı TED sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu bildiride, Dünya'daki duyulur ısı TED sistemlerinin endüstriyel uygulamaları ve son teknolojiler analiz edilerek, Türkiye'deki fırsatlar ve potansiyel ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Duyulur ısı termal enerji depolama, Güneş enerjisi, Güneş enerjisi endüstriyel uygulamaları

ABSTRACT

Solar energy is the most important renewable energy source that can be used in the industry to reduce production costs, fossil fuel use, CO₂ emissions and dependence on foreign countries for energy resources. Although solar energy is suitable for high temperature industrial applications, variability in its efficiency according to the time of the day and seasons is the main obstacle for its continuous usage. Thermal energy storage (TES) technologies should be used in high temperature solar heat industrial applications to obtain continuous and higher efficiency from solar energy. In terms of low cost and technical applicability, sensible heat TES systems using waste-based materials as storage materials come forward in high temperature solar heat industrial applications. In this paper, latest technologies on sensible heat TES technologies for solar heat industrial applications are investigated to reveal opportunities in Turkey.

Key Words: Sensible heat thermal energy storage; Solar energy, Solar heat industrial applications.

1. GİRİŞ

Türkiye'de enerji arzının %85'i çevreye dönüşü olmayan zararlar veren fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Ne yazık ki, taş kömürü ve doğalgazın neredeyse tamamı, ham petrolün ise %90'ı dış ülkelere yüksek maliyetle ithal edilmektedir. TÜİK 2017 verilerine göre, Türkiye'de enerji tüketimi 107 milyon TPE'ye ulaşmış, en çok tüketen sektörlerden biri olan endüstrinin payı %33 olarak gerçekleşmiştir [1].

Endüstride fosil yakıt yerine kullanılacak en önemli yenilebilir enerji kaynağı güneştir. Güneş, enerjisi en bol ve sınırsız yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşin sahip olduğu enerji potansiyeli yılda

yaklaşık 1575 ile 49.837 EJ arasındadır [2]. Ancak 2017'de dünyada yalnızca 1,43 EJ güneş termal enerjisi tüketilmiştir [3].

Güneş enerjisi bol olmasına rağmen, güneş ışınımı iklime ve konuma (enlem ve boylam) bağlı olarak değişir. Bu nedenle, güneş enerjisi endüstriyel uygulaması her yerde mümkün olmayabilirken, bazı bölgeler güneş enerjisi endüstriyel uygulamaları için büyük avantajlara sahiptir [4].

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) 2018 yılı verilerine göre dünya genelinde sadece 741 adet güneş enerjisi endüstriyel uygulaması bulunmaktadır [3]. Bunların çoğu Amerika, İspanya, Almanya ve güney Afrika gibi ülkelerde yer almaktadır [5]. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli en yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Global Solar Atlas'a göre Türkiye için yıllık ortalama direk normal ışınım (DNI) değeri yılda 1537 kWhm⁻²'dir [6]. Ancak, Türkiye'de düşük sıcaklıktaki kısıtlı miktardaki sıcak su üretimi dışında güneş enerjisi endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır.

Güneş enerjisi, yüksek sıcaklıktaki endüstriyel prosesler için büyük bir fırsat olmakla birlikte, verimliliğinin günün saatlerine ve mevsimlere göre farklılık göstermesi, sürekli kullanımının önünde bir engel oluşturmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki endüstriyel proseslerin, güneş enerjisinden verimli ve sürekli bir şekilde yararlanabilmesi için termal enerji depolama (TED) teknolojileri kullanılmalıdır. Özellikle, AB "Yeşil Mutabakatı"na ve AB sınırlarında getirilmesi planlanan karbon vergisi uygulamasına uyumlu endüstriyel üretim yapılabilmesi için güneş enerjisinden verimli ve ekonomik olarak yararlanılmasında TED kullanımı her zamankinden daha çok önem kazanmaktadır.

Duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termo-kimyasal ısı depolama olmak üzere 3 farklı TED teknolojisi bulunmaktadır. Uygun TED yönteminin seçiminde proses türü ve sıcaklıkları önemli parametrelerdir. Termokimyasal depolama yöntemi teknoloji hazırlık seviyesi (Teknolojik hazırlık seviyesi -THS<4) düşük olup, yüksek maliyeti nedeni ile sanayide kullanımı halen araştırılmaktadır. Faz değiştiren maddelerin teknik zorlukları, yüksek maliyeti nedeniyle, gizli ısı depolama yöntemi de endüstriyel uygulamalarda henüz ticari olarak uygulanmamaktadır (THS:5-6). Duyulur ısı depolama yöntemi (THS: 8-9) ise yüksek sıcaklıkta endüstriyel uygulamalar için ısıyı depolamanın en basit ve ekonomik olarak uygun yoludur [7].

Düşük maliyet ve teknik uygulanabilirlik açısından yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalarda duyulur ısı TED sistemleri ön plana çıkmaktadır. Ancak, duyulur ısı depolama malzemelerinin düşük depolama kapasitesi, TED sisteminin birim hacimde depolama kapasitesini düşürmekte ve daha fazla depolama hacmine gerek duyulmasına neden olmaktadır [8]. Duyulur ısı depolama sistemlerinde ihtiyaç duyulan yüksek hacim sebebi ile son yıllarda ucuz, çevreci ve yüksek enerji kapasiteli depolama malzemeleri üzerine çalışmalar artmış, alternatif duyulur ısı depolama teknolojileri araştırılmaya başlanmıştır. Bu amaçla ülkemizdeki kentsel dönüşüm yıkıntı atıklarından ucuz ve sürdürülebilir TED malzemesi geliştirilmiştir.

Duyulur ısı TED sistemlerinde elde edilebilecek verimi artırmak ve endüstriyel ölçekli uygulamalarda ekonomik çözümler sunabilmek için atık bazlı depolama malzemeleri, yüksek verimli TED sistemleri ve endüstriyel prosese entegrasyon yöntemleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır. Bu bildiride, Dünya'daki TED endüstriyel uygulamaları ve son teknolojiler analiz edilerek, Türkiye'deki fırsatlar ve potansiyel ortaya konacaktır.

2. DUYULUR ISI DEPOLAMA

Güneş enerjisi, geceleri ve bulutlu günlerde güneş ışığı eksikliğinden dolayı kesintili bir enerji kaynağıdır [9]. Güneş enerjisi birçok endüstriyel süreçte kullanılabilmesine rağmen, güneş ışığının değişkenliği, sürekli kullanımın önündeki ana engeldir.

Duyulur ısı TED sistemlerinde, termal enerji, TED malzemelerinin sıcaklık değişiminden faydalanılarak depolanmaktadır. TED malzemelerinde depolanan duyulur ısı miktarı ($Q_{\text{depolanan}}$) TED malzemesinin kütlesi (m_{STESM}), TED malzemesinin özgül ısısı (C_p), TED sisteminin başlangıç ve son sıcaklığının farkının ($T_s - T_0$) bir fonksiyonudur (Bakınız eşitlik 1) [10].

$$Q_{\text{depolanan}} = m_{\text{STESM}} \cdot C_p \cdot (T_s - T_0) \quad (1)$$

Duyulur ısı TED sistemlerinde gizli ısı TED ve termokimyasal TED sistemlerine kıyasla daha fazla hacime ihtiyaç duyulmasına rağmen, basit teknolojisi ve yağ, taş, kum, atık malzeme gibi ucuz ve dayanıklı TED malzemeleri ile yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen yöntemdir [10].

2.1 Yüksek Sıcaklıkta Duyulur Isı TED Sistemleri

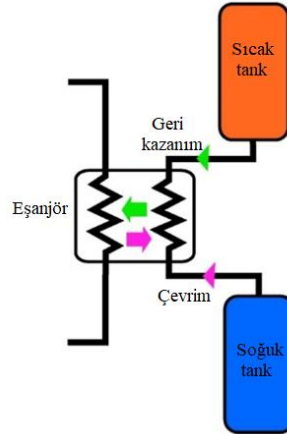
Yüksek sıcaklıkta endüstriyel uygulamalarda duyulur ısı TED sistemleri güneş enerjisinin verimliliğini artırmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamaları için farklı tasarım ve teknolojilerde duyulur ısı TED sistemleri bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları şöyledir:

- 2-tanklı TED
- Tek tanklı termoklin TED
- Dolgulu yatak TED
- Beton TED
- Parçacık bazlı akışkan yatak TED
- Borulu eşanjör TED sistemleri.

Her teknoloji farklı avantajlar ve dezavantaj sunmaktadır. Uygun TED teknolojisinin seçimi depolama kapasitesi, verimlilik, depolama süresi, montaj, boyut, maliyet, sıcaklık aralığı, depolama malzemesinin temini, ısı kaybı, güvenlik ve çevre gibi etmenlere bağlıdır [11, 12].

2.1.1 2-Tanklı TED Sistemi

2-tanklı TED sistemleri biri soğuk diğeri sıcak olmak üzere iki adet tank, eşanjör ve pompadan oluşur. Şekil 1'de 2-tanklı depolama sistemi gösterilmektedir. Bu sistemde, soğuk ve sıvı haldeki TED malzemesi, pompa ile soğuk tanktan sıcak tanka aktarılırken, güneş kolektöründen gelen sıcak ısı transfer akışkanındaki ısı, eşanjörde soğuk ısı transfer akışkanı tarafından emilir. Sıcaklığı artan TED malzemesi sıcak tanka gider. Böylelikle, güneşten gelen ısı, sıcak tankta depolanmış olur. Güneşin etkin olmadığı saatlerde ise sıcak tanktaki ısı, sıcak ısı transfer akışkanı eşanjörden geçirilerek geri kazanılır.



Şekil 1 2-tank eriyik tuz TED sistemi [13]

2.1.2 Termoklin TED Sistemi

Tek tanktan oluşan termoklin TED sistemleri, hem sıcak hem de soğuk depolamada kullanılabilen, en yaygın TED sistemleridir. Termoklin TED sisteminin basit şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Tankın içerisinde, ilgili endüstriyel prosesin sıcaklık aralığında kullanılacak, eriyik tuz, termal yağ gibi ısı transfer akışkanı bulunmaktadır. Çevrim ve geri kazanım aşamalarından oluşan termoklin depolama sistemlerinde, çevrim esnasında, güneş kolektörlerinden gelen ısı transfer akışkanı depolama tankına tankın üst kısmından girer. Tankın alt kısmından çıkan soğuk ısı transfer akışkanı güneş kolektörüne döner. Yoğunluk farkından dolayı sıcak ısı transfer akışkanı soğuk ısı transfer akışkanı ile karışmaz.

Bu sayede tank içerisinde termoklin adı verilen tabakalaşma oluşur. Bu tabakalaşma ne kadar iyi olursa depolama verimi o kadar yüksek olur [14]. Tekrarlanan çevrimler sonrasında tankın alt bölgesindeki sıcaklık üst bölge sıcaklığına yaklaşır, böylelikle depolama tankındaki ısı transfer akışkanı güneşten gelen ısıyı depolamış olur. Güneşin etkin olmadığı saatlerde ise geri kazanım çevrimleri ile tanktaki ısı ilgili endüstriyel prosese aktarılır. Geri kazanım esnasında prostesten gelen soğuk ısı transfer akışkanı tankın altından girer ve tankın üst kısmından çıkan sıcak ısı transfer akışkanı prosese verilir. Geri kazanım işlemi tankın üst kısmının sıcaklığı alt kısma yaklaştığında sona erer.

Tankın içerisinde bulunan ısı transfer akışkanı ve kullanılacak sıcaklık aralığı tank malzemesi seçiminde etmelidir. Tanklar paslanmaz çelik, fiberglas veya betondan üretilebilir [15]. Tankın dış yüzeyi izolasyon malzemesi ile kaplanarak ısı kayıpları azaltılır.

Endüstriyel uygulamalarda termoklin TED sistemlerinde en yaygın kullanılan ısı transfer akışkanı sudur. Ancak basınçlı sistem kullanılmadığı takdirde 95 °C'in üzerindeki TED sistemlerinde depolama malzemesi olarak su kullanımı uygun değildir [16]. Daha yüksek sıcaklıklardaki prosesler için termal yağ veya eriyik tuz kullanılabilir [17]. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalarda tek tank termoklin TED sistemleri 2-tanklı depolama sistemlerine kıyasla yaklaşık %35 maliyet avantajı sağlamaktadır [10].



Şekil 2. Termoklin TED sistemi [18]

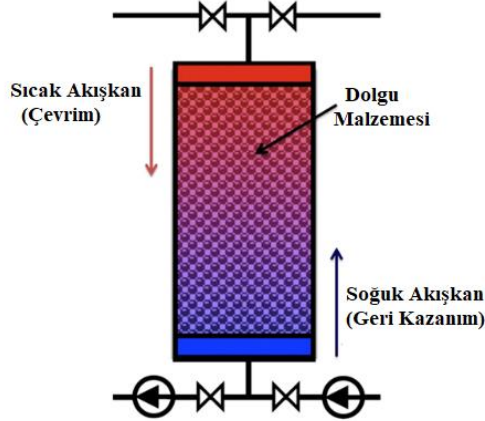
2.1.3 Dolgulu Yatak TED Sistemi

Eriyik tuzlar ve mineral yağlar yüksek sıcaklıkta TED uygulamaları için alternatif depolama malzemesi olsalar da, yüksek maliyet ve sınırlı operasyon sıcaklık aralığı sebebi ile kaya, çakıl, seramik, alüminyum, endüstriyel atıklar gibi depolama malzemeleri doldurulmuş dolgulu yatakta kullanımı ön plana çıkmaktadır [2, 19].

Dolgulu yatak TED sistemleri, uygun depolama malzemesi ve ısı transfer akışkanı seçimi ile 1000 °C'ye kadar uygulamalar için en ucuz ve basit depolama seçeneğidir [10]. Şekil 3'de dolgulu yatak depolama tankının şeması görülmektedir. Dolgulu yatak TED sistemlerinde, tankın içerisinde taş, seramik, çakıl, atık malzeme vb depolama malzemesi bulunmaktadır. Isı transfer akışkanı olarak proses sıcaklık aralığına ve depolama malzemesinin özelliklerine bağlı olarak hava, su, yağ, eriyik tuz vb kullanılabilir. Dolgulu yatak TED sistemlerinde, tek tank termoklin sistemlerine kıyasla, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan yüksek fiyatlı eriyik tuz ve termal yağların kullanım miktarı %70'e kadar azaltılmış olur [17].

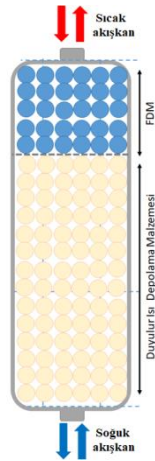
Dolgulu yatak TED sistemlerinde çevrim aşamasında sıcak ısı transfer akışkanı tankın üst kısmından girer. Sıcak akışkan tankın içerisinden geçerken depolama malzemeleri ısıyı emerek depolar. Çevrim aşaması tankın alt kısmı ile üst kısmının sıcaklığı yaklaşıncaya kadar devam eder. Depolama tamamlandıktan sonra, ihtiyaç duyulduğu dönemde geri kazanım başlar. Geri kazanımda soğuk ısı transfer akışkanı tankın alt kısmından girer. Bu sefer, tanktaki sıcak depolama malzemeleri ısını soğuk ısı transfer akışkanına aktarır. Isınan ısı transfer akışkanı tankın üst kısmından çıkarak, ısını

aktarmak üzere prosese gider. Bu döngü yine tankın üst ve alt sıcaklığı yaklaşıpına kadar devam eder [17].



Şekil 3 Dolgulu Yatak TED sistemi [20]

Depolama sisteminin hacminin artması, yatırım maliyeti, depolama malzemesi ve ısı transfer akışkanı miktarını artırmakta ve endüstriyel uygulamalarda TED sisteminin kurulumu için arazi sıkıntısına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra, duyulur ısı TED sistemlerinde prosese gönderilen akışkanın sıcaklığında dalgalanmalar yaşanırken, tabakalaşma seviyesinin düşük olduğu durumlarda depolama verimi de düşmektedir. Son yıllarda endüstriyel uygulamalarda TED depolama kapasitesini artırmak için duyulur ısı depolama malzemeleriyle beraber faz değiştiren malzemelerim (FDM) de kullanılabilceği hibrit sistemler ile ilgili literatürde bazı çalışma bulunmaktadır. 120–400 °C aralığında yapılan bu çalışmaların genellikle laboratuvar boyutunda düzenekler olduğu ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi uygulamalarına yönelik olduğu görülmektedir [21, 22]. Şekil 4'de hibrit dolgulu yatak TED sisteminin şeması gösterilmektedir.



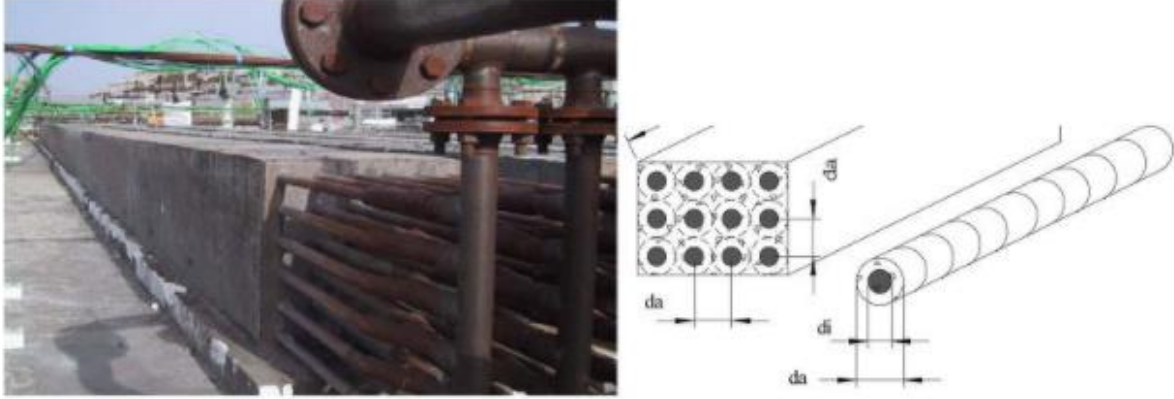
Şekil 4 Hibrit dolgulu yatak TED sistemi

2.1.4 Beton TED Sistemi

Beton bazlı TED sistemleri düşük depolama kapasitesi, yüksek ısı kaybı ve geniş kurulum alanına ihtiyaç duyulması sebebi ile dezavantaj oluştursa da kurulum maliyetinin ve çevresel etkilerinin düşük olması sebebi ile büyük ölçekli uygulamalarda fırsat sunmaktadır [10, 23]. Beton TED sistemleri 400 °C'ye kadar olan uygulamalarda kullanılabilir. Bazı çalışmalarda, çimento, kül, çelik tozları vb katkı malzemeleri ile betonun sıcaklık dayanımı artırılarak uygulama alanı 600 °C'ye kadar çıkarılabilmektedir [24, 25].

Şekil 5'te İspanya'da kurulu DLR tarafından geliştirilmiş beton TED depolama sistemi gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere monoblok şeklinde tasarlanan beton TED sistemi içerisinde boru ağı

mevcuttur. Borular birbirine paralel olarak yerleştirilmiştir. Boruların dizilimi, birbirleri arasındaki mesafe, çapı, sızıntı yapmaması vs beton TED sisteminin performansını etkileyen önemli parametrelerdir [26]. Güneş panelinden gelen sıcak ısı transfer akışkanı bu borulardan geçirilerek betonun ısıyı depolaması sağlanır. Geri kazanımda ise soğuk ısı transfer akışkanı borulardan geçirilir ve sıcak betondaki ısı geri kazanılır.

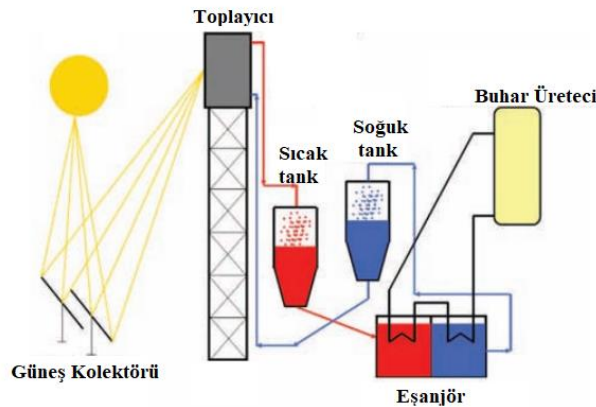


Şekil 5 Beton TED sistemi [26]

2.1.5 Parçacık Bazlı Akışkan Yatak TED Sistemi

Parçacık bazlı akışkan yataklı TED sistemlerinde depolama malzemesi olarak düşük fiyatlı ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı kum, çimento vb katı parçacıklar kullanılmaktadır. Bu yönüyle eriyik tuzlara kıyasla hem yarı yarıya maliyet avantajı sağlamakta hem de 700 °C'nin üzerindeki proseslere entegre edilebilmektedir [27]. Şekil 6 'da parçacık bazlı akışkan yatak TED sisteminin çalışma mekanizması gösterilmektedir. Akışkan yatak TED sistemlerinde, soğuk tankta bulunan katı parçacıklar ısı transfer akışkanının hareketiyle, güneş kolektörlerinden gelen ısıyı emmek üzere toplayıcıya gönderilir. Isınan katı parçacıklar koni şeklindeki sıcak tanka aktarılır. Sıcak tankta bulunan katı parçacıklardaki ısı ise bir eşanjör yardımıyla prosese aktarılabilmektedir. Eşanjör sonrası soğuyan katı parçacıklar tekrar soğuk tanka aktarılır.

Düşük maliyetli, yüksek verimli ve yüksek depolama kapasiteli sistemlerdir. Sistemde kullanılan katı parçacıklar 0,3 mm-1,0 mm aralığında olabilmektedir. Eriyik tuz, su vb depolama malzemeleri gibi soğukta donma problemi yoktur [28].

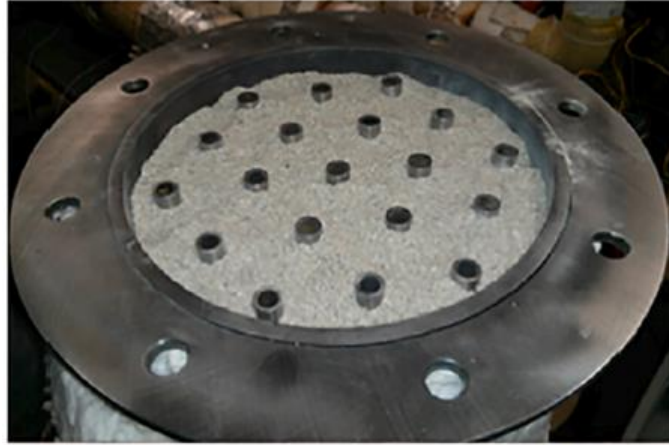


Şekil 6 Parçacık bazlı akışkan yatak TED sistemi [29]

2.1.6 Borulu Eşanjör TED Sistemi

Borulu eşanjör TED sistemleri, kapalı bir gövde içerisinde paralel olarak yerleştirilmiş ince borulardan oluşmaktadır. Gövde ile ince borular arasındaki boşluk depolama malzemesi ile doldurulur. Bu malzemeler kum benzeri küçük parçacıklardır. Depolama esnasında güneş kolektöründen gelen sıcak ısı transfer akışkanı gövde içerisindeki ince borulardan geçirilerek, ısısını gövde içerisindeki depolama malzemesine aktarması sağlanır. Geri kazanım esnasında ise soğuk ısı transfer akışkanı ince borulardan geçirilerek sıcak depolama malzemesindeki ısıyı emerek ilgili prosese gönderilir [30]. Şekil 7'de borulu eşanjör TED sisteminin üstten görünümü gösterilmektedir. Isı transfer akışkanı borular ile ayrıldığı için depolama malzemesine doğrudan teması bulunmamaktadır.

Borulu eşanjör TED sistemleri termoklin sistemlere kıyasla daha pahalı sistemler olsa da 2-tank eriyik tuz sistemlerine kıyasla %17 maliyet avantajı sağlamaktadır [31].



Şekil 7 Borulu eşanjör TED sistemi [30]

2.2 Duyulur Isı Depolama Malzemeleri

Duyulur ısı depolama malzemeleri katı, sıvı ve atık bazlı malzeme olmak üzere 3 gruba ayrılabilir (bkz Tablo 1). Sıvı duyulur ısı depolama malzemeleri içerisinde su en yaygın kullanılan depolama malzemesidir. Ucuz, kolay bulunabilen, toksik olmayan ve yüksek enerji kapasitesine sahip olan bir malzemedir. Fakat atmosferik koşullarda 95 °C'nin üzerindeki uygulamalarda kullanılamamaktadır [11, 32]. NaCl, KCl, MgCl₂ gibi eriyik tuzlar veya bunların karışımları 700 °C'ye kadar olan TED sistemleri için uygundur. Ancak akış hatlarında donabilmekte ve tank, boru vb malzemelerde korozyon problemlerine sebep olabilmektedir. Mineral yağlar yüksek sıcaklık uygulamaları için uygun depolama malzemelerinden biridir. Donma noktalarının düşük olması kış dönemi için bir avantaj yaratsa da 350 °C üzerinde bozunmaya başlamaktadır. Bunun yanı sıra, Tablo 1'de görüldüğü gibi, birim fiyatı diğer depolama malzemelerine kıyasla daha yüksektir [2, 17].

Eriyik tuz ve mineral yağların yüksek sıcaklıkta TED uygulamalarında görülen bu dezavantajlarından dolayı, silika kum, doğal taş, çelik, alüminyum, beton, basalt vb doğal malzemeler alternatif depolama malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [33, 34]. Literatürde katı depolama malzemelerinin yüksek sıcaklık TED uygulamalarında performansını gösteren birçok çalışma bulunmaktadır. Her ne kadar bu malzemelerin özgül ısıları çok yüksek olmasa da (500 Jkg⁻¹C⁻¹ - 1300 Jkg⁻¹C⁻¹), yüksek yoğunlukları sebebi ile enerji yoğunlukları 5000 kJm⁻³K⁻¹'e çıkabilmektedir [35- 38].

Yüksek depolama kapasitesi, ucuz olması, termal ve kimyasal özelliklerinin dayanıklı olması sebebi ile katı duyulur ısı depolama malzemeleri yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Ancak, büyük ölçekli sistemlerde tonlarca malzeme kullanılması doğal malzemelerin tüketilmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, son dönemlerde, atık bazlı duyulur ısı depolama malzemeleri üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere endüstriyel yan ürünler, endüstriyel fırın cürüfları, inşaat ve yıkıntı atıkları ve diğer kentsel atıklar, duyulur ısı depolama malzemesi olarak değerlendirilebilir.

Atık bazlı duyulur ısı depolama malzemeleri yüksek enerji yoğunlukları, termal, kimyasal ve mekanik dayanıklılıkları ve düşük fiyatları açısından yüksek sıcaklıktaki endüstriyel uygulamalar ile hem çevreci hem de ekonomik çözümler sunmaktadırlar.

Duyulur ısı depolama malzemesi olarak inşaat ve yıkıntı atıklarından geliştirilen TED malzemeleri 750 °C'ye kadar endüstriyel uygulamalar için umut vadetmektedir. Şekil 8'de kentsel dönüşüm sonucu açığa çıkan yıkıntı atıkları (a) ve bu atıkların proses edilmesiyle elde edilen küresel TED malzemeleri (b) gösterilmektedir. Önceki çalışmalarda, kentsel dönüşümden alınan inşaat atıklarından ezme, eleme, karıştırma, harç yapma, kalıpla ve kurutma prosesleri ile duyulur ısı depolama malzemesi geliştirilmiştir. Koçak ve Paksoy [39] inşaat atıklarından geliştirilen duyulur ısı depolama malzemelerinin termal, kimyasal ve mekanik özelliklerini incelenmiş, malzemenin 750 °C'ye kadar endüstriyel uygulamalar için uygun olduğunu tespit etmiştir. Koçak ve ark. [19], inşaat atıklarından geliştirilen duyulur ısı depolama malzemesini literatürdeki diğer atık ve endüstriyel yan ürünlerden geliştirilen depolama malzemeleri ile karşılaştırmış, malzemenin diğer aday depolama malzemelerine kıyasla 10 kat daha ucuz olduğu ve benzer ya da daha iyi depolama özelliklerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Koçak ve Paksoy [17], yıkıntı atıklarından geliştirilen bu depolama malzemelerini laboratuvar ölçekli bir dolgulu yatak depolama sisteminde 120-180 °C sıcaklık aralığında test ederek, dolgulu yatak depolama sisteminden optimum çalışma şartlarında %67'ye varan verim alınabileceğini göstermiştir. Süt pastörizasyon süreci örnek alınarak yapılan bir simülasyon çalışmasında [40], TED sisteminde yıkıntı ve inşaat atıklarından elde edilen duyulur ısı depolama malzemesinin kullanımı ile atık malzemelerin değerlendirilip doğal kaynakların korunabileceği çevreci ve ekonomik sistemlerin kurulabileceği gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 8. Kentsel dönüşüm projesinden açığa çıkan yıkıntı atığı (a), Yıkıntı atığından geliştirilen duyulur ısı depolama malzemesi (b)

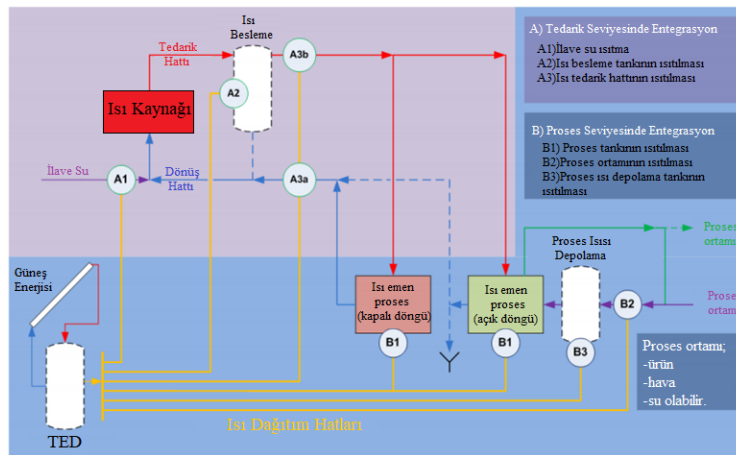
Tablo 1. Duyulur ısı depolama malzemelerinin özellikleri

	Duyulur Isı Depolama Malzemeleri	Sıcaklık, °C	Enerji Yoğunluğu, $\text{kJm}^{-3}\text{K}^{-1}$	Fiyat*	Kaynak
Atık Malzemeler	İnşaat atığı	<750	3500-4000	<0.009 TL/kg	[39]
	Endüstriyel fırın cürufu (IFS)	<1000	1200 - 1850	<0.009 TL/kg	[41]
	Asbestos içerikli atıklar (Cofalit)	<1100	2490 - 3220	<0.009 TL/kg	[42]
	Elektrikli ark fırın cürufu (EAF)	<1100	3200 - 3400	<0.009 TL/kg	[43]
Katkı Malzemeler	Beton	<400	1900	0.43 TL/kg	[33]
	Dökme Çelik	<700	4700	34TL/kg	[33]
	Tuğla	<1200	3500	17TL/kg	[33]
	NaCl	<500	1800	1.0TL/kg	[33]
	Metal Alaşımlar	450-620	3000-4500	NA	[44]
Sıvı Malzemeler	Solar Tuz ($\text{NaNO}_3\text{KNO}_3$)(50-50)	<600	2800	3,4 TL/kg	[44]
	HITEC, $\text{NaNO}_3 - \text{KNO}_3\text{-NaNO}_2$ (7-53-40)	<535	2560	4,3 TL/kg	[2]
	Karbonatlı Tuz	<850	3800	18,7 TL/kg	[33]
	Nitratlı Tuz	<565	3000	3,4 TL/kg	[33]
	Therminol 66	<340	1800	50 TL/kg	[17]

*8,5 TL/€ alınmıştır.

3. TERMAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONU

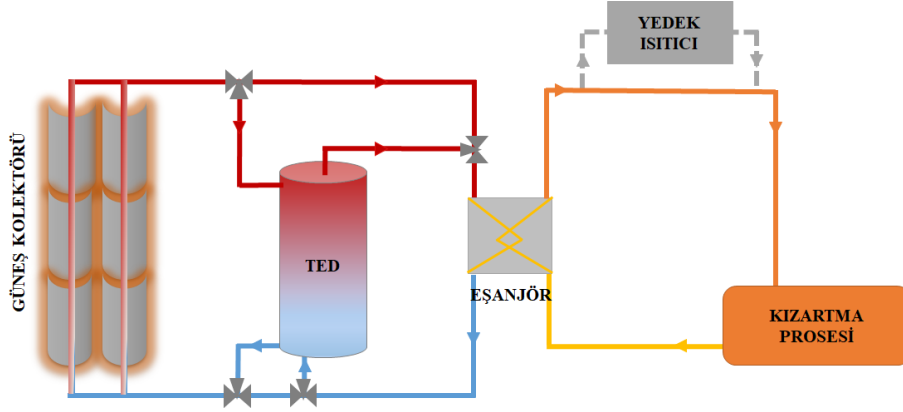
Endüstriyel prosese uygun olarak tasarlanmış TED sistemi, söz konusu endüstriyel tesise birkaç olası noktada entegre edilebilir. Endüstriyel tesislerdeki entegrasyon noktaları, Şekil 9'da gösterildiği gibi tedarik seviyesi ve proses seviyesi olarak iki gruba ayrılabilir.



Şekil 9. TED sistemlerinin endüstriye entegrasyonu; A)Tedarik seviyesi, B)Proses seviyesi [45]

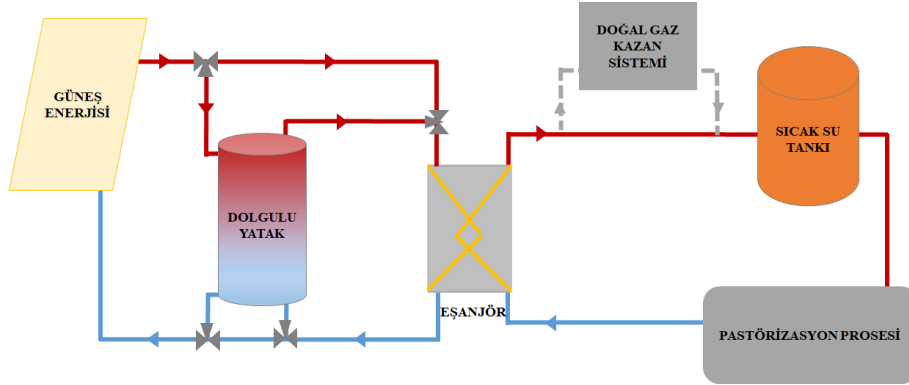
Tedarik seviyesinde, TED sistemi endüstriyel prosese bir ısı kaynağı ile entegre edilir. Dış ısı kaynakları genellikle doğal gaz, fuel-oil veya kömür gibi fosil yakıtları yakan kazanlardır. Kazanlardan elde edilen ısı, TED sisteminden gelen ısı transfer akışkanının sıcaklığını artırmak için kullanılır. Proses seviyesinde, TED sistemi doğrudan belirli bir prosese entegre edilir. Lauterbach ve arkadaşlarına [46] göre, her iki entegrasyon yönteminin kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. TED sistemlerinin endüstriyel proseslere etkin entegrasyonunu sağlamak için proses sıcaklık aralığı, enerji talebi, proses süresi vb. endüstriyel proses gereksinimleri ile depolama kapasite, süresi, tank boyutu vb. TED sistem parametreleri dikkate alınmalıdır [47].

Sistemin ısı kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi parabolik oluklu kolektörler içinde dolaşan Therminol 66 ısı transfer akışkanı ile toplanmıştır. TED sistemi ve kolektör sisteminde aynı ısı transfer akışkanı kullanıldığı için TED sistemi güneş kolektörüne doğrudan entegre edilmiştir. Örnek alınan patates kızartma prosesinde yıllık enerji ihtiyacı 16,7 GWh olarak belirlenmiştir. Çalışmada, patates kızartması prosesine 5870 m² parabolik oluklu kolektör alanı ve 200 m³ hacimli dolgulu yatak depolama tankı entegrasyonu ile CO₂ salınımı, fosil yakıt tüketim miktarı ve maliyetinden yaklaşık %40 tasarruf yapılabileceği gösterilmiştir.



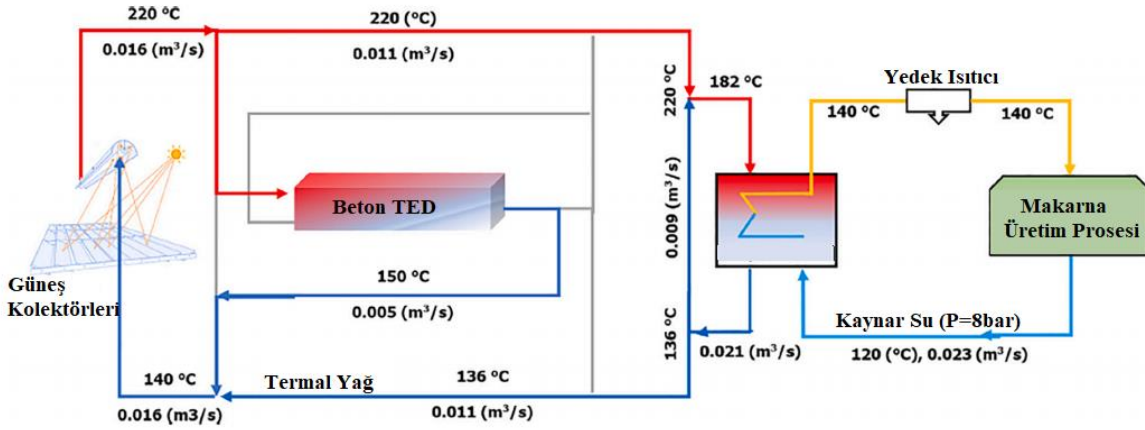
Şekil 12. Patates kızartma prosesine dolgulu yatak TED entegrasyonu [48]

Bir başka simülasyon çalışmasında [40], inşaat atıklarından geliştirilen depolama malzemeleri ile dolu dolgulu yatak TED sistemi, süt pastörizasyon prosesine entegre edilmiştir. Şekil 13'de gösterildiği üzere güneş kolektörüne doğrudan bağlı TED sistemi sıcak su tankına ısı sağlayarak tedarik seviyesinde işletmeye entegrasyonu sağlamıştır. Ele alınan örnek süt pastörizasyon prosesinde, günde 16 saat çalışan pastörizasyon cihazı için gerekli enerji ihtiyacı yıllık 1,7 GWh dir. Bu enerji ihtiyacı mevcut koşullarda doğal gaz kazanından sağlanmakta ve bu sebeple yaklaşık 360 ton/yıl CO₂ emisyonu doğaya salınmaktadır. Bu simülasyon çalışmasında, işletmeye tedarik seviyesinde 770 m² parabolik oluk tipi güneş kolektörü ve 4m³ hacimli dolgulu yatak TED entegrasyonu ile doğal gaz tüketimi ve CO₂ salınımında yaklaşık %53 azalma sağlanabileceği gösterilmiştir.



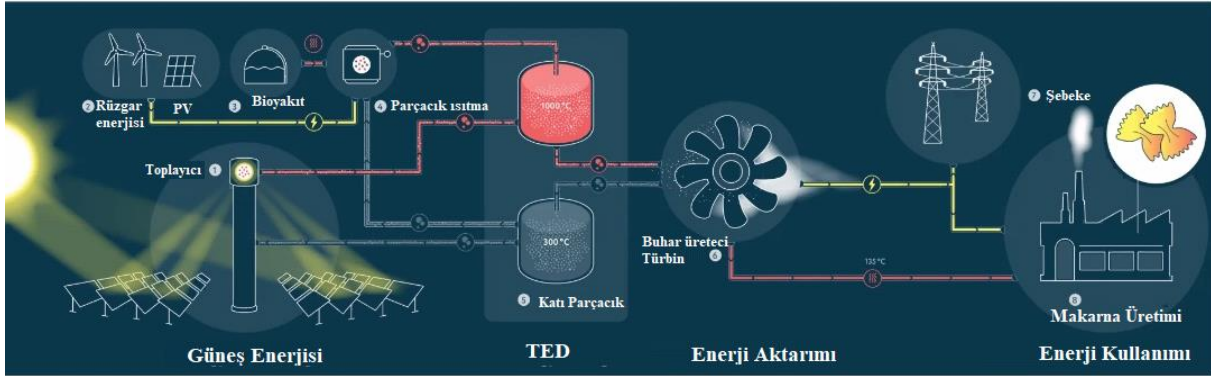
Şekil 13. Pastörizasyon prosesine TED entegrasyonu [40]

Buscemi ve ark. [49], İtalya'nın Sicilya kentinde bir makarna endüstrisine Fresnel güneş kolektörleri ile beton duvarlı ısı depolama sistem entegrasyonunu incelemiştir. Şekil 14'de güneşin prosese entegrasyon yöntemi gösterilmektedir. Fresnel güneş kolektörlerinden elde edilen ısı hem prosese hem de TED sistemine aktarılmaktadır. Bu süreçte TED sisteminde depolanan ısı, akşam saatlerinde prosese aktarılabilecektir. Bu çalışma ile makarna sektörünün termal enerji ihtiyacının % 40'ının 8 yıllık geri ödeme süresi ile karşılanabileceği gösterilmiştir.



Şekil 14. Makarna üretim prosesine beton TED entegrasyonu [49]

Şekil 15'de DLR Almanya tarafından geliştirilen katı parçacık akışkan yataklı TED sisteminin İtalya'daki bir makarna endüstrisine entegrasyonu gösterilmektedir. Bu sistemde 300 °C sıcaklığındaki soğuk tankta bulunan katı parçacıklar akışkan yardımıyla toplayıcıya gönderilmektedir. Toplayıcıda 1000 °C'ye kadar ısınan katı parçacıklar sıcak tanka dolmaktadır. Sistemde ayrıca rüzgar enerjisi, biyoyakıt ve PV gibi ek ısıtma kaynakları katı parçacıkların ısıtılmasına katkı sağlayabilmektedir. 1000 °C'e kadar ısınan katı parçacıklardaki ısı, türbin yardımıyla buhara çevrilmektedir. Elde edilen buhar makarna kurutma prosesine doğrudan 135 °C (3,6 bar) buhar olarak veya şebekede elektrikleştirilerek aktarılabilmektedir [28].



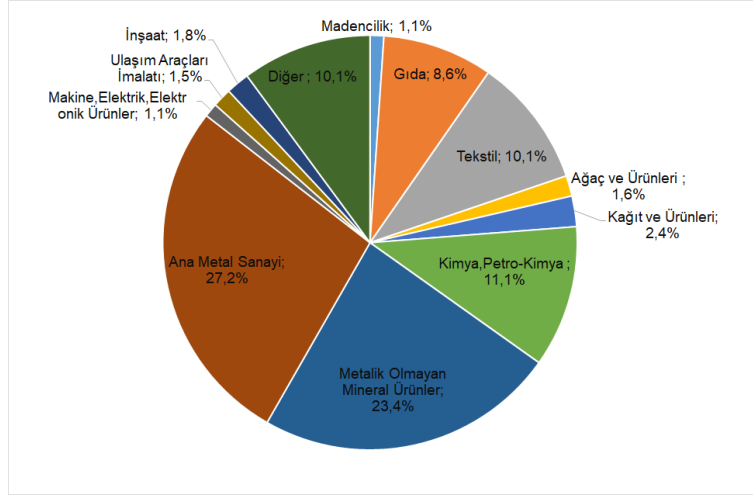
Şekil 15. Makarna üretim prosesine katı parçacık akışkan yataklı TED entegrasyonu [28]

Literatürdeki çalışmalardan da görüleceği üzere duyulur ısı TED sistemi, düşük maliyetli depolama malzemesi kullanımı, uygun entegrasyon ve yüksek verimli TED tasarımı ile yüksek sıcaklıktaki güneş enerjisi uygulamaları için umut verici bir TED yöntemidir.

5. TÜRKİYE'DEKİ FIRSAT VE POTANSİYELLER

Türkiye, genç nüfusu, kişi başı artan enerji talebi, endüstrileşmesi, hızla büyüyen şehirleşmesi ve ekonomik gelişmesi ile enerji ihtiyacı hızla artan bir ülkedir. Türkiye'de kişi başı enerji tüketimi 2007 yılında 1,35 TEP iken 2017 yılında 1,80 TEP'e çıkmıştır. Türkiye'nin kişi başı enerji tüketimi halen pek çok gelişmiş birçok ülkenin gerisindedir (Hollanda:3,78 TEP, Almanya: 3,61 TEP, Fransa:3,59) [50]. Ancak her geçen yıl artan enerji ihtiyacı, iç kaynakları hızla tüketmekte ve dış kaynaklardan ihraç edilen petrol ve doğal gaz miktarını da hızla artırmaktadır.

Türkiye'de enerji tüketim oranları incelendiğinde, endüstride enerji tüketiminin yüksek boyutlarda olduğu görülmüştür. Şekil 16'da endüstriyel sektörler için enerji tüketim payları gösterilmektedir. Buna göre ana metal sanayi, metal olmayan ürünler, kimya, petro-kimya, tekstil ve gıda en fazla enerji tüketen sektörler arasındadır.



Şekil 16. 2019 yılı endüstri sektörlerine göre enerji dağılımı [51].

Son dönemlerde rekabetin artması ile endüstride enerji verimliliği önemli bir konu olmuştur Türkiye'deki endüstriyel enerji tüketimi hızla artmaktadır. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan bir ülke olmasına rağmen, birincil enerji tüketiminin %85'ini fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Fosil yakıtların %70'ten fazlası dış kaynaklara bağımlıdır. Ancak endüstride enerji tüketiminde ağırlıklı olarak dış kaynaklı fosil yakıtların kullanılması, CO₂ salınımını artırmakla birlikte, ürünlerin birim fiyatlarını artırmakta ve küresel pazardaki rekabeti azaltmaktadır.

Çevresel bozulmayı engellemenin ve endüstride enerji maliyetini düşürmenin en temel yolu ise yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanabilmektir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi Türkiye'de önemli bir enerji kaynağı durumundadır. Türkiye'de güneş enerjisinin endüstride kullanımı sınırlı olup, 380 TWh'lik güneş enerjisi teknik potansiyelinin sadece %2'sinden yararlanılmaktadır. Bunun %91'i konutlar, %4'ü turizm sektörü, %3'ü ticari binalar ve %2'si endüstri için kullanılmaktadır [50].

Bu sebeple, güneş enerjisi teknik potansiyeli yüksek olan Türkiye'de endüstride güneş enerjisi uygulaması ve termal enerji depolama (TED) sistemleri entegrasyonunun önemi her geçen gün artmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, güneş enerjisi endüstriyel uygulamalarında, yüksek sıcaklıktaki (>300°C) endüstriyel prosesler için entegre edilebilecek TED teknolojileri, entegrasyon yöntemleri ve TED malzemeleri incelenmiş, ekonomik ve çevresel faydalar ortaya konmuştur.

Duyulur ısı depolama sistemleri gerek kolay teknolojisi gerekse ekonomik uygulanabilirliği açısından, gizli ısı depolama ve termokimyasal ısı depolama sistemlerine kıyasla, yüksek sıcaklıktaki endüstriyel prosesler için en uygun depolama yöntemidir. TED sistemleri, prosesin ihtiyacı, proses akışkanı, güneş kolektörlerindeki ısı transfer akışkanı ve diğer teknik-ekonomik parametrelere bağlı olarak tedarik seviyesinde, doğrudan veya dolaylı olarak proses seviyesinde endüstriye entegre edilebilir.

Güneş enerjisi endüstriyel uygulamalarında TED entegrasyonu endüstriyel enerji maliyetlerini düşürmekte ve güneş enerjisinden sağlanan faydayı artırmaktadır. Ancak sürdürülebilir TED sistemleri için ucuz ve çevreci depolama malzemelerinin kullanılması gerekmektedir. Bu anlamda inşaat ve yıkıntı atıklarından geliştirilen TED malzemeleri çevreci, verimli ve ekonomik fırsatlar ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] TUIK, <https://www.tuik.gov.tr/> (Erişim Tarihi:20.02.2021)
- [2] Alva, G., Lin, Y., Fang, G., An overview of thermal energy storage systems , *Energy*, 144, (2018), 341-378
- [3] IEA, Renewables 2018, Paris 2018. <https://www.iea.org/reports/renewables-2018> [(Erişim Tarihi:01.05.2020)]
- [4] Farjana S.H., Huda, N., Mahmud, M.A. P., Saidur, R., Solar process heat in industrial systems – A global review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(3), (2018), 2270-2286
- [5] <http://ship-plants.info/>, (Erişim Tarihi: 01.02.2021)
- [6] www.globalsolaratlas.info, (Erişim Tarihi:01.02.2021)
- [7] Palacios A., Barreneche C., Navarro, M.E., Ding Y., Thermal energy storage technologies for concentrated solar power: A review from a materials perspective”, *Renewable Energy*, 156, (2020) 1244-1265.
- [8] Tatsidjodoung P., Pierrès, N. L., Luo, L., A review of potential materials for thermal energy storage in building applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, (2013) 327-349 .
- [9] Alonso, M.C., Vera-Agullo, J., Guerreiro, L., Flor-Laguna, V., Sanchez, M., Collares-Pereira, M., Calcium aluminate based cement for concrete to be used as thermal energy storage in solar thermal electricity plants, *Cement and Concrete Research* 82, (2016) 74–86.
- [10] Koçak B., Fernandez A. I., Paksoy, H., Review on sensible thermal energy storage for industrial solar applications and sustainability aspects”, *Solar Energy*, 209, (2020), 135-169. DOI: 10.1016/j.solener.2020.08.081
- [11] Dinçer I., Rosen M.A., *Thermal Energy Storage Systems and Applications*, Wiley, West Sussex, 2002.
- [12] Roubaud E. G., Osorio, D. P., Prieto, C., Review of commercial thermal energy storage in concentrated solar power plants: Steam vs. molten salts, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, (2017), 133-148.
- [13] Stutz, B., Pierres, N.L., Kuznik, F., Johannes, K., Barrio, E.P.D., B´ed´ecarrats, J.P., Gibout, S., Marty, P., Zalewski, L., Soto, J., Mazet, N., Olives, R., Bezian, J.J., Minh, D.P., Storage of thermal solar energy. *C. R. Physique* 18, (2017) 401–414.
- [14] Pinel, P., Cruickshank, C.A., Beausoleil-Morrison, I., Wills, A., A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, (2011), 3341–3359.
- [15] Ataer O. E., Storage of thermal energy, in energy storage systems in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO. Eolss Publishers, Oxford, 2006.
- [16] Guelpa E., Verda V., Thermal energy storage in district heating and cooling systems: a review. *Appl Energy* 252, (2019), 113474
- [17] Koçak B., Paksoy H., Performance of laboratory scale packed-bed thermal energy storage using new demolition waste based sensible heat materials for industrial solar applications. *Solar Energy*, 211, (2020), 1335-1346. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.10.070>
- [18] Ma Z., Neises T., Wagner M., General performance metrics and applications to evaluate various gthermal energy storage Technologies, *Proceedings of ASME 2012 6th International Conference on Energy Sustainability & 9th Fuel Cell Science*, 2012. DOI: 10.1115/ES2012-91131
- [19] Koçak B., Fernandez A. I., Paksoy, H. Benchmarking study of demolition wastes with different waste materials as sensible thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 219, (2021), 110777.
- [20] Park, J. W., Park, D., Ryu, D. W., Choi, B. H., Park E.S., Analysis on heat transfer and heat loss characteristics of rock cavern thermal energy storage *Eng Geol*, 181, (2014), 142-156
- [21] Crespo A., Barreneche C., Ibarra M., Platzer W., Latent thermal energy storage for solar process heat applications at mediumhigh temperatures – A review, *Solar Energy*, 192, (2019) 3-34.
- [22] Geissbühler L., Kolman M., Zanganeh G., Haselbacher A., Steinfeld A., Analysis of industrial-scale high-temperature combined sensible/latent thermal energy storage, *Applied Thermal Engineering*, 101, (2016), 657-668.
- [23] Ndiaye K., Ginestet S., Cyr M., Thermal energy storage based on cementitious materials: A review, *AIMS Energy* , 6 (1), (2018), 97–120.
- [24] Emerson, J., Hale, M., Selvam, P., Concrete as a thermal energy storage medium for thermocline solar energy storage systems. *Sol. Energy* 96, (2013), 194–204.

- [25] Girardi, F., Giannuzzi, G.M., Mazzei, D., Salomoni, V., Majorana, C., Di Maggio, R., Recycled additions for improving the thermal conductivity of concrete in preparing energy storage systems. *Constr. Build. Mater.* 135, (2017), 565–579.
- [26] Salomoni V. A., Majorana C. E., Giannuzzi G. M., Maggio R. D., Girardi F., Mele D., Lucentini M., 2013. Conceptual Study of a Thermal Storage Module for Solar Power Plants with Parabolic Trough Concentrators, <https://www.intechopen.com/books/application-of-solar-energy/conceptual-study-of-a-thermal-storage-module-for-solar-power-plants-with-parabolic-trough-concentrat> (Erişim Tarihi: 21.02.2021)
- [27] Ma Z., Glatzmaier G.C., Mehos M., Development of solid particle thermal energy storage for concentrating solar power plants that use fluidized bed technology, *Energy Procedia* 49 (2014) 898 – 907
- [28] Buck R., Solar Particle Technology for Dispatchable Power and Heat Generation, DLR-Institute of Solar Research, ODAKtr seminer notları, 2021.
- [29] Flamant G., Gauthier D., Benoit H., Sans J. L., Garcia R., Boissière B., Ansart R., Hemati M., Dense suspension of solid particles as a new heat transfer fluid for concentrated solar thermal plants: On-sun proof of concept, *Chemical Engineering Science*, 102, (2013) 567-576, DOI: 10.1016/j.ces.2013.08.051
- [30] Xu, B., Han, J., Kumar, A., Li, P., Yang, Y., Thermal storage using sand saturated by thermal-conductive fluid and comparison with the use of concrete. *J. Storage Mater.* 13, (2017) 85–95.
- [31] Tehrani, S.S.M., Taylor, R.A., Nithyanandam, K., Ghazani, A.S., Annual comparative performance and cost analysis of high temperature, sensible thermal energy storage systems integrated with a concentrated solar power plant. *Sol. Energy* 153, 2017, 153–172.
- [32] Gracia, A., Cabeza, L. F., Phase change materials and thermal energy storage for buildings, *Energy and Buildings* 103, (2015) 414–419.
- [33] Gil A., Medrano M., Martorell I., Lázaro A., Dolado P., Zalba B., Cabeza L.F.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010) 31-55.
- [34] Molina S., Haillot, D., Deydier, A., Bedecarrats, J. P., Material screening and compatibility for thermocline storage systems using thermal oil, *Applied Thermal Engineering*, 146, (2019), 252–259.
- [35] Khare S., Amico M. D., Knight C., Mc Garry S., Selection of materials for high temperature sensible energy storage, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 115, (2013) 114–122.
- [36] Diago M., Iniesta, A. C., Delclos, T., Shamim, T., Calvet, N., Characterization of desert sand for its feasible use as thermal energy storage medium, *Energy Procedia* 75, (2015), 2113-2118.
- [37] Martin, C., Bonk, A., Braun, M., Odenthal, C., Bauer, T., Investigation of the long-term stability of quartzite and basalt for a potential use as filler materials for a molten-salt based thermocline storage concept, *Solar energy* 171, (2018), 827-840.
- [38] Bruch, A., Molina, S., Esence, T., Fourmigue, J.F., Couturier R., Experimental investigation of cycling behaviour of pilot-scale thermal oil packed-bed thermal storage system, *Renewable Energy*, 103, (2017), 277-285.
- [39] Koçak B., Paksoy H., Using demolition wastes from urban regeneration as sensible thermal energy storage material. *Int J Energy Res.*, (2019), 1-7, <https://doi.org/10.1002/er.4471>
- [40] Koçak B., Paksoy H., “Endüstriyel uygulamalarda güneş enerjisinden termal olarak yararlanma”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (3), (2020) 769-782.
- [41] Agalit, H., Zari, N., Maaroufi, M., Thermophysical and chemical characterization of induction furnace slags for high temperature thermal energy storage in solar tower plants, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 172, (2017), 168–176.
- [42] Motte F., Falcoz, Q., Veron, E., Py, X., Compatibility tests between Solar Salt and thermal storage ceramics from inorganic industrial wastes, *Applied Energy*, 155, (2015), 14–22.
- [43] Fernandez, I. O., Calvet, N., Gil, A., Aseguinolaza, J. R., Faik, A., D'Aguanno, B., Thermophysical characterization of a by-product from the steel industry to be used as a sustainable and low-cost thermal energy storage material, *Energy* 89, (2015), 601-609
- [44] Wei G., Wang G., Xu C., Ju X., Xing L., Du X., Yang Y., *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 (2018) 1771-1786
- [45] IEA, Solar Process Heat for Production and Advanced Applications, IEA SHC Task 49, 2014. http://task49.iea-shc.org/Data/Sites/7/150218_iea-task-49_d_b2_integration_guideline-final.pdf [Erişim: 30.01.2021]

- [46] Lauterbach C., Schmitt B., Jordon U., Vajen K., The potential of solar heat for industrial processes in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, (2012) 5121–5130.
- [47] Gibb, D., Johnson, M., Romani, J., Gasia, J., Cabeza, L.F., Seitz, A., Process integration of thermal energy storage systems – evaluation methodology and case studies. *Applied Energy*, 230, (2018), 750-760.
- [48] Koçak B., High temperature thermal energy storage in packed-bed-Case study in food industry, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2020.
- [49] Buscemi, A., Panno, D., Ciulla, G., Beccali, M., Lo Brano, V., Concrete thermal energy storage for linear Fresnel collectors: exploiting the South Mediterranean's solar potential for agri-food processes. *Energy Convers. Manage.* 166, (2018), 719–734.
- [50] TSKB, <https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2019.pdf>, Erişim Tarihi:24.02.2021
- [51] Türkiye 2019 Enerji Denge Tablosu, <https://www.dunyaenerji.org.tr/turkiye-enerji-denge-tablolari/>, Erişim Tarihi:24.02.2021

ÖZGEÇMİŞ

Burcu KOÇAK

1982 yılı Adana doğuludur. 2005 yılında Ege Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2008 yılında Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü ve Barselona Üniversitesi Malzeme Bilimi Bölümünden Doktor unvanı almıştır. 2005-2020 yılları arasında Gıda ve Plastik sanayilerinde Üretim, Ar-Ge ve Yalın Üretim alanlarında çalışmıştır.

Halime PAKSOY

Üsküdar Amerikan Kız Koleji mezunu olan Halime Ö. Paksoy, Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini ve Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamlamıştır. 1992 yılından beri görev yaptığı Çukurova Üniversitesi'nde 1995 yılında Doçent, 2000 yılında Profesör ünvanlarını almıştır. Akademik çalışmalarının yanı sıra Rektör Yardımcısı, Dekan ve Bölüm Başkanı olarak idari görevlerde bulunmuştur. Halen Çukurova Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin Müdürlüğünü sürdürmektedir. 1995 yılında Uluslararası Enerji Ajansı'nın Enerji Depolama Teknoloji İşbirliği Programı (IEA ECES TCP) anlaşmasını ülkemizi temsilen Çukurova Üniversitesi adına imzalamış, bu tarihten itibaren yönetim kurulunda delege olarak ve iki dönem de başkan olarak görev yapmıştır. IEA ECES TCP Türkiye temsilciliğinin 2020'de TTMD'ye aktarılmasıyla yönetim kurulundaki görevine TTMD üyesi delege olarak devam etmektedir. TTMD Enerji Depolama ve Isı Pompası Komitesi'nin başkanlığını da sürdürmektedir. Termal enerji depolama teknolojilerinin düşük karbonlu ve yenilenebilir enerjiye dayalı enerji sistemlerinin geliştirilmesi, uygulanması ve tanıtımı konularında AB (4 adet), NATO (1 adet), TÜBİTAK (8 adet) ve SANTEZ (1 adet) tarafından desteklenen projelerde yürütücü ve araştırmacı olarak yer almıştır. Sanayi işbirliğiyle Türkiye'de ilk defa beyaz eşyalarda, bina yapı malzemelerinde ve seralarda termal enerji depolama uygulamalarını gerçekleştirmiştir. 2018 yılında üç yılda bir düzenlenen enerji depolama konusundaki en önemli uluslararası toplantı olan "STOCK" konferansları serisinden EnerSTOCK2018 Kongresini "Earth Cannot Wait!" sloganıyla Çukurova Üniversitesi'nde düzenlemiştir.



YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ, TÜRKİYE VE DÜNYADA MEVCUT UYGULAMALAR

High Temperature Thermal Energy Storage for Solar Heat Industrial Applications

Ayşegül Çetin
Halime Paksoy

ÖZET

Fosil yakıtların neden olduğu iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilgi artmaktadır. Ülkemizde son yıllarda yapılan çalışmalar ile elektrik üretiminin önemli bir kısmı hidro, rüzgar ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Termal enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanım oranı ise henüz istenilen oranda bulunmamaktadır. Oysa yapılaşma miktarındaki artış fosil yakıtlara dayalı olan kaynakların kullanımı dolayısı ile iklim değişikliğine neden olan sera gazlarını artırmaktadır. Konut sayısı ile beraber ısıtma ve soğutma talebi de artmaktadır. Termal enerji depolama yöntemlerinden biri olan Yeraltında Termal Enerji Depolaması uzun süreli-mevsimsel depolama olanağı sağlamaktadır. Bu yöntemler ile hem sıcak hem de soğuk termal enerji depolanabilmektedir. İklim değişikliği etkilerindeki artışlar göz önüne alındığında soğutma yüklerinin karşılanması için elektrik üretim kapasitesinin yeterliliği üzerinde düşünülmesi gereken bir konudur. Bu nedenle soğuk depolamanın yapılabildiği yeraltında termal enerji depolama yöntemleri enerji talebinin karşılanması açısından temiz ve güvenli bir seçenek oluşturmaktadır. Bu sistemler konut-bölgesel ısıtma, sera iklimlendirilmesi, yollarda ve havalimanı gibi ulaşım altyapısında buzlanmanın giderilmesi, telekomünikasyon sistemlerinin soğutulması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Depolamada soğuk enerji kaynakları olarak ortam soğukluğu, yüzey suları, kar/buz; sıcak enerji kaynakları için ise güneş, yüzey suları, ısı pompası uygulamalarında kondansörden atılan ısı, proses atık ısı, yaz mevsimi boyunca ortam sıcaklığı kullanılmaktadır. Depolamanın yapıldığı alanın özelliklerine ve yer alan enerji kaynaklarının türüne bağlı olarak akiferde, kuyularda, boşluk-çukur ve tanklarda depolama yapılabilmektedir. Sistem tasarımı projenin yer aldığı bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklere bağlı olarak yapılmaktadır. Çok sayıda uluslararası uygulaması olan sistemler ülkemizde de önem kazanmaya başlamıştır. Bu bildiride mevcut sistemlerin tanıtımı, tasarım kriterleri ile ülkemizde ve dünyada mevcut durum ve yeni gelişmeler konusunda bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltında Isı Enerjisi Depolama, Dünya, Türkiye

ABSTRACT

There is an increasing interest in using renewable energy sources in reducing the effects of climate change caused by fossil fuels. With the studies carried out in our country in recent years, most of the electricity production is met from renewable energy sources, including hydro, wind and solar. The utilization rate of thermal energy from renewable energy sources is not yet at the desired rate. However, the increase in the amount of residential increases the greenhouse gases that cause climate change due to the use of resources based on fossil fuels. The demand for heating and cooling increases with the number of residences. Underground Thermal Energy Storage, which is one of the thermal energy storage methods, provides long-term-seasonal storage. With these methods, both hot and cold thermal energy can be stored. Considering the increase in the effects of climate change, it is an issue that should be considered on the adequacy of the electricity generation capacity to meet the cooling loads. For this reason, underground thermal energy storage methods, where cold exchange

can be made, provide a clean and safe option in terms of meeting the energy demand. These systems are used in many areas such as residential-district heating, greenhouse air conditioning, de-icing in transportation infrastructure such as roads and airports, and cooling of telecommunication systems. Ambient cold, surface waters, snow / ice as cold energy sources in storage; for hot energy sources, the sun, surface water, heat released from the condenser in heat pump applications, process waste heat, and ambient temperature during the summer season are used. Depending on the characteristics of the storage area and the type of energy resources located, storage can be made in aquifer, wells, cavity-pits and tanks. The system design is made depending on the geological and hydrogeological characteristics of the region where the project is located. Systems with many international applications have started to gain importance in our country as well. In this paper, information will be given about the introduction of existing systems, design criteria, current situation in our country and in the world and new developments.

Key Words: Underground Thermal Heat Storage, Turkey, The World

1. GİRİŞ

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı genellikle güneş rüzgar ve hidro kaynaklardan başlıca elektrik kullanımında kullanılmaktadır. Toplam kurulu elektrik enerjisi 90,7 GW' a ulaşmış olup bunun %51'i termal enerji santralleri, %31,4 hidroelektrik ve yaklaşık %16'sı ise güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütleden oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (1). Türkiye'nin konut stoğu 31,7 milyondur (2). Enerji kaynaklarının konutlarda kullanım dağılımına bakıldığında ise %49 doğal gaz, %22 elektrik ve %14 kömürün başlıca ilk üç sırada yer aldığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda kullanımı %14 orandadır (3). Konut ısıtmasında ise %53,7 doğal gaz, %24,9 kömür, %12 odun, %8,6 elektrik, %0,4 diğer enerji kaynakları kullanılmaktadır (4). Yenilenebilir enerji olarak jeotermal enerji kullanılarak ısıtılan konut sayısı mevcut konut stoğu göz önüne alındığında sadece 116.000 (5) olarak %0,4 den daha az bir oranda kalmaktadır. Sığ jeotermal sistemlerden biri olan yeraltında termal enerji depolama sistemleri ise sıcak akışkandan bağımsız olarak her yere kurulabilen sistemlerdir.

Bu sistemler ile ısıtmanın yanısıra soğuk depolama da yapılarak soğutma taleplerinin karşılanmasında da kullanılmaktadır. Yeraltında Termal enerji depolama sistemlerinde depolama alanı olarak yer altı kullanıldığı için büyük hacimlerde mevsimsel depolama yapılabilir. Kendi içerisinde depolama sıcaklığı (yüksek-düşük sıcaklık), ısı pompası ile kullanılıp kullanılmamasına ve depolama yapılan alanın jeolojik-hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak Akiferde Termal Enerji Depolama, Kuyularda Termal Enerji Depolama ve Boşluk-Çukur ve Tanklarda Termal Enerji Depolama şeklinde üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Söz konusu sistemler konut-bölge ısıtmasından, sera iklimlendirmesi, yol-havalimanı gibi ulaşım altyapısında buzlanmanın önlenmesi ve son yıllarda sayıları giderek artan bilgi işlem merkezlerinin soğutmasına kadar bir çok alanda kullanıma sahiptir.

2. YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ SINIFLANDIRMA VE TASARIM KRİTERLERİ

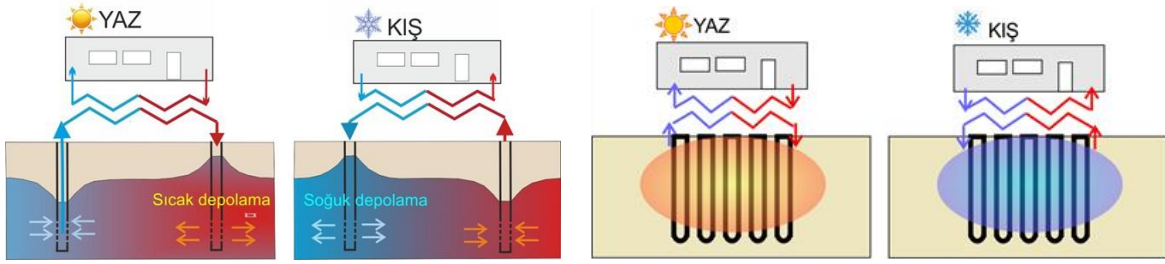
Yeraltında Termal Enerji Depolama sistemleri yeraltının sahip olduğu geniş hacim nedeniyle uzun süreli mevsimsel ısı enerjisi depolamanın yapılabildiği sistemlerdir. Depolama yapılan alanın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine göre kendi içerisinde başlıca Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED), Kuyularda Termal Enerji Depolama (KTED) ve Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED) yöntemleri olmak üzere üç ana grupta uygulanmaktadır.

2.1 Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED)

Yeraltında bulunan su içeren ve ileten kaya ortamları akifer olarak adlandırılmaktadır. Projenin kurulacağı alanda uygun özelliklere sahip akifer ortam olması ATED yönteminin uygulanabilmesi için

ilk kriterdir. Genellikle biri sıcak diğeri soğuk depolamanın yapıldığı iki kuyu grubu açılmaktadır. Sıcak kuyu grubuna proses atık ısı, ısı pompasından, sera vb. ortam içinden atılan atık ısı veya güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak ısı enerjisi depolanmaktadır (Şekil 1-a) Depolama sıcaklığının akifer ekolojik yapısını bozmayacak seviyede olmasına dikkat edilmelidir. Uygulamalarda uygulamanın yerel koşullarına bağlı olarak depolama sıcaklığı genellikle 40 °C'nin altındadır. Soğuk kuyu grubuna ise bu kez kışın ortam soğukluğu, kar/buz gibi soğuk sıcaklık depolanarak ihtiyaç duyulduğunda yer altından bir pompa yardımı ile çekilerek ısı değiştiricisinden geçirilerek iç ortama aktarılmaktadır. Sistem tasarımında projenin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri araştırılmalıdır. Açılacak bir araştırma kuyusunda geçilen yer altı tabakalarının gözenekliliği, yeraltısuyu akım hızı, akiferin iletkenliği ve yeraltısuyu kimyasal özellikleri belirlenerek detaylı tasarım yapılmalıdır. ATED sistemi için açılacak her bir kuyuda yapılması gerekenler Paksoy ve Turgut, 2012' den (6) faydalanılarak aşağıda verilmektedir:

Açılacak kuyunun civardaki diğer binalara olan mesafesinin 7 m'den daha az olmaması, kuyu açılmadan önce yeraltında olabilecek iletim hatlarının (içmesuyu, doğalgaz, elektrik hattı vb.) belirlenmesi ve bunlara zarar verilmemesi, civarda bulunan kuyuların hangi amaçla kullanıldığının ve kapasitelerinin bilinmesi, açılacak ATED kuyu yerinin bu kuyuların etki alanının dışında seçilmesi gerekmektedir. Delme yönteminin proje alanının jeolojik özelliklerine göre belirlenmesi, sondaj sırasında geçilen yer tabakalarının detaylı tanımlanması için SP, gamma-ray ve resistivite loglarının alınması detaylı tasarım için anahtar parametrelerdir. Kuyu inşaatı sırasında filtre ve kapalı boruların doğru yerleştirildikten sonra kuyu geliştirme ve pompaj testinin en az 24 saat süreli sabit debili, gerekirse kademeli pompaj deneylerinin yapılması gerekmektedir. Kuyu başı ekipmanında sıcaklık ve su seviye sensörlerinin yerleştirilmesi sistemin enerji etkinliğinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Kuyuların enerji sistemine bağlantısında gerekli ısı değiştirici tasarımları ve ekipmanlarının doğru tasarımı ve seçimi gerekmektedir.



Şekil 1 (a) ATED b) KTED yöntemi şematik gösterim

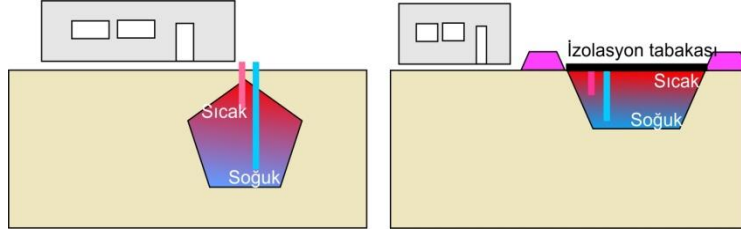
2.2. Kuyularda Termal Enerji Depolama (KTED)

Kuyularda Termal Enerji Depolama yönteminde ortam sıcak ve soğukluğu kil, kireçtaşı, granit vb. kayalardan oluşan yeraltına kuyular açılarak depolanmaktadır. KTED sisteminde açılan kuyular ATED yönteminden farklı olarak açılmaktadır. Kuyular 18-20 cm gibi dar çaplı dikey bir boşluk içine yerleştirilmiş yüksek yoğunluklu kesintisiz ve içerisinde iklim koşullarına göre seçilmiş ısı transfer akışkanı taşıyan U boruların yerleştirilmesi ve sonrasında termal iletkenliği artırılmış dolgu malzemesinin kuyu içerisine enjekte edilmesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 1-b). Kayaç yapısı uygun olduğunda U boruya gerek olmadan açık kuyu da kullanılmaktadır. KTED sistemleri her yere kurulabilen sistemlerdir. Söz konusu sistemlerin tasarım aşamasında proje alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, ısıtma-soğutma yükleri ve sahada yer altında bulunan yapılar (kanalizasyon, telefon, elektrik hatları vb.) ön fizibilite aşamasında araştırılması gerekmektedir. Ön fizibilite aşamasından sonra detaylı tasarımın yapılabilmesi için anahtar parametreler olan bozulmamış yer sıcaklığı, kuyu toplam termal iletkenliği ve kuyu direnci parametrelerinin belirlenmesi için Isıl Duyarlılık Testi (Thermal Response Test) yapılmalıdır (7).

2.3 Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED)

Çukur-Boşluk ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTED) uygulamasında ATED ve KTED sistemlerinden farklı olarak yeraltında bulunan veya açılan boşluklara, çukurlara ya da tankların içine doldurulan suya termal enerji depolanmaktadır. Suyun sıcaklık farkından kaynaklanan yoğunluk

değişimine bağlı olarak farklı derinliklerde tabakalanmasından yararlanılmaktadır. Çukur açılarak yapılan depolama ön fizibilite aşamasında jeoteknik özellikler, yeraltısuyu seviyesi, toprak özellikleri ve harfiyat yapılacak toprak örtününün sonra üstte örtü olarak kullanılıp kullanılmayacağına belirlenmesi önem taşımaktadır. Alan topoğrafyasının düz olması gerekmektedir (8). Yeraltında mevcut boşluklarda depolama yapılması durumunda yeraltındaki kırık çatlak sistemlerinin belirlenerek sızdırmazlık sağlanması ve yeraltısuyu derinliği ve akım hızı göz önüne alınması gereken parametrelerdir (Şekil 2). Çukur veya boşluklarda depolanacak suyun pH özelliklerine göre ekipman seçimi yapılması önem taşımaktadır.



Şekil 2 CTED depolama şematik gösterim

İşletilmeyen maden galerilerinde yeraltısuyunun boşluklara dolması çok karşılaşılan bir durumdur. Bu durumun bölgesel ısıtma ve soğutmada kullanılması konusunda da son yıllarda çalışmalar yapılmaktadır (8). Tasarım aşamasında maden galerisinde suyun miktarının, oluşabilecek gerilim dağılımları, enjeksiyon ve çekim kuyu yerlerinin seçilmesi, ısı değiştiricilerinin seçiminde maden galerisine depolanan suyun kimyasal özellikleri göz önüne alınmalıdır.

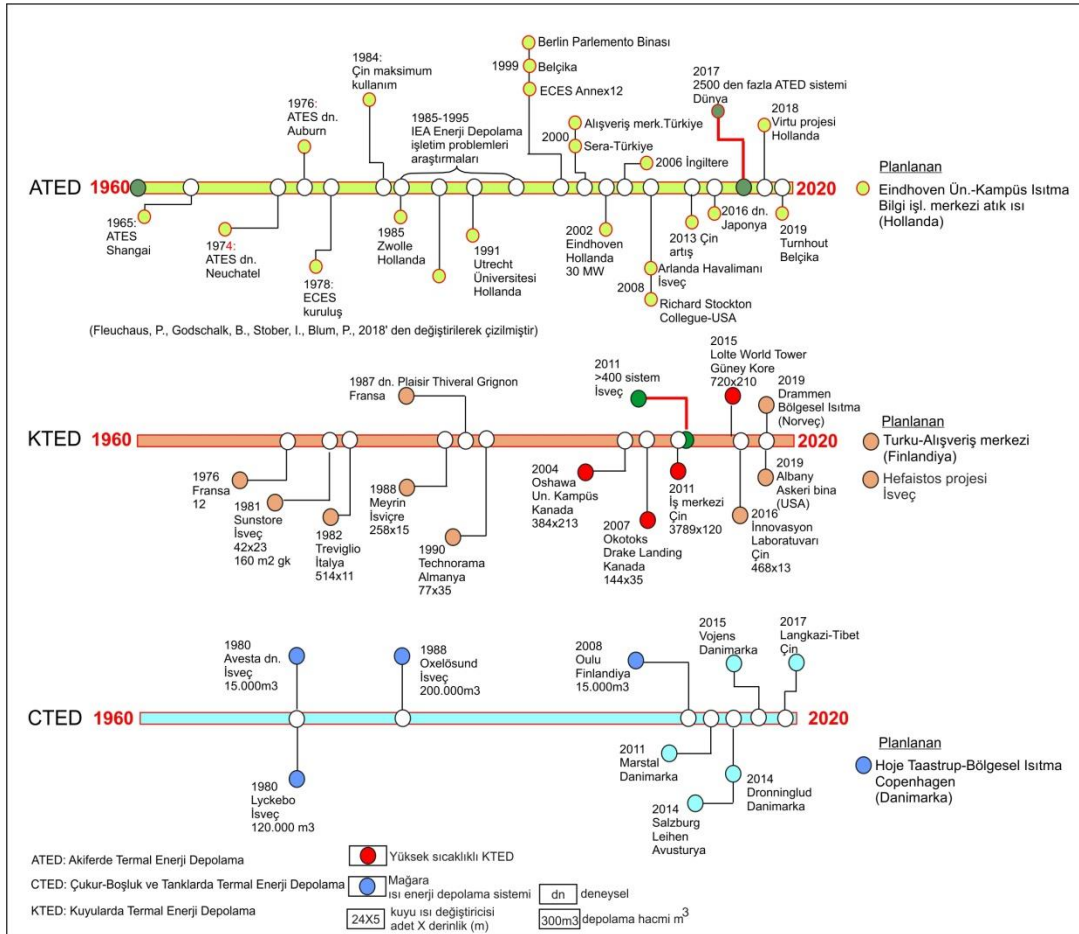
3. TÜRKİYE VE DÜNYADA MEVCUT DURUM

3.1. Tarihçe ve mevcut durum

Yeraltında Termal Enerji Depolama (YTED) uygulamalarının tarihçesi çok eski tarihlere kadar gitmektedir. Eski çağlarda soğuk ve saldırılardan korunmak amacıyla yeraltına kurulan şehirler ve yiyeceklerin korunması için yeraltına açılan çukurlar ısı enerjisi depolama fikri açısından ilk uygulamalar sayılmakla birlikte teknoloji anlamında ilk uygulamalar 1960'lı yıllarda başlamıştır. Sıcak ve soğuk depolama ile ilgili teknolojik uygulamalar 1960'ların ortalarında yeraltısuyunun uzun süreli çekiminden kaynaklanan yer oturmalarını önlemek amacıyla Şanghay (Çin) 'da ortaya çıkmıştır. Oturmaların önlenmesi için yeraltına yapay yeraltısuyu beslemesi yapılarak ilk ATED uygulamaları yapılmıştır. Bunu izleyen yıllarda sanayi kullanım sayısının artması soğutma ihtiyacını artırmış, dolayısıyla ATED sistem sayısında da artışa neden olmuştur. 1984 yılına kadar 400' den fazla ATED projesi olduğu belirtilmektedir (8). Söz konusu sistemlerin aşırı ve kontrolsüz kullanımı sonucunda kuyularda ve ısı değiştiricilerinde yeraltısuyu kaynaklı çökelme problemleri olmuş ve sistemler çalışamaz duruma gelmiştir. 1970' li yılların başlarındaki petrol krizi yeni enerji kaynaklarının aranmasında etkili olmuş ve Kuzey Amerika'da ATED ile ilgili ilk araştırma çalışmaları başlamıştır. ATED ile ilgili araştırma ve teknoloji geliştirme çalışmaları 1970-1980 yılları arasında devam etmiştir. Bu yıllar arasında sistemlerde birtakım sorunlar ile karşılaşmış olup, bu sorunlar başlıca kuyu ısı değiştiricilerinde çökelme, korrozyon, termal etkileşim, ısıtma-soğutma yüklerinde dengesizlik ve kil minerallerinin şişmesi olarak özetlenebilir. Karşılaşılan bu sorunların giderilmesi, enerji depolama çalışmalarında araştırma ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi amacıyla 1985-1995 yılları arasında IEA-ECES (Uluslararası Enerji Ajansı-Enerji Depolama ile Enerji Tasarrufu Programı) programında çalışmalar başlatılmıştır. 1990 yılları sonunda ilk prototip uygulamaları ve ticari uygulama aşaması başlayarak çok sayıda uygulama projeleri yapılmıştır. Türkiye'de ATED ile ilgili ilk çalışmalar bu yıllarda başlamış ve örnek projeler hayata geçirilmiştir. ECES in başlıca amacı enerji depolama sistemlerinde araştırma ve gelişmeleri desteklemektir. Bu kapsamda yapılan araştırmalar sonucunda oluşan sorunların iyi bir ön araştırma ve uygun tasarım ile önenebileceğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklı sistemlerin ($T < 40$ °C) fizibilitesinin kanıtlanmasından sonra düşük sıcaklıklı ATED projeleri

Hollanda ve İsveç'te başarılı olarak uygulanmıştır. Son yıllarda sözkonusu sistemlerin performansı ile bölgesel ısıtmada kullanımı konularında araştırmalar yoğunlaşmıştır (9) (Şekil 3).

İlk KTED sistemi 1976'da Fransa'nın Jura dağlarında güneş enerjisinin mevsimsel olarak depolanması için 12 kuyu kullanılarak uygulanmıştır. Sunstore adı verilen sistemde bir İsveç evinin ısıtılması için 23 m derinliğinde 42 kuyulu sistem 1981 yılında 162 m² güneş kolektörüne bağlanarak depolama yapılmıştır. 1982 yılında depolama alanından 10-40 °C sıcaklıklar elde edilmiştir. Aynı yıllarda Lulea Üniversitesi kampüsünde yüksek sıcaklıklı KTED araştırma projeleri yapılmış elde edilen olumlu sonuçlara bağlı olarak granit kayalarında endüstriyel uygulamalardan atılan 70-82 °C ısı 120 kuyuluk Lulevarme Isı depolama uygulaması ile yeraltına depolanarak kışın 35-55 °C sıcaklık ile 1982-1989 yılları arasında kampüs binaları ısıtılmıştır. İzleyen yıllarda İtalya-Hollanda Groninge gibi bir çok ülkede KTED konut ısıtma projeleri gerçekleştirilmiştir. İsveç'te 2011 yılında yaklaşık 400' den fazla KTED sistemi olduğu belirtilmektedir. Bölgesel ısıtma ile ilgili ilk uygulama 2007 yılında The Drake Landing Solar Community-Okotoks-Kanada'da gerçekleştirilmiştir (10). Chiefeng, Çin, 500 bin m³ KTED en büyük depolama alanına sahip innovasyon laboratuvarı (11) ve Hollanda-yeni geliştirilen güneş kolektöründen elde edilen ısının ATED sistemiyle depolandığı sistemler (12) ve Fjell 2020 Drammen (Norveç) KTED, ısı pompası ve güneş kolektörleri birlikte kullanılarak okul ısıtma ihtiyacının giderildiği yeni çalışmalardır (13).



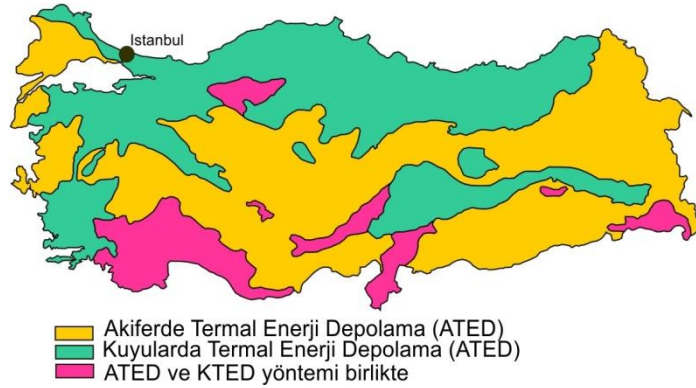
Şekil 3. ATED, KTED ve CTED sistemlerinin tarihsel gelişimi ve proje örnekleri.

Dünyada ATED ve KTED ile ilgili planlanan projeler sırasıyla: Hollanda-Eindhoven Üniversitesi'nde yer alan bilgi işlem merkezlerinden atılan ısının ATED yöntemiyle depolanarak kampüs ısıtılması ile ilgili simülasyon ve fizibilite çalışmaları (14), Helsinki (Finlandiya) kentinin altında daha önceleri petrol depolama amaçlı kullanılan üç mağaraya ısı enerjisi depolanarak bölgesel ısıtma sistemi (15) ile Finlandiya'daki yapılaşma yoğun alanlardaki yeraltı park alanlarının enerji depolama alanı

olarak kullanılarak Turku alışveriş alanının ısıtılması (16) planlanan sistemler arasında sayılabilir. Şekil 3'de tarihsel gelişimde proje örnekleri verilmiştir.

3.2 Türkiye örnek uygulamalar

Yeraltı Termal Enerji Depolama (YTED) uygulamaları Türkiye'de 2000'li yılların başında Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları olarak başlamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (Şekil 4) kullanılarak potansiyel ATED, KTED alanları haritası hazırlanmıştır (17). Yeraltında Termal Enerji Depolama potansiyel haritasında (Şekil 4), KTED için yeşil, ATED için sarı ve pembe alan ise ATED/KTED yöntemlerinin birlikte uygulanabileceği potansiyel alanları göstermektedir. Bu harita, yeraltı yeraltı termal enerji depolama alan potansiyeli için genel bir görünüm sunmaktadır. Proje alanında uygulanacak teknolojiye karar vermeden önce, yerinde hidrojeolojik, jeolojik ve iklim özellikleri belirlenmelidir.



Şekil 4. Farklı Yeraltında Termal enerji depolama sistemlerinin potansiyel uygulama alanlarını gösterir harita (17).

Balcalı Hastanesi (Adana) ATED fizibilite çalışmasında yazın güneş enerjisinin sıcaklığı, kışın seyhan gölünün soğukluğunun ATED yöntemiyle yeraltına depolanması amaçlanmıştır. Sıcak ve soğuk depolamada altışar adet iki grup olmak üzere toplamda 12 adet kuyu kullanılmıştır. Yapılan fizibilite sonucunda 3250 MWh/yıl ve 1000 m³/yıl fuel oil tasarrufu sağlanmıştır (18).

Tarımsal açıdan önemli bir uygulama olan Çukurova Üniversitesi-Adana bölgesinde aynı özelliklere sahip iki seranın iklimlendirilmesinde ATED ve geleneksel ısıtma yöntemleri kullanılarak her iki sera birbiri ile ekonomik, ürün ve çevresel avantajları açısından incelenmiştir. Uygulamada hiç fosil yakıt kullanmadan sadece derinlikleri 80 m olan biri sıcak diğeri soğuk depolama kuyuları kullanılarak % 70 enerji tasarrufu, %20-40 oranında ürün artışı sağlanmıştır. Geri ödeme süresi 1 yıl olarak gerçekleşmiştir (19).

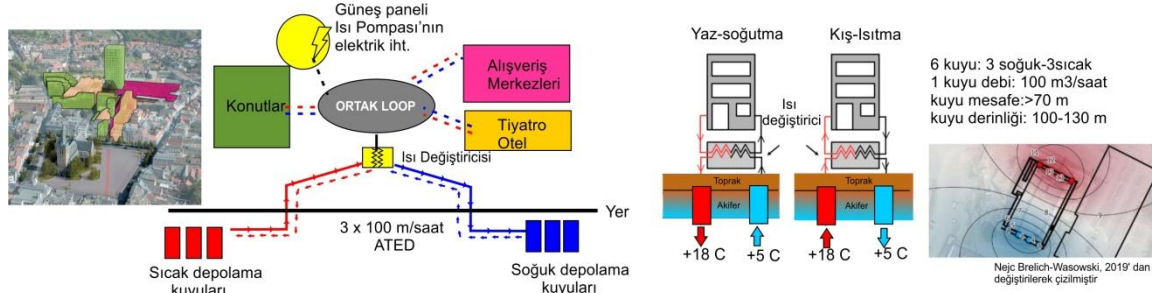
Yonca alışveriş merkezinin (Mersin) iklimlendirilmesinde ATED yöntemi kullanılmıştır. Türkiye'de ilk kez uygulanan bu yöntemde binanın pik soğutma ve ısıtma yükleri sırasıyla 195 ve 74 kW'dır. Sistemin genel amacı, akiferden gelen yeraltı suyunu HVAC sisteminin kondansatörünü soğutmak için kullanmak ve aynı zamanda bu atık ısıyı akiferde depolamaktır. 30-35 °C'de dışarıdaki yaz havasını kullanmak yerine yaklaşık 18 °C'de yeraltı suyu ile soğutma, elektrik enerjisi tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca kışın ihtiyaç duyulduğunda depolanan ısı geri kazanılabilir. ATED kullanan HVAC sistemi, Ağustos 2001'de devreye alınmış, geleneksel sistemden neredeyse %60 oranda daha yüksek 4,18 ortalama performans katsayısı (COP) elde edilmiştir (20).

3.3 Dünya örnek uygulamalar

Yeraltında Termal Enerji Depolama sistemleri bölgesel/konut ısıtma-soğutma, sera iklimlendirilmesi, ulaşım altyapısında buzlanmanın önlenmesi ve bilgi işlem merkezlerinin soğutulması gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Her bir kullanım alanına ait örnek projeler aşağıda yer almaktadır.

ATED örnek uygulama:

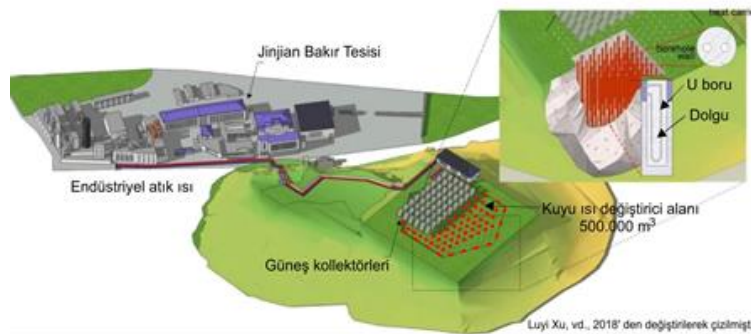
Turnhoud, Belçika projesinde toplamda 100000 m² proje alanına sahip olan konut, alışveriş merkezleri ile tiyatro-otel binalarının ısıtma soğutma yüklerini ATED yöntemi ile karşılanmıştır. Sistemde ısı pompaları sudan suya ve tek bir merkezde yer almayacak şekilde yerleştirilmiştir. Sıcak ve soğuk depolama için üçerli iki grup olmak üzere toplamda 6 kuyu açılmıştır. Akiferden bir sezon (ısıtma ya da soğutma) 300 m³/saat yeraltı suyu elde edilmiştir. Yazın iç ortamın soğutulması sırasında atılan ısı sıcak kuyu grubuna depolanarak, kışın ihtiyaç duyulduğunda kullanılarak ısı pompasının etkinliği artırılmıştır (21).



Şekil 5. Turnhoud-Belçika örnek ATED uygulaması şematik gösterim (21).

KTED örnek uygulama

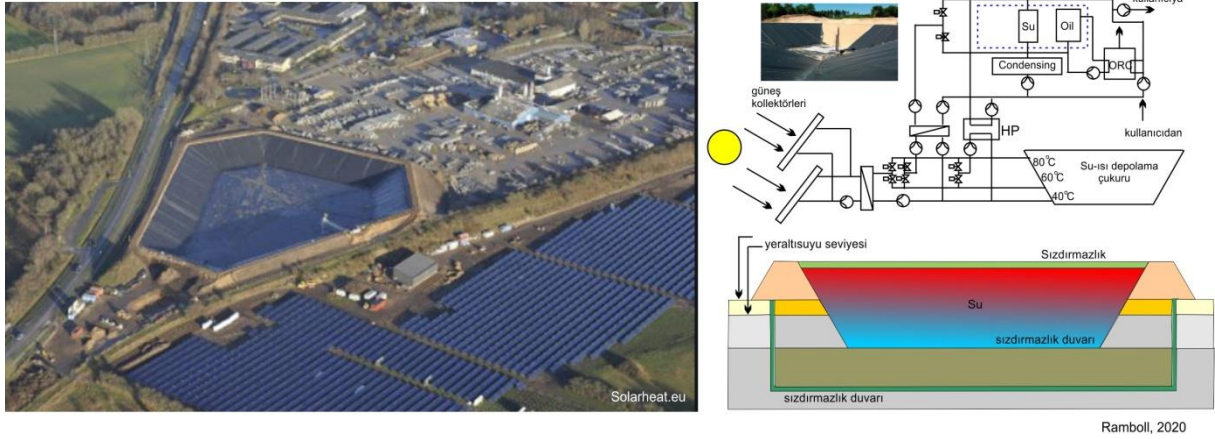
Bölgesel ısıtma kapasitesinin artırılmasını amaçlayan bu projede Chifeng (Çin) kenti yakınındaki bakır işleme tesisinden üretilen atık ısı (100 MW) ile sadece Ekim-Nisan ayları arasında ısıtılan 200.000 konutun ısıtma süresi artırılmıştır. Isıtma sezonu dışında atılan atık ısı ile güneş kolektörlerinden elde edilen ısı 80 m derinlikteki 468 kuyu ısı değiştiricisine depolanarak bölgesel ısıtma sezonu süresi artırılmıştır (Şekil 6). Güneş kolektör alanı toplamda 1002 m², depolama alanı ise 500.000 m³ tür. Güneş panelleri depolama sahasının üzerine inşa edilmiş olup yıllık ısı üretimi 0,42 GWh tir. Güneş kolektörleri ısı depolama katsayısını artırarak depolama stabilizasyonu iki yıl içinde sağlanmıştır. Fabrikadan gelen atık ısı 70 °C, güneş kolektörlerinden gelen su sıcaklığı 75 °C olup, depolama alanına ısıyı bıraktıktan sonra su sıcaklığı 50 °C ye düşerek tekrar atık ısı kazanım sistemine geri dönmektedir (22)



Şekil 6. Cifeng kenti KTED sistemi şematik görünüm (22).

CTED örnek uygulama

Vojens, Danimarka kasabasında yer alan 2000 konutun ısıtılmasını amaçlayan bu projede başlangıçta 17.000 m² olan güneş kolektörleri 70.000 m² ye çıkarılmıştır. Güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak su 200 milyon lt hacmindeki çukurun içine depolanmıştır (Şekil 7). Çukur derinliği 13 metre, çevresi 618 metredir. Günde 50.000 lt su pompalanarak çukurun doldurulması üç ay sürmüştür.



Şekil 7. Vojens-Danimarka örnek CTED uygulaması şematik gösterim (23).

Çukur etrafında kalan birkaç metre mesafesindeki toprağın izolasyonu sağlanarak yağmur suyunun sisteme girmesi önlenmiştir. Çukurun altına yerleştirilen çift sızdırmaz alt izolasyon tabakasının üzeri su ile doldurulduktan sonra suyun üst kısmına 60 cm kalınlıkta genişletilmiş kil tabakasıyla kaplı yüzen bir üst izolasyon tabakası ile sistemin alt ve üst bölümlerinden ısı kaybı önlenmektedir. Bu proje ile yıllık 6000 ton CO₂ salınımını azaltılmıştır (23).

3.4 ATED-KTED ve CTED sistemlerinin karşılaştırılması

YTED sistemleri farklı yapım teknikleri kullanılarak uygulandığı için kendi içerisinde farklılık göstermektedir. Dolayısı ile farklı tekniklerin uygulama açısından göz önüne alınmasını gerekli kılmaktadır. ATED sistemlerinde yeraltısuyunun kullanımı söz konusudur. Bu nedenle proje alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile yeraltısuyunun kullanımını sınırlayan yasal ve teknik özellikler gözönüne alınmalıdır. Akiferin hidrolik iletkenliklerin yeterince yüksek olması gerekirken yeraltı suyu akışının düşük olması ve ikinci olarak, kullanılan yeraltı suyunun mineral içeriğinin sınırlandırılması gerekir. (24). KTED sistemi ise yeraltısuyu veya jeotermal akışkanın varlığından bağımsız her yere kurulabilen yeraltının geniş hacmini kullanabilen sistemlerdir. ATED sistemlerinde etkili olan yeraltısuyu ve genel jeolojik özellik gereksinimi KTED sistemlerinde sınırlıdır ve yeraltında kaldıkları için peyzaj etkisi yoktur. KTED sistemlerinin diğer bir avantajı sistem ihtiyacına göre ek kuyu ısı değiştiricileri ile desteklenebilmektedir. ATED ve KTED sistemlerinde sondaj maliyetleri ilk yatırım maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve ülkelere göre değişmektedir. Yapılan araştırmalara göre KTED sistemlerinin özellikle bölgesel ısıtmada pik yüklerin giderilmesi ve karbon salınımının önlenmesi anlamında diğer kojenerasyon tesisleri, proses atık ısı ve güneş kolektörlerinden alınan ısı ile birlikte entegre edildiğinde daha ekonomik ve 40% oranında karbon salınımının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (25). CTED yönteminde çukurun açılacağı alanda jeoteknik özellikler göz önüne alınmalıdır, bu tür sistemler çevresinde yükseltilmiş bir toprak bölümü ile büyük bir kazıdan oluşmaktadır. Zeminin ilave su hacminden kaynaklanan yükü taşıyabilecek kadar sağlam olması gerekmektedir. Çukur açılması araziye önemli bir müdahale olduğu için ekolojik özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir.

SONUÇ

Yeraltında Termal Enerji Depolama yöntemleri iklim değişikliğine neden olan fosil yakıtlar yerine temiz ve güvenilir enerji olanağı sunmaktadırlar. Yeraltınının doğası gereği büyük hacimli olması nedeniyle mevsimsel depolamaya elverişlidir. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında son yıllarda sistem kurulumunda ve kullanılan enerji kaynak çeşitliliğinde artış gözlenmektedir. Enerji kaynakları güneş olduğu gibi fabrika proses ve bilgi işlem merkezleri atık ısı gibi çok değişik kaynaklar olabilmektedir.

Kullanım alanları açısından değerlendirildiğinde ülkemizde örnekleri bulunan tarımsal uygulamalardan hem enerji tasarrufu hem de ürün artışı sağlanmıştır. Tarım sektöründe jeotermal akışkandan bağımsız olarak uygulanabilen bu tür sistemlerin yaygınlaşması Türkiye açısından önem taşımaktadır.

Dünyada Yeraltında Termal Enerji depolama yöntemleri kullanılarak bölgesel ısıtmanın yapıldığı bir çok uygulamada çevresel ve enerji etkinliği açısından başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Türkiye’de ise konut sektörü enerji tüketimindeki payı yüksek oranda doğalgaza dayalı olup son yıllarda bölgesel ısıtma önem kazanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elektrik üretimi konusunda önemli ilerlemeler elde edilmiştir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarından ısı enerjisi elde edilmesi konusunda henüz istenilen seviyeye gelinebilmiştir. Bu nedenle Türkiye’nin milli enerjisi olan güneş ısısının depolanarak konut/bölgesel ısıtmada ülke yararına kullanılabilceği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (erişim 22.06.2020).
- [2] <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/KonutPolitikalariOzellhtisasKomisyonuRaporu.pdf>ASHRAE, (erişim 02.02.2021).
- [3] Paksoy, H.O and Cetin, A., Annex55/34-Comfort and Climate Report, 2021
- [4] Ediger, Ş., V., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M., Kentmen-Cin, C., 2018, Turkish public for energy preferences, Energy Policy, Volume 120, pp: 492-502.
- [5] <http://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2019/07/CUR-30-Turkey.pdf>
- [6] Paksoy, H.O. ve Turgut, B., Akifer Termal Enerji Depolama ile Binalarda Sürdürülebilir Enerji Kullanımı, Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, 2012.
- [7] IEA-ECES-Annex27, Increasing of quality in designing, instalaltion and monitoring of borehole heat exchangers.
- [8] https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_UTES%20State%20of%20the%20Art_WP1_D1.1_Final_2019.04.26.pdf, HEATSTORE Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned, (erişim tarihi 03.02.2021)
- [9] Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, i., Blum, P., Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 94 (2018) 861–876, 2018.
- [10] Gehlin, S., Borehole Thermal Energy Storage, Advances in Ground Source Heat Pump Systems, Elsevier, pp: 295-327, 2016.
- [11] F. Guo, X. Zhu, J. Zhang, and X. Yang, “Large-scale living laboratory of seasonal borehole thermal energy storage system for urban district heating,” Appl. Energy, vol. 264, p. 114763, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114763, 2020
- [12] <https://www.deltares.nl/app/uploads/2019/10/D1f-Dutch-pilot-Delft-new.pdf>, (erişim tarihi 03.02.2021)
- [13] <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/Abstract.php?PaperID=6840>
- [14] Dvorak V., Zavrel, V., Galdiz, T.J.I., Hensen, M., Simulation-based assessment of data center waste heat utilization using aquifer thermal energy storage of a university campus, Building, Simulation, Springer, open access, 823–836, 2020.
- [15] <https://bioenergyinternational.com/storage-logistics/project-start-for-finlands-largest-underground-heat-storage-facility> (erişim tarihi 03.02.2021)
- [16] Rauli Lautkankare R., Salomaa, N., Martinkauppi, B., Slobodenyuk, A., Underground parking lot at Turku market square - Zero energy parking hall and the biggest solar energy storage in the world, E3S Web Conferences,172, 16008, 2020.
- [17] Paksoy, IEA-ECES-Annex 12 report
- [18] Paksoy, H.Ö, Andersson, O., Abacı, Ş., Evliya, H., Turgut, B., Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in an aquifer, Renewable Energy 19, 117±122, 2000.

- [19]Turgut, B., Dasgan, H.Y., Paksoy, H. Ö., Evliya, H., Bozdağ, Ş., DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.807.17, Aquifer Thermal Energy Storage Application in Greenhouse Climatization, 2009 (erişim tarihi 03.02.2021).
- [20]Paksoy, Ö.H., Gürbüz, Z., Turgut, B., Evliya, H., Aquifer thermal storage (ATES) for airconditioning of a supermarket in Turkey, Renewable Energy 29, 1991–1996, 2004.
- [21]https://www.ehpa.org/fileadmin/red/09_Events/2019_Events/HPCY_2019_webinar/20190628-HPCY-Boydens-Turnova.pdf (erişim tarihi: 04.02.2021)
- [22]Xu L., Torrens, J.I., Guo, F., Yang, X., Hensen, J.L.M, Application of large underground seasonal thermal energy storage in district heating system: A model-based energy performance assessment of a pilot system in Chifeng, Applied Thermal Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.047>, 2018.
- [23]Angelos Chatzidiakos, A., Ramboll, Medium Duration Energy in Net Zero UK, 2020, https://www.era.ac.uk/write/MediaUploads/Other%20documents/S2_05_MStorage_AC_PTES.pdf (erişim tarihi: 05.02.2021).
- [24]Schüppler, S., Fleuchaus, P., Blum, P., Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany, <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0127-6>.
- [25]Bastian Welscha, B., Göllner-Völkerb, L., Schultea, D.O., Bära, K., Sassa, I., Schebek, L., Environmental and economic assessment of borehole thermal energy storage in district heating systems, Applied Energy 216, 73-79, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Ayşegül Emine ÇETİN

1964 yılı Uluborlu-Isparta doğumludur. 1987 yılında DEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Bölümünü bitirmiştir. 2006 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Bölümünde Jeotermal enerji kaynakları kapsamında Yüksek Lisans, 2021 yılında Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümünde Yeraltında Isı Enerjisi Depolama ya etki eden jeolojik faktörler konusunda doktora çalışmasını tamamlamıştır. 1990-2021 yılları arasında İller Bankası A.Ş.'da belediyelerin jeotermal enerji, hidrojeolojik ve jeoteknik etüt taleplerinin karşılanması konusunda çalışmıştır. Enerji depolama konusundaki çalışmalarını TTMD bünyesinde kurulan Enerji Depolama-Isı Pompası Komitesinde sürdürmektedir.

Halime Ömür PAKSOY

Üsküdar Amerikan Kız Koleji mezunu olan Halime Ö. Paksoy, Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini ve Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisans ve doktora eğitimini tamamlamıştır. 1992 yılından beri görev yaptığı Çukurova Üniversitesi'nde 1995 yılında Doçent, 2000 yılında Profesör ünvanlarını almıştır. Akademik çalışmalarının yanı sıra Rektör Yardımcısı, Dekan ve Bölüm Başkanı olarak idari görevlerde bulunmuştur. Halen Çukurova Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin Müdürlüğünü sürdürmektedir. 1995 yılında Uluslararası Enerji Ajansı'nın Enerji Depolama Teknoloji İşbirliği Programı (IEA ECES TCP) anlaşmasını ülkemizi temsilen Çukurova Üniversitesi adına imzalamış, bu tarihten itibaren yönetim kurulunda delege olarak ve iki dönem de başkan olarak görev yapmıştır. IEA ECES TCP Türkiye temsilciliğinin 2020'de TTMD'ye aktarılmasıyla yönetim kurulundaki görevine TTMD üyesi delege olarak devam etmektedir. TTMD Enerji Depolama ve Isı Pompası Komitesi'nin başkanlığını da sürdürmektedir. Termal enerji depolaması teknolojilerinin düşük karbonlu ve yenilenebilir enerjiye dayalı enerji sistemlerinin geliştirilmesi, uygulanması ve tanıtımı konularında AB (4 adet), NATO (1 adet), TÜBİTAK (8 adet) ve SANTEZ (1 adet) tarafından desteklenen projelerde yürütücü ve araştırmacı olarak yer almıştır. Sanayi işbirliğiyle Türkiye'de ilk defa beyaz eşyalarda, bina yapı malzemelerinde ve seralarda termal enerji depolama uygulamalarını gerçekleştirmiştir. 2018 yılında üç yılda bir düzenlenen enerji depolama konusundaki en önemli uluslararası toplantı olan "STOCK" konferansları serisinden EnerSTOCK2018 Kongresini "Earth Cannot Wait!" sloganıyla Çukurova Üniversitesi'nde düzenlemiştir.

EVSEL ÇÖZÜMLERDE FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE ISITMA SİSTEMİ ENTEGRASYONUNDA ENERJİ DEPOLAMANIN ÖNEMİ

Importance of Energy Storage for Integration of Solar Energy in Residential Electric Generation and Heating Systems

Veli Özbek

Mevcut veya yeni yapılacak evsel sistemlerde çatıya kurulacak olan fotovoltaik (PV) sistemin ısı pompalarına veya hali hazırda kurulmuş olan mekanik tesisata bağlanmasıyla üretilen elektrik enerjisi ile evin yüklerinin karşılanması mümkün olabilmektedir. Üretilen fazla elektrik enerjisinin bir sıcak su boylerine veya depolama tankına aktarılmasıyla öz tüketim oranı artırılarak sisteme destek sağlanmaktadır. Böylece PV sisteminden elde edilen elektrik daha verimli ve farklı amaçlarla kullanılabilir. PV sistemiyle beraber bataryalarda ve depolama tanklarında enerji depolanmasıyla çeşitli esnek çözümler üretilebilmektedir. Lityum iyon bataryalar enerji fazlasını elektrik olarak depolayıp akşam güneşin zayıfladığı veya güneşten gelen enerjinin yetersiz olduğu zamanlarda yükleri beslemektedir. Yaz boyunca PV panellerden evin elektrik yüklerini karşılamadan yanı sıra, üretilen fazla enerji ile sıcak su hazırlanması desteği ve/veya kalan enerjiyi araç şarj ünitelerine aktarmak mümkün olabilmektedir. Fazla enerjiyle hazırlanan sıcak su ayrıca depolama tankında daha sonra kullanım için saklanarak, güneşin olmadığı saatlerde enerji gerektirmeden sıcak su sağlanmaktadır. PV ile beraber enerji depolamaların kullanılması ile 100% öz tüketim elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik, Konutlar, Enerji depolama, Güneşle ısıtma.

ABSTRACT

In this study, the effect of lighting and air-conditioning energy loads was evaluated on total electric consumption in office buildings. This evaluation took account of calculated values combined the lighting and the thermal condition effects. It was in terms of saved energy by using a daylight responsive different glazing system in comparison with an artificial lighting system by obtaining the numerical and experimental results during one year. Furthermore the weather conditions were considered by classifying the days as clear, mixed or overcast. Energy savings obtained by daylight responsivity was investigated by evaluating the differences of glazing units according to the months and seasons. According to the results of this experimental study, up to 30% energy saving on total electric consumption could be obtained for suitable glazing units.

Key Words: Solar energy; Photovoltaics, Residential, Energy storage, Solar heating.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin en köklü değişiminin gerçekleştiği bir dönemden geçiyoruz. Alışlagelen kalıplar, alışkanlıklar, teknikler her şey hızla yıkılıyor. Hayatımız artık daha mobil ve daha etkileşimli alanlara doğru değişiyor. Bununla birlikte yaşadığımız ve çalıştığımız mekanlar, kullandığımız araçlar için hem teknoloji hem de teknolojiyi kullanma alışkanlıklarımızda çok büyük değişiklikler yaşanıyor. Artık internet ve teknoloji hayatımızın vazgeçilmezi olmuştur. Herkesle her yerden bağlanmak, dünyanın her

yeriyle, her kesimiyle iletişimde kalmak istiyoruz. Tabii ki bu kadar etkileşimde kalmak farklı uygulama ve yaşam biçimlerinin bilinir olması ve yaygınlaşması anlamına geliyor. Bu durumlar aklımıza şu soruları getirmektedir :

- Tüm bu yenilikleri ve gelişmeleri nasıl sürdürüp, geliştireceğiz?
- Bu süreci bir sonraki aşamaya nasıl dönüştüreceğiz?

Bu gelişmelerle beraber pazar değişmekte ve firmalar uyum sağlamak için ürün/hizmetlerini değiştirmektedir. Devletler toplumu ve ekonomiyi kapsayacak hukuksal ve sosyal değişimler yaparak yeni kurulacak dünyaya hazırlanmaktadır. Geliştirilecek yeni ürünler diğer sektördeki ürünlerle uyum sağlamalıdır. Yaşadığımız her şeyin bu yeni sistemin bir parçası olduğunu unutmamalıyız. Bütünden ayrı, genel gidişi destekleyemeyecek bireysel bir çözüm için çaba göstermeliyiz.

Bu bilgiler ışığında enerji dünyasını incelediğimizde şu konular öne çıkmaktadır:

- Sürekli bağlana bilirlilik için enerjinin kesintisiz olması
- Hareketlilik ve otonom için taşınabilir enerjiye ihtiyaç duyulması
- Elektrifikasyonun zorunluluğu
- Yeni teknolojilerin kullanıcılarının çevreye ve insana karşı daha duyarlı olmalarının yenilenebilir kaynakların önemini ve kullanım alanlarını artırması
- Yeni finansal modeller geliştirilmesi, daha kısa geri dönüşüm süreleri olan hibrit çözümlerin sunulması

Bugün için enerji ihtiyaçlarımızı karşıladığımız fosil yakıtlar, buna bağlı santraller ve nükleer santraller hem çevre ve hem de maliyet açısından çok pahalı kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları bu tür yakıtların kullanım oranını azaltmaktadır. Toplumda artan çevre bilinci elektrikli araçlar ve mikro şebekelere duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir kaynakların heterojen ve kesikli yapısından kaynaklanan temel sorun enerjinin depolanmasıyla aşılabilmektedir. Yenilenebilir kaynakların temel bir yük olarak kullanılmasını sağlayacak sistemlerde depolama sistemleri olmalıdır. Üretim süresince ihtiyaç fazlası enerjiyi depolamak, ısı enerjisine çevirmek veya bir ısı pompası üzerinden konutu, ofisi hatta büyük mekanları ısıtmak çok yakın zamanda hayatımıza girecektir. Böylelikle güneşin yeterli olmadığı durumlarda enerjimizi bu depolama sistemlerinden kesintisiz ve sürekli şekilde sağlamak mümkün olacaktır.

Bu bildiride evsel uygulamalarda güneş enerjisinden yararlanarak fotovoltaik ile elektrik üretimi, ısıtma, ve enerji depolama sistemleri tanıtılacaktır. Yerköy, Yozgat'da bulunan bir örnek sistemde kullanılan bileşenlerin özellikleri ve güneş enerjisinden yararlanma performansları verilecektir.

2. KENDİ ÇATINIZDAN GÜNEŞ ENERJİLİ YEŞİL ÇATILARA

Fotovoltaik sistem kendi kendinize elektrik üretmek için basit ve ucuz bir çözümdür. Kendi güneş enerjisi santralinizle, artan elektrik fiyatlarından bağımsızlık kazanır ve ekolojik ayak izinizi azaltabilirsiniz. Bu sistemlerin sağlayabileceği katkılar şunlardır:

- Maliyetleri azaltmak
- Güneş enerjisi ile en ucuz enerji türünü kullanmak
- Dış kaynaklara bağımlılığı azaltmak
- Piyasadan bağımsız olarak kendi elektriğinizi üretmek
- CO₂ tasarruf etmek
- Kendi güneş enerjisi santralinizle ekolojik ayak izinizi azaltmak

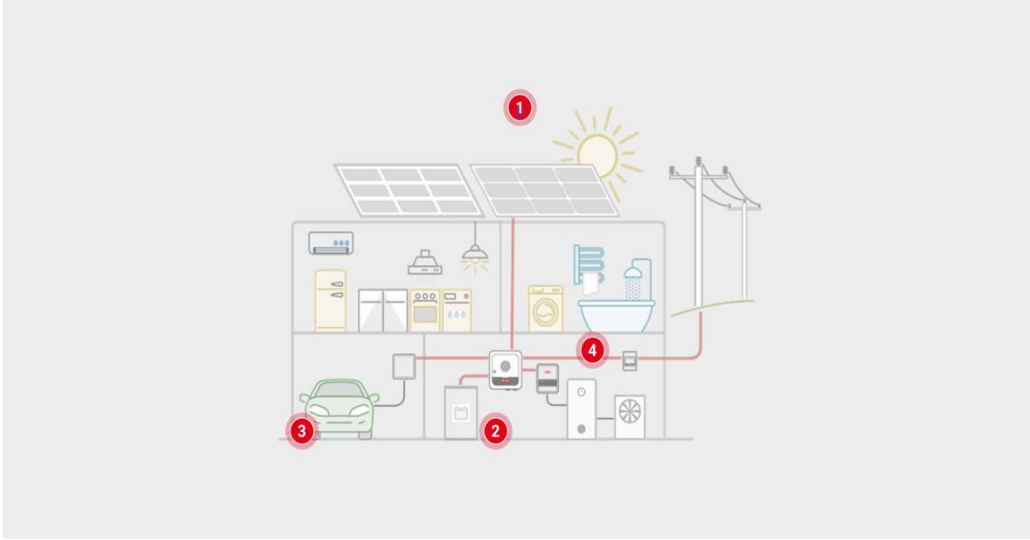
Fosil yakıtlardan kademeli olarak uzaklaşarak , ısıtma (modern ısı pompalı ısıtma sistemleri) ve mobilite (elektrikli arabalar) sektörlerinde daha fazla elektrik tüketeceğiz . Bu nedenle, artan elektrik

talebinin sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir şekilde nasıl karşılanabileceği hakkında bugün düşünmeye başlamak akıllıca olacaktır.

Bir fotovoltaik sistem, sadece evinizin elektrik ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda ortam ısıtması, kullanım sıcak suyu üretimi ve/veya elektrikli araba şarjı gibi birçok evsel ihtiyaç için beraberce kullanılabilir.

2.1. Güneş Enerjisi Sistemi

Evsel çözümlerde kullanılacak güneş enerjisi sisteminin genel görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Güneş enerjisi evsel uygulama genel görünüm [1] (kaynak)

Şekil 1'de verilen görünümdeki bileşenler şunlardır:

1. Fotovoltaik (PV) sistem: PV modülleri ve inverter sürdürülebilir bir enerji çözümünün temelini oluşturur. Bu bileşenlerle evinizin kendi çatısında elektrik üretebilirsiniz.
2. Depolama sistemi: PV sisteminizi bir depolama ünitesi ile genişleterek, kendi ürettiğiniz elektriği güneşin yetersiz olduğunda da kullanabilirsiniz.
3. E-mobilite sistemi: Elektrikli aracınızı kendi çatınızdan güneş enerjisi ile şarj ederek, aracınıza sadece yeşil enerji ile güç sağlamakla kalmaz, aynı zamanda şebekeden gelen elektriği de ödemek zorunda kalmazsınız.
4. Isıtma sistemi: PV sisteminizden gelen enerji ile örneğin kullanım suyu ısıtmak veya ısıtma tesisatı suyunu ısıtmak için kullanabilirsiniz. Bu PV sisteminizin kendini daha da hızlı amorti edeceği anlamına gelir.

2.2. Güneş Enerjisinin Esnek Kullanımı için Enerji Depolaması

PV sistemiyle, güneş parlarken kendi güneş enerjinizi üretir ve kullanırsınız. Güneş enerjisinden kesintisiz yararlanmak için bir depolama ünitesine ihtiyaç vardır. Kendi ürettiğiniz elektriğe ihtiyacınız olduğu anda, hatta güneşin olmadığı sabah ve akşam saatlerinde bile ulaşabilirsiniz.

2.2.1. Enerji Depolama Sistemlerinin Avantajları

Tipik bir evsel kullanımda elektrik talebi sabah ve akşam saatlerinde en yüksektir. Bu dönem tam olarak PV sisteminin çok az veya hiç elektrik ürettiği zaman dilimleridir. Aynı zamanda bu dilimler şebeke elektriğinin en pahalı olduğu saatlerdir. Elektrik talebini bu saatlerde depolama ünitesinden karşılayabiliriz. PV sistemlerin çoğu, şebeke kesintisi sırasında otomatik olarak şebekeden ayrılır ve kapatılır. Böylece karartma durumunda yedek güç kaynağı olarak işlev görür. Yedek güç işlevine ve



bir enerji depolama birimine sahip bir invertör, PV sisteminin şebeke bağlantısı kesildiğinde de çalıştığını ve elektrik kesintisi sırasında kendi enerjinizi kendinize sağlamaya devam edebileceğiniz anlamına gelir.

Enerji depolamasının sağladığı avantaj aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Daha düşük enerji maliyetleri – kendi güneş enerjinizden daha fazlasını kullanın, şebekeden daha az enerji çekin ve tasarruf edin.
- Bağımsızlığı artırın – depolama ünitesi ile artan elektrik fiyatlarından bağımsızlık kazanırsınız.
- Garantili güç kaynağı – elektrik kesintisi olduğunda, kendi güneş enerjinizi depolama ünitesinden sağlayabilirsiniz.

2.2.2. Enerji Depolamasıyla Esnek Kullanım

Üretilen güneş enerjisi evin her yerinde esnek bir şekilde enerji depolamasıyla kullanılabilir. İhtiyaca göre kullanım suyunu ısıtmak veya ısınma suyunu ısıtmak mümkündür. Burada kullanılan bir depolama tankıyla sıcak suyu üretiminin fazlası da depolanabilir. Böylece kendi güneş enerjinizin çoğunu kullanabilir ve daha fazla enerji maliyetinden tasarruf edebilirsiniz.

PV ile elektrik üretiminin yanı sıra sıcak su elde edilmesiyle sağlanan esneklikler ile şu kazanımlar yol açar:

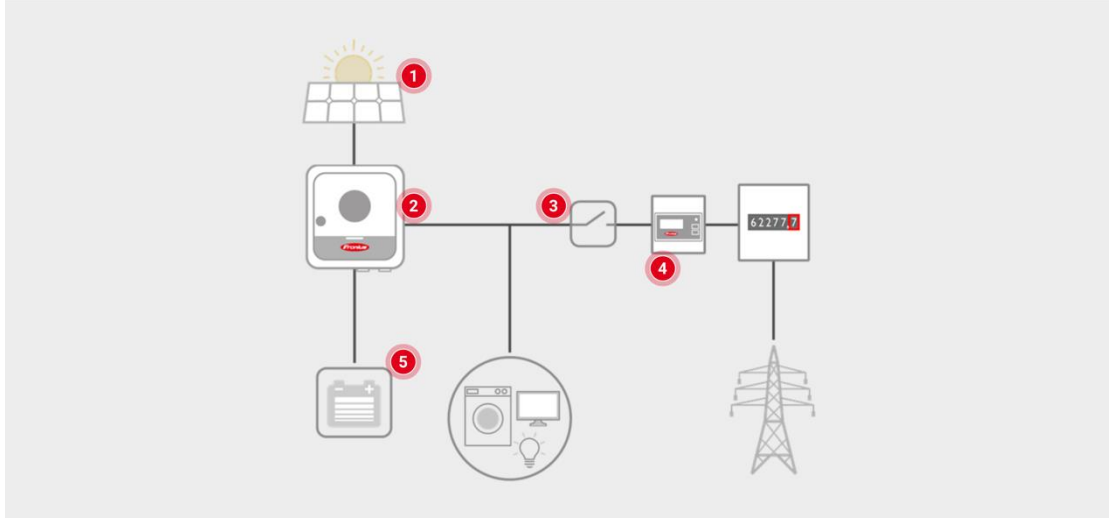
- Daha fazla güneş enerjisi kullanın – fazla güneş enerjisini şebekeye satmak yerine, sıcak su üretmek için kullanın, enerji maliyetlerinizi düşürün
- Isıtma sistemini koruyun – yaz aylarında tamamen kapatabileceğiniz ısıtma sisteminizin ömrünü uzatın, daha fazla tasarruf edin.
- Bağımsız olun ve iklimi koruyun – kendi temiz enerji kaynağınızı kullanın, fosil yakıt tüketmeyin

2.2.3. Enerji Depolaması PV Sistemi Entegrasyonu

Şekil 2 de PV sistemiyle enerji depolama bağlantısının bileşenleri şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistemde aşağıdaki bileşenler bulunmaktadır:

1. PV modülleri
2. İnverter
3. Yedek güç devresi
4. Smart meter
5. Enerji depolama (Lityum iyon batarya)

Burada kullanılan “Smart Meter”, öz tüketimini optimize eden ve eve ait yük eğrisini kaydeden çift yönlü bir sayaçtır. Yüksek hassasiyetli ölçümler ve ara yüz üzerinden hızlı iletişim sayesinde besleme sınırları uygulandığında dinamik besleme kontrolü sayaca göre daha hızlı ve doğru sonuçlar elde edilir. Bu cihaz sayesinde evdeki güç tüketimini açık bir şekilde izlemek mümkündür. Çeşitli enerji akışlarının koordineli yönetimini sağlar ve genel enerji yönetimini optimize eder.



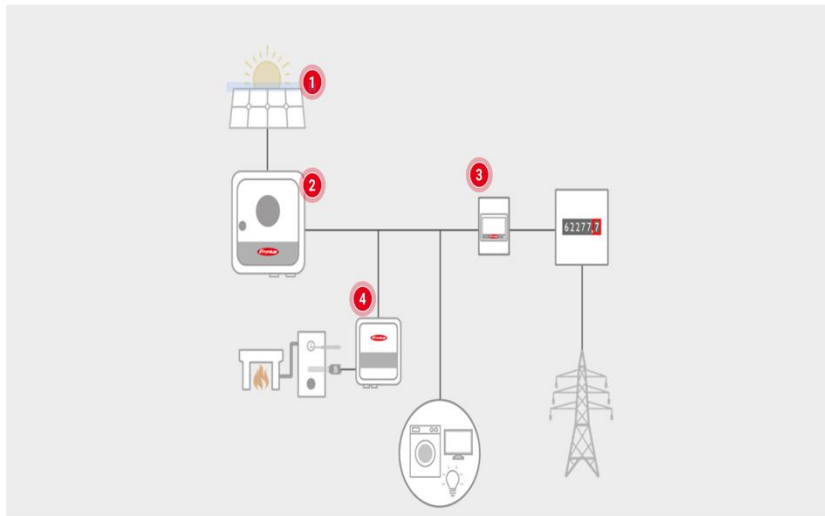
Şekil 2. PV sistemiyle enerji depolama bağlantısının bileşenlerinin şematik gösterimi

3. GÜNEŞ ENERJİSİ ISITMA SİSTEMİ ENTEGRASYONU

Evinizin ısı pompası veya gaz, yağ veya pelet kullanan mevcut ısıtma sistemini PV sistemiyle sistemini destekleyebilirsiniz. Güneşten elektrik üretiminin fazlası ısı üretmek için kullanılabilir. Şekil 3'de PV sistemine ısıtma sisteminin entegrasyonu görülmektedir. Buradaki bileşenler şunlardır:

1. PV modülleri
2. İnvörtör
3. Smart meter
4. Isıtma sistemine bağlantı sağlayan kontrol cihazı

Bu seçenek, yaz aylarında ısıtma sisteminizi tamamen kapatmanıza da olanak tanır ve az miktarda sıcak su için tüm ısıtma sistemini etkinleştirmeniz gerekmez. Böylece enerji maliyetlerinizi azaltmanın yanı sıra aynı zamanda ısıtma sisteminizin hizmet ömrü de uzatılır.



Şekil 3. Isıtma sistemi entegrasyonu

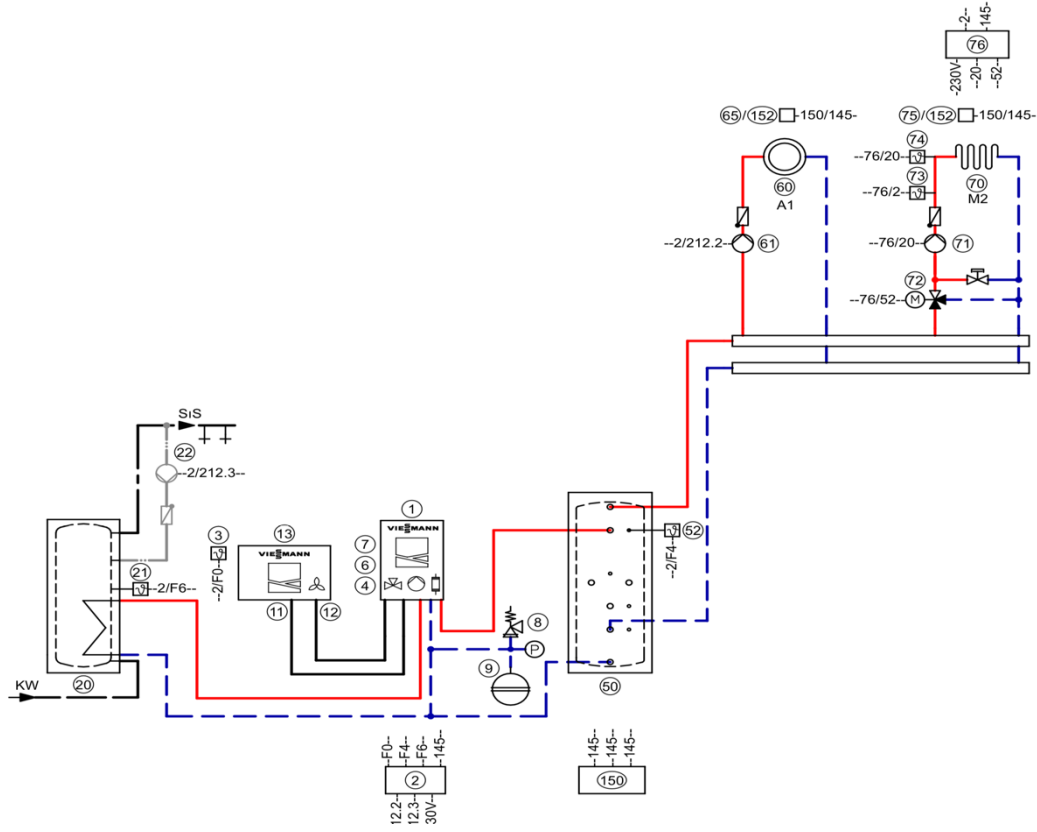
4. EVSEL UYGULAMA ÖRNEĞİ

2018 Ekim ayında devreye alınan Yerköy, Yozgat'da bulunan evsel uygulamada kullanılan güneş enerjisi sisteminin bileşenleri ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tüm ev yerden ısıtılmakta ve oda bazlı kontrol yapılabilmektedir. PV ile üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası ısıtma için kullanılmaktadır. Ayrıca sistem Türk Hamamını da beslemektedir. Şekil 4'de uygulama şeması gösterilen sistem tamamıyla öz tüketime yönelik kurulmuştur.

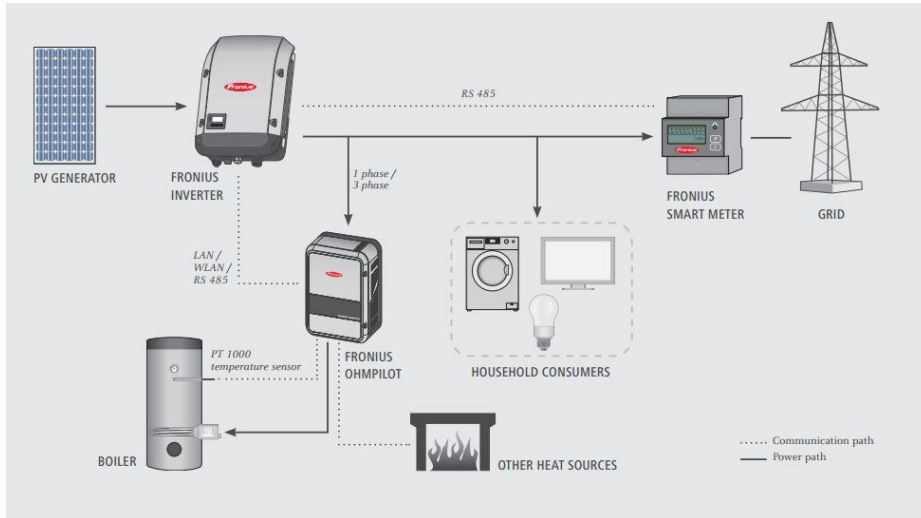
Tablo 1. Yozgat güneş enerjisi evsel uygulama bileşenleri ve özellikleri

Sistem Bileşenleri	Özellikler
Fotovoltaik Panel	275 W, 20 Adet
Hibrid İnverter	5 kW
Lityum iyon Batarya	9 kW
Isı Pompası	16 kW x 2 adet kaskad çalışma
Boyer	300 L
Depolama Tankı	400 L

Sistem öncelikle PV ile üretilen elektrik yükleri beslemekte ve aynı zamanda Lityum iyon bataryalarının şarjı sağlanmaktadır. Buradaki amaç üretilen enerjinin tüketim noktasında kullanmaktır. Sistemdeki bataryaların ömrü ortalama 8000 çevrim yani yaklaşık 20 yıl olarak hesaplanabilir. Bu özelliğiyle sistemin verimliliğini artırır. Şekil 5'de sistemin kontrolünde biri PV ile elektrik üretiminde diğeri sıcak su üretimine aktarımında olmak üzere iki kontrol cihazı bulunmaktadır. Gün içindeki fazla üretimden dolayı tüketilemeyen enerji Şekil 5'de gösterilen kontrol cihazıyla depolama tankı üzerindeki elektrikli rezistansa aktarılmaktadır. Böylece ısıtma suyunun sıcaklığı artırılarak ısı pompasının daha az çalışmasına ve uzun ömürlü olarak kullanılması sağlanmaktadır. Sisteme katkısının yanında öz tüketim oranının % 100'e kadar tamamlanmasına destek olmaktadır.



Şekil 4. Yozgat uygulaması sistem şeması



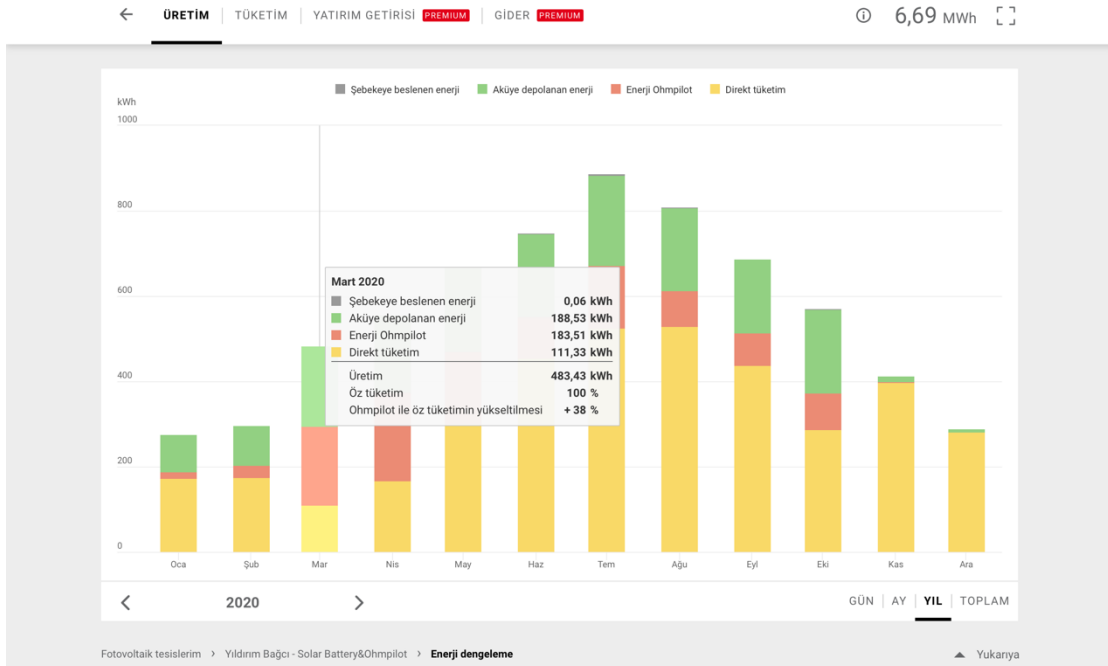
Şekil 5. PV elektrik üretiminin sıcak su üretimine aktarımı kontrol şeması

Şekil 6 da sistemin günlük tüketim ve katkı eğrisi gösterilmektedir. Burada sistemin güneşten anlık doğrudan tüketimini, sistemdeki depolama tankı üzerindeki anlık sıcaklık değerlerini, yüklerle ait tüketimlerin tamamını izlemek mümkündür. Yeşil ile gösterilen yeterli miktarda güneş olması durumunda bataryaya giden gücü göstermektedir.

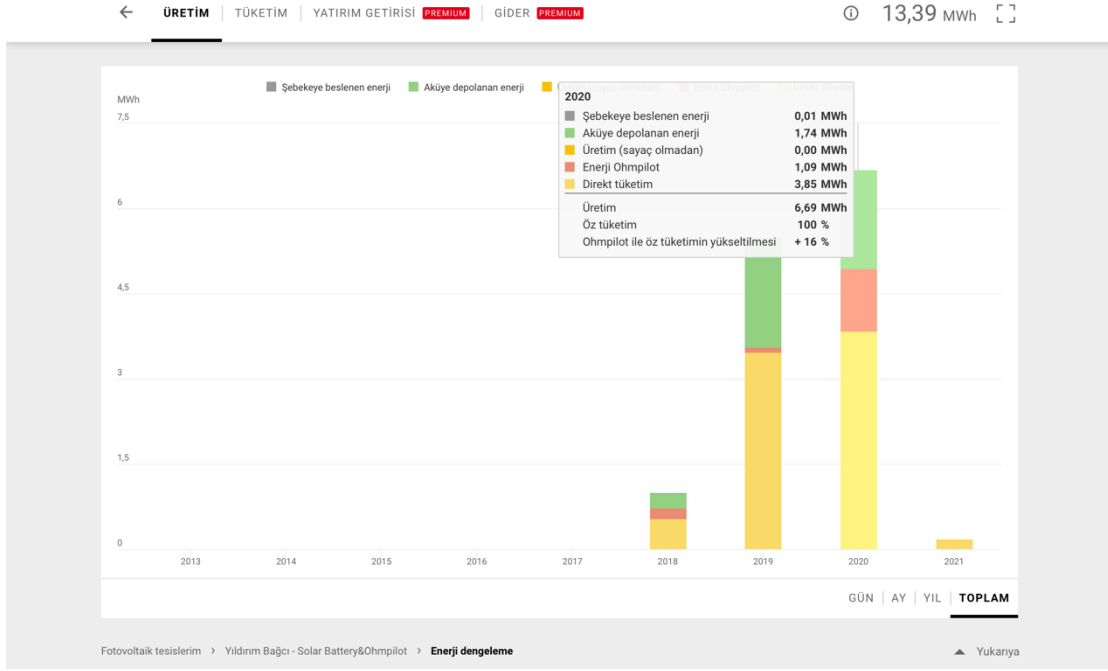


Şekil 6. Sistemin günlük tüketim ve katkı eğrisi

Şekil 7-8 de gerçekleşen sistem verileri gösterilmektedir. Şekil 7'de 2020 yılında aylara göre güneşten tüketilen enerjiyi, Lityum iyon bataryalarda depolama miktarını ve ısıtma sistemine katkısı sağlanan öz tüketim oranının değişimi görülmektedir. Mart 2020 için öz tüketim değeri %100 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 8'de 2018-2020 arasındaki veriler gösterilmiştir. 2018 yılında Ekim ayında devreye alındığı için sistem yılın tamamında çalışmamıştır. 2020 yılının toplam verileri incelendiğinde 6,69 MWh üretilen enerjinin 3,85 MWh'nin doğrudan tüketildiği, 1,74 MWh'nin Lityum iyon bataryalarda depolandığı ve 1,09 MWh'nin kontrol cihazı aracılığıyla sıcak su üretimine aktarıldığı görülmektedir. Böylece %100 öz tüketim sağlanmıştır.



Şekil 7. 2020 yılı için güneşten elde edilen enerjinin dağılımı, Lityum iyon bataryalarda yapılan depolama miktarı ve ısıtma sistemine yapılan katkı



Şekil 8. 2018-2020 yılları için gerçekleşen güneş enerjisinden elde edilen enerjinin dağılımı

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İklim değişikliği artık gelecek için uzak, kıyamet yüklü bir senaryo değil - tartışılmaz bir şekilde bugünün gerçeği haline gelmiştir. Sonuçlar dünya çapında artık açıkça hissedilmektedir. Şimdi harekete geçmeli ve düşüncemizi değiştirmeliyiz. İyi haber şu ki, iklimi korumaya yardımcı olmak için hepimizin yapabileceği bir şeyler var. Yaşanmaya değer bir gelecek yaratmada siz de rol oynayabilirsiniz. Sera gazlarının çoğu, fosil yakıtların ısıya ve elektriğe dönüştürülmesi sürecinde açığa çıkar ve ulaşım, emisyonlara bir başka önemli katkıda bulunur. Bu iki alanda da bireyler enerji ve mobilite çözümleri aracılığıyla gezegenimize yardımcı olmak için kişisel eylemlerde bulunabilirler .

Kendi elektriğinizi üretmenize olanak tanıyan güneş enerjisi çözümleriyle konutlarınızda, paradan tasarruf ederken karbon ayak izinizi önemli ölçüde azaltabilirsiniz. PV modüllerle enerji depolamasının beraber kullanılması esnek uygulamalarla elektrik üretimi-ısıtma-soğutma-sıcak su üretimi-elektrikli araba şarj hizmetlerini ihtiyaca göre optimize edilebilmektedir. Sistemde kullanılan akıllı kontrol cihazları ihtiyaçlar arasındaki dengeyi sağlayarak, fazlasını bataryalarda veya su tankında depolamaktadır.

Yerköy, Yozgat'da yapılan PV-ısı pompası-batarya-ısı depolama tankından oluşan uygulamada %100 öz tüketim sağlanabildiği görülmüştür. Fosil yakıtlardan sağlanan tasarruf CO2 emisyonlarının azaltılmasına yol açarken, pahalı saatteki elektrik yerine temiz ve öz kaynaktan yararlanılarak daha ekonomik enerji tüketimi sağlanmıştır.

Benzer uygulamaların yaygınlaştırılması ülke genelinde dışa bağımlı olmadan yerli ve güvenli enerji kaynaklarından yararlanılmasının önünü açacaktır. Eysel uygulamalarda PV değerli bir finansal yatırımdır, sadece çevre için iyi değil ülke ekonomisi için de önemlidir.



KAYNAKLAR

[1] <https://www.fronius.com/en/solar-energy/installers-partners/products-solutions/residential-energy-solutions>

ÖZGEÇMİŞ

Veli ÖZBEK

1972 Ankara'da doğdum. 1998 yılında Orta Doğu Teknik üniversitesi Metalurji ve malzeme mühendisliği bölümünden mezun oldum. 1999 yılında askerlik görevini tamamladıktan sonra 1988 yılında kurduğumuz aile şirketinde çalışmaya başladım. 2000-2002 yılları arasında OVENTROP GmbH Alman firmasında Türkiye'de bulunmayan bazı ürünlerin ithalatını yaptım. 2013-2016 yılları arasında bu firmada Ankara ve Doğu Anadolu Bölge Sorumlusu olarak çalıştıktan sonra tekrar 2016 yılında kendi şirketimizde yenilenebilir enerji kaynaklarının çözümü ve uygulama alanında faaliyet göstermekteyiz. 2020 yılının haziran ayından itibaren İzmir ofisimizi açmış bulunmaktayız. Evli 2 çocuk babasıyım.

ENERJİ VE ULAŞTIRMA SEKTÖRLERİ DÖNÜŞÜMÜNDE BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ: EĞİLİMLER, FIRSATLAR VE YENİLİKÇİ UYGULAMALAR

The Role of Battery Technologies in Energy and Transport Sectors Transformation: Trends, Opportunities and Innovative Applications

Hasan Aksoy

ÖZET

Çevreye duyarlı daha temiz araçlara duyulan ihtiyacın etkisiyle, elektrik mobilite alanında yaşanan gelişmeler batarya enerji depolama sistemlerinin gelişimini yönlendiren ana akımlardan olmuştur. Bunun yanında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artması, sistem esnekliği sağlayan batarya enerji depolama uygulamalarındaki artışa katkıda bulunmaktadır. Türkiye’de önümüzdeki yıllarda hızla artacağı öngörülen batarya sistemlerinin, son tüketiciler de dahil olmak üzere hem enerji sektörü hem ulaştırma sektörlerinin dönüşümünde kilit rol oynayacağı tahmin edilmektedir. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi’nin hazırlamış olduğu çalışmalara göre Türkiye’de 2030 yılına kadar 2,5 milyon elektrikli aracın dağıtım sistemine entegre edilebileceği ve buradan ortaya çıkacak önemli bir batarya potansiyelinin olduğu, ayrıca Türkiye’de 2030 yılına kadar toplam elektrik tüketiminin yüzde 30’unun güneş ve rüzgârdan sağlanması için batarya depolamanın kilit rol oynayacağı gösterilmiştir. Aynı çalışmalara göre mevcut teknolojideki gelişme, piyasa durumu, maliyetleri ve uygulama bariyerleri açısından farklılıklar gösteren lityum-iyon, kurşun-asit, akışkan ve yüksek sıcaklık olmak üzere Türkiye’de uygulanabilecek dört farklı elektrokimyasal batarya teknolojisi ön plana çıkmaktadır. Bu potansiyelin sağlanması için batarya yatırımlarının Türkiye’de yapılması durumunda, gelecek 10 yıl içerisinde 40 milyar ABD doları civarında bir yatırım piyasası yaratılabilir. Bu makalenin amacı dünya piyasalarındaki en son gelişmelerden yola çıkarak Türkiye’de batarya enerji depolama alanındaki olası gelişmeleri farklı açılardan değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Batarya enerji depolama, Elektrokimyasal batarya teknolojileri, Yenilenebilir enerji, Enerji dönüşümü, Elektrik mobilite.

ABSTRACT

Transformation of the transport sector with electric mobility is driving the need for battery energy storage systems. In addition, the increase in the share of variable renewable energy technologies require power systems to be more flexible with battery storage technologies providing a promising solution. It is expected that the use of battery storage systems will increase rapidly in the coming years in Turkey and play a key role in the transformation of both energy and transport sectors. The studies which were prepared by SHURA Energy Transition Center show that 2.5 million electric vehicles (EV) can be integrated into Turkey’s distribution grids by 2030 creating a significant battery potential for the system that can also provide grid services. It has also been shown that battery storage will play a key role to meet 30% of Turkey’s total electricity consumption from wind and solar energy by 2030. According to the studies, four battery technologies including lead acid, lithium ion, high temperature and flow batteries can be applicable in Turkey in terms of current technology, the status of market, costs as well as the barriers of implementation. In case attery systems are locally manufactured, an investment market size of around 40 billion USD could be created in the next decade. The aim of this article is to assess the possible developments of battery energy storage market in Turkey considering the latest global market developments.

Key Words: Battery Energy Storage, Electrochemical Battery Technologies, Renewable Energy, Energy Transition, Electric mobility.

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle değişken üretim yapısına sahip rüzgâr ve güneş enerjisinin, elektrik üretimi içindeki paylarının hızlı bir şekilde artması, elektrik sistemlerinin daha esnek olmasını gerektirirken, batarya enerji depolama uygulamaları bu esnekliği sağlayacak teknolojik seçeneklerin başında gelmektedir. Hem şebeke ölçeğinde hem de sayaç arkası uygulamalarda kullanılan batarya enerji depolama uygulamaları, tüm elektrik sisteminin sağlıklı çalışmasına katkı sağlarken, daha karbonsuz bir elektrik sistemine geçişte sağladığı faydaların yanında son tüketiciler için de farklı birçok fayda sunmaktadır. Diğer taraftan elektrik mobilite alanında yaşanan gelişmeler, batarya teknolojilerinin gelişiminde maliyet düşüşleri ve yenilikçilik açısından kilit rol oynarken, daha temiz bir çevrenin oluşmasına ve iklim değişikliği ile mücadelede katkı sağlar.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nin çalışmalarında Türkiye'de 2030 yılına kadar 2,5 milyon elektrikli aracın dağıtım sistemine mevcut planlanan şebeke yatırımlarına ilave yatırım yapılmaksızın entegre edilebileceğini ve buradan ortaya çıkacak önemli bir batarya potansiyelinin olduğu [1], ayrıca Türkiye'de 2030 yılına kadar toplam elektrik tüketiminin yüzde 30'unun güneş ve rüzgârdan sağlanması için batarya depolamanın kilit rol oynayacağı gösterilmiştir [2]. Farklı elektrokimyasal batarya teknolojilerinin, uygulamalar bazında farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu sebeple batarya enerji depolama sistemlerinin nerede ve hangi hizmet için kullanılacağı batarya seçiminde en önemli kriterdir. Mevcut teknoloji, maliyetler, yatırımlar, piyasa durumu ve yenilikçilik çerçevesinde, lityum-iyon, kurşun-asit, akışkan ve yüksek sıcaklık üzere Türkiye'de uygulanabilecek dört farklı elektrokimyasal batarya teknolojisi ön plana çıkmaktadır [3]. Bir diğer çalışmada Türkiye enerji sektörü özelinde 2023 yılına kadar toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %20'sini karşılayacağı öngörülen 30 gigavat (GW) rüzgar ve güneş kapasitesinin şebekeye entegrasyonunda sisteme esneklik sağlayan Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC) ve Lityum Demir Fosfat (LFP) teknolojileri ile vanadyum redoks akışkan bataryalar (VRFB) maliyet, uygulanabilirlik ve alınacak hizmet kapsamında en uygun teknolojiler olarak ön plana çıkmaktadır [4].

Diğer taraftan enerji ve ulaştırma sektörlerinin dönüşümünde etkin rol oynayacağı düşünülen batarya teknolojilerinin gelişimini hızlandıracak mevzuatlar ve teşvikler dünya genelinde günden güne önemini artırmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji sistemleriyle aynı yerde konumlandırılan batarya sistemleri, hem şebekeye hem tüketicilere farklı şekilde birçok fayda sunar. Dağıtık üretimle (özellikle çatı üstü güneş fotovoltaik (FV) sistemleri) birlikte kullanılan sayaç arkası batarya uygulamalarının artması ve elektrikli araçlar gibi yeni elektrik yüklerinin sisteme dahil olmasıyla bu yüklerin iyi şekilde yönetilmesi, enerji dönüşümünden elde edilecek faydaları yönlendiren belirleyiciler olmaktadır. Türkiye'nin otomobili projesi de dahil olmak üzere, elektrikli araçlar ve enerji sistemlerinde kullanılacak batarya teknolojilerinin ortak üretimini mümkün kılan bir sinerji hayata geçirilebilirse, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu ile, çevresel ve ekonomik faydalar daha çok elde edilebilecektir.

2. Eğilimler, Fırsatlar ve Yenilikçi Uygulamalar

Enerji ve ulaştırma sektörlerinde yaşanan dönüşüm, mevcut enerji depolama batarya teknolojilerinin maliyet, performans ve kalite üçgeninde değerlendirilmesini ve bu doğrultuda araştırmaların yapılmasını sağlamaktadır. Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler ve bu alanda rekabetin artıyor olması batarya maliyetlerinde önemli düşüşlere neden olsa da mevcut durumda istenilen seviyelere ulaşılmasının biraz daha zaman alması beklenmektedir. Temiz bir çevre konusunda toplum hassasiyetinin artışı, elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşmasını sağlarken, bu araçların kullandığı elektriğin hangi kaynaklardan üretildiği konusu eşit derecede önemli hale gelmektedir. Bunun için

yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki payının artması elzemdir. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr ve güneş) payı arttıkça, değişken üretimi olan bu kaynakların elektrik sistemine olası etkilerinin iyi yönetilmesi gerekir. Batarya enerji depolama teknolojileri sisteme esneklik sağlayarak arz ve talep değişimindeki dalgalanmaların yönetilmesine katkı sağlar.

2019 yılı itibarıyla, dünya genelinde toplam 183 GW enerji depolama kapasitesi bulunmaktadır ve bu kapasitenin yaklaşık %90'undan fazlasını pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri oluşturmaktadır. Elektrokimyasal sistemler yani batarya enerji depolama teknolojileri sadece yaklaşık %4-5'lik bölümünü kapsarken, bunun %80-85'lik bölümünü de lityum iyon batarya teknolojileri kapsamaktadır [5]. Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin teknoloji gelişimi açısından olgunluk seviyesine ulaştığı ve bu nedenle yatırım maliyetlerindeki olası düşüşlerin sınırlı olacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan elektrokimyasal batarya teknolojilerinde ise teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olacak şekilde yüksek oranlarda maliyet düşme potansiyeli bulunmaktadır.

Geçtiğimiz on yıllık süreçte batarya teknolojileri kurulumları ivme kazanmış, 2018 yılında 3 GW'ın üzerinde kapasite kurulumu gerçekleşmiştir. Bu zaman diliminde ilk defa 2019 yılında kapasite kurulumu bir önceki yıldan daha az olarak 3 GW'ın biraz altında gerçekleşmiştir. Bu düşüşün büyük bir bölümü şebeke ölçeğinde gerçekleşmiştir [6]. 2018 ve 2019 yılları dikkate alındığında sayaç arkası batarya kurulumlarında küresel ölçekte artış eğilimi olduğu gözlemlenmektedir. Batarya teknolojilerinin yenilenebilir enerjiyle birlikte kullanımı ve ülkeler bazında uygulanan farklı teşvik ve piyasa odaklı düzenlemeler enerji depolama uygulamalarının gelişimi yönlendiren temel etkenler olmuştur. Bunlara örnek olarak, Avrupa temiz enerji paketinde, batarya sistemleri üretim, iletim ve dağıtımdan ayrı bir varlık olarak tanınarak, şarj ve deşarj sırasında çifte vergiden muaf tutulmuştur. Almanya ve Fransa'nın bazı bölgelerinde iletimden bağılı bir varlık olarak kabul edilmesi, İtalya ve İngiltere'de toplayıcılar vasıtasıyla piyasalarda oyuncu olmalarının önü açılmıştır. Tüm bunlara rağmen Avrupa'da enerji depolama kapasite kurulumları son yıllarda düşüş eğiliminde olsa da, 2019 yılı boyunca Almanya'da hiçbir teşvik olmadan 50.000 adet sayaç arkası sistem devreye girmiştir. Bunların dışında beklenmeyen olaylar nedeniyle de batarya kapasitelerinde artış olabilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya eyaletinde yangın sebebiyle bölgedeki şebekeler ve hatların zarar görmesinden dolayı, bu bölgelere yakın yerlerde yedek güç olarak kullanılmak üzere 10.000'den fazla sayaç arkası sistem satılmıştır [6].

Teknolojik gelişimler yıldan yıla devam etse de, lityum iyon en çok kullanılan teknoloji olmayı sürdürmektedir. 2017'nin sonunda, elektrikli araçlar için bir lityum iyon batarya paketinin maliyeti, 10-15 yıllık bir çevrim ömrü varsayılarak hesaplandığında kilovat-saat (kWh) başına 209 ABD doları seviyelerine kadar düştü. Bloomberg New Energy Finance (BNEF) analizlerine göre, lityum iyon bataryaların fiyatı 2010 yılından bu yana reel olarak %87 düştü ve yaklaşık 156 ABD doları/kWh oldu. BNEF, lityum iyon bataryaların 2025 yılına kadar 100 ABD doları/kWh'den daha ucuza mal olacağını tahmin ediyor [7]. Teknolojik gelişmeler ve üretim ölçeği dikkate alındığında önümüzdeki yıllarda batarya maliyetlerinde önemli düşüşlerin olması beklenirken, kullanım alanlarının yaygınlaşması ülkelerin belirleyeceği politikalarla doğru orantılı olacaktır. Elektrikli mobilite pazarının şebeke ölçeğindeki bataryalardan on kat daha büyük olduğu göz önüne alındığında, mobilite uygulamalarındaki yenilikçi yaklaşımlar maliyet düşüşlerine yansiyacaktır.

Önümüzdeki yıllarda bataryaların daha çok kullanılmasına bağlı olarak ikinci hayat uygulamaları ve geri dönüşümü en önemli konuların başında gelmektedir. Batarya enerji depolama sistemlerinde kullanılan lityum ve kobaltın tedarik riski, teknolojilerin gelecekteki tahmini gelişimine tehdit olarak görülmesi de, batarya sistemleri için etkili geri dönüşüm içeren sürdürülebilir yaşam sonu yönetimi stratejileri önemli hale gelmektedir. Küresel enerji dönüşümüne kalıcı olarak olumlu bir etki sağlamak, batarya kimyasallarının geri dönüşümünü sağlayacak yeniden kullanım ya da yeniden üretim yöntemlerini araştıran yaşam sonu programları geliştirmekten geçmektedir [3]. Örnek olarak, Almanya'da eski elektrikli araçlardan çıkan bataryalar şebeke hizmetlerinde kullanılmak üzere 2.000 adet batarya birleştirilerek 9 MW'lık şebeke ölçeğinde uygulama hayata geçirilmiştir [6].

Dünya genelinde elektrikli araç üreticileri maliyetleri azaltmak için özellikle batarya enerji yoğunluğunu daha fazla artırmaya yönelik çalışmalar yürütülmektedir. Fakat bu durumun elektrik şebekesi enerji depolama uygulamaları için çok fazla etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, tedarik zincirleri bir sonraki yüksek performanslı karışıma veya kimyaya ilerledikçe, elektrikli araçlar için daha az çekici hale

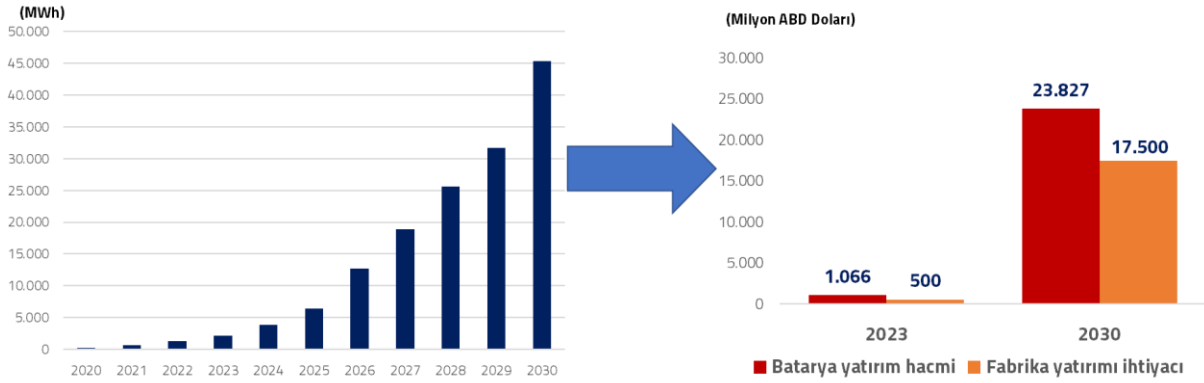
gelebilecek teknolojiler, şebekedeki sabit uygulamalar için daha düşük bir maliyetle kullanılabilir. Maliyetlerdeki iyileşmelere ilaveten, batarya teknolojilerinin yaygınlaşmasını sağlayacak ve batarya uygulamalarının elektrik piyasalarında kullanılmasının önünü açacak düzenlemeler küresel ölçekte uygulanmaya başlanmıştır. Bu kapsamda yan hizmet ve dengeleme güç piyasalarına katılımlarının sağlanması, esneklik hizmeti tedariki, toplayıcılar aracılığıyla organize toptan satış piyasalarına katılmalarının altyapısının oluşturulması gibi düzenlemeler vasıtasıyla azami sistem esnekliği sağlanabilmektedir.

3. Türkiye'deki beklentiler ve eğilimler

Türkiye'nin yerli elektrikli otomobil hedefleriyle birlikte, batarya teknolojilerine olan ilgi hız kazanmıştır. Elektrikli aracın en önemli kısımlarının başında gelen batarya hücresi ve paketinin temini ya da üretimi, hammadde ve tedarik zinciri altyapısının kurulması anlamına gelecektir. Bu ekosistemin kurulması sosyoekonomik faydalarının yanında enerji sektörü için de farklı avantajları beraberinde getirecektir. Tüm bunların hayata geçirilmesi için kısa, orta ve uzun vadeli planlama yapılmalıdır. İlk etapta batarya hücresinin Türkiye'de üretilmesi kolay olmamakla birlikte, bataryanın paketlenmesi konusuna öncelik verilebilir. Türkiye batarya üretiminin ve piyasasının oluşması konusunda son bir yıl içinde hızlı adımlar atmıştır.

Enerji sistemi uygulamalarında kullanılacak batarya teknolojileri ile elektrikli araçlarda yaşanacak gelişmeler iki sektörde ortak çalışma alanları oluşturacaktır. Enerji sistemleri için Ocak 2021 tarihinde yayınlanan taslak enerji depolama mevzuatına göre [8], batarya enerji depolama uygulamaları üretime ve tüketime bütünlük ya da müstakil olarak kullanılabilir. Ayrıca, yan hizmetler ve dengeleme güç piyasalarına katılımın yolu açılmıştır. İlgili taslağın bu haliyle uygulanması durumunda, enerji sistemine esneklik sağlayan batarya kurulumlarının mevzuat altyapısı tamamlanmış olacaktır. Türkiye'deki bu gelişmeler, küresel ölçekteki gelişmelere paralel olsa da, özellikle sayaç arkası ve sayaç önü kurulumlarının artması için gerekli desteklerin ya da teşviklerin doğrudan sağlanmadığı söylenebilir. Bataryaların organize piyasalara katılmasının sağlanması önemli bir gelişme olacaktır, fakat bu piyasalara katılma şartı olarak minimum kapasite limitlerinin kademeli olarak düşmesi ve küçük sistemlerin toplayıcılar vasıtasıyla bu piyasalara katılabilmesi kritik öneme sahip olacaktır.

Bu kapsamda, Türkiye'de 2030 yılına kadar 2,5 milyon elektrikli araç için gerekli olan batarya kapasitesi ile enerji sisteminde 600 MW'lık batarya kapasitesinin yaratacağı toplam yatırım hacimlerini öngörebilmek için bir analiz yapılmıştır. Elektrikli araçlar için toplam batarya kapasite gereksinimi tahmin edilirken batarya ve plug-in hibrit araç olmak üzere sırasıyla her bir araç için 75 kWh/adet ve 22 kWh/adet kapasiteler öngörülmüştür. Ayrıca Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC) teknolojisinin kullanıldığı varsayılarak, 2030 yılına doğru maliyetlerde belirli bir düşüş eğilimi kabul edilmiştir. Elektrik sistemi için öngörülen 600 MW'lık batarya teknolojisi için ise NMC ve Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (NCA) teknolojilerinin kullanılacağı varsayılmıştır. 2020 yılından 2030 yılına kadar her yıl için ayrı ayrı toplam kapasite ihtiyacı (sadece 2030 yılı için 45.284 MWh) ve yatırım hacimleri (sadece 2030 yılı için 7,7 milyar ABD doları) bu kapsamda tahmin edilmiştir. Ayrıca dünya genelinde halihazırda kurulmuş olan batarya üretim fabrikalarının gerçek verilerine dayanarak yıllık üretim kapasiteleri (her bir üretim tesisi için yıllık 2.500.000 kWh üretim kapasitesi) ve bu kapasitelere karşılık gelen yatırım maliyetleri (her kilovat-saat başına 100 ABD doları) dikkate alınmıştır. Bu sayede batarya üretiminin Türkiye'de olması durumunda ne kadar yatırım ihtiyacı olacağı hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, 2030 yılına kadar batarya piyasa hacmiyle birlikte batarya yatırımlarının Türkiye'de yapılması durumunda, gelecek 10 yıl içerisinde 40 milyar ABD doları civarında bir yatırım piyasası yaratılabileceğini göstermiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Tahmini toplam batarya kapasite gelişimi ve yatırım tutarı hacmi

SONUÇ

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nin hazırlamış olduğu çalışmalara göre Türkiye'de 2030 yılına kadar 2,5 milyon elektrikli aracın dağıtım sistemine planlanan şebeke yatırımlarının yapılması durumunda sorunsuz entegre edilebileceği gösterilmiştir [1]. Ayrıca Türkiye'de 2030 yılına kadar toplam elektrik tüketiminin yüzde 30'unun güneş ve rüzgârdan sağlanması için şebeke ölçeğinde 600 MW batarya depolama kapasitesinin kilit rol oynayacağı gösterilmiştir [2]. Hem enerji hem ulaştırma sektöründe kullanılacak batarya yatırımlarının Türkiye'de yapılması durumunda, gelecek 10 yıl içerisinde 40 milyar ABD doları civarında bir yatırım piyasası yaratılabilir.

Küresel ölçekte gerçekleşen uygulamalar göz önüne alındığında, halen birçok araştırmanın çok yeni ve geliştirilmekte olduğu söylenebilir. Batarya teknolojilerinin yaygınlaşmasında maliyet olarak düşümlere ihtiyaç olduğu kadar, ülkelerin uyguladığı düzenlemeler ve teşviklerin önemli rolü vardır. Batarya enerji depolama teknolojilerinin diğer teknolojilerle rekabet edebileceği piyasa temelli mevzuatların hayata geçirilmesi, sistem esneklik ihtiyacının sağlanmasına ve daha çok yenilenebilir enerji entegrasyonuna vesile olacaktır. Alınacak hizmetin, batarya tipinin ve kapasitesinin ne olacağını belirlemek diğer en önemli noktadır. Diğer taraftan, Türkiye'nin otomobili projesi de dahil olmak üzere, elektrikli araçlar ve enerji sistemlerinde kullanılacak batarya teknolojilerinin ortak üretimini mümkün kılan bir sinerji hayata geçirilebilirse, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu ile birlikte, çevresel ve ekonomik faydalar daha çok elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Tör, O.B., Teimourzadeh, S., M. Koc, M. Cebeci, H. Akinc, O. Gemici, C. Bahar, J. Hildermeier, Saygin, D., "Transport sector transformation: Integrating Electric Vehicles in Turkey's distribution Grids". Under review in Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy".
- [2] Saygin, D., Tör, O.B., Cebeci M.E., Teimourzadeh, S., Godron, P., "Increasing Turkey's power system flexibility for grid integration of 50% renewable energy share, 2021.
- [3] Aksoy, H., Soytaş, H.S., "Enerji ve Ulaştırma Sektörleri Dönüşümünde Batarya Teknolojilerinin Rolü: Eğilimler, Fırsatlar ve Yenilikçi Uygulamalar", SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2019.
- [4] Gür Çakır, D., Aksoy, H., Saygin, D., "A Product Roadmap for Energy Storage Solutions in Turkey", Accepted for publication in Energy Transition.
- [5] CNESA, "Energy Storage Industry White Paper", 2019.
- [6] Munuera, L., "Energy Storage" IEA, <https://www.iea.org/reports/energy-storage>, 2020
- [7] Zablocki, A. "Fact Sheet: Energy Storage 2019", EESI, <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>.



- [8] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu “EK: Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliği taslağı”<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/5-9326/elektrik-piyasasi-mevzuat-degisikligi-taslaklarin>, 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan AKSOY

Hasan Aksoy, SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi'nde Araştırma Koordinatörü olarak çalışmaktadır. Profesyonel iş yaşamına ve enerji sektöründe çalışmaya 2005 yılında başlamış olup, 2011 yılına kadar Akenerji grubunda enerji ticareti, analizler, portföy ve üretim yönetimi faaliyetlerinden sorumlu Müdür yardımcısı görevini sürdürmüştür. Elektrik üretim ve tedarik şirketlerinde yönetici pozisyonunda görevler almıştır. Sonrasında Avrupa'nın önde gelen enerji şirketlerinden biri olan Finlandiya devlet şirketi FORTUM'da Kıdemli Enerji Piyasası Müdür'ü olarak çalışmaya başlamıştır. 2017 yılına kadar, FORTUM'un Türkiye'deki enerji ticareti, piyasa analizleri, iş geliştirme faaliyetlerinin yönetilmesi ve yürütülmesinde kapsamlı sorumluluklar üstlenmiştir. Aynı zamanda bu görevlerine ek olarak, FORTUM'un Finlandiya ve İsveç'te bulunan genel merkezlerinde, başta Nordpool olmak üzere Avrupa enerji piyasalarında çalışma fırsatı bulmuştur. Sonrasında kariyerine bir süre Direktör olarak devam etmiştir. Enerji piyasaları, enerji ticareti ve analizleri, üretim yönetimi, enerji yatırımları ve politikaları alanlarında uzmanlıkları olan Aksoy, Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği lisans eğitiminin ardından, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim dalı Enerji bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Aynı zamanda Galatasaray Üniversitesi İşletme (MBA) yüksek lisans derecesine sahiptir.

DÜZLEMSEL BİR KANAL İÇİNDEKİ POWER-LAW AKIŞKANIN MHD AKIŞ VE ISI GEÇİŞİ

Mhd Flow And Heat Transfer Of Power-Law Fluid In A Plane Channel

Esra Yağcı
Orhan Aydın
Tülin Bali

ÖZET

Bu çalışmada, manyetik alan etkisi altındaki düzlemsel bir kanal içinde power-law akışkanın akış ve ısı geçişi teorik olarak incelenmiştir. Akışın hidrodinamik olarak tam gelişmiş; termal olarak ise gelişmekte olduğu durum ele alınmıştır. Viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkileri analize dahil edilmiştir. Sayısal analizde sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Sabit ısı akısı termal sınır koşulu için power-law indeksi, Brinkman sayısı ve Hartmann sayısının hız ve sıcaklık profillerinin yanı sıra Nusselt sayısı üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Viskoz yayılımı ve Joule ısıtmanın varlığında gözlemlenen karmaşık ısı transfer karakteristikleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Manyetohidrodinamik (MHD), Power-law akışkan, Termal gelişen, Viskoz yayılım, Joule ısıtma, Düzlemsel kanal, Sabit ısı akısı.

ABSTRACT

In this study, flow and heat transfer of power-law fluid in a parallel-plate channel under the effect of magnetic field is examined theoretically. Flow is considered hydrodynamically fully developed and thermally developing. The viscous dissipation and Joule heating effects are included in the analysis. The finite difference method is used in numerical analysis. For the constant heat flux thermal boundary condition, the effects of power-law index, Brinkman number and Hartmann number on the Nusselt number as well as velocity and temperature profiles are determined. The complex heat transfer characteristics observed in the presence of viscous dissipation and Joule heating are discussed.

Key Words: Magnetohydrodynamics (MHD), Power-law fluid, Thermally developing, Viscous dissipation, Joule heating, Planar channel, Constant heat flux.

Semboller

B	manyetik alan yoğunluğu (Tesla)
Br_q	modife edilmiş Brinkman sayısı
c_p	özgül ısı (kJ/kg K)
h	ısı transfer katsayısı ($W m^{-2} K^{-1}$)
Ha	Hartmann sayısı
k	ısı iletim katsayısı ($W/m K$)
n	power-law indeksi
Nu	Nusselt sayısı
p	basınç (Pa)
P	boyutsuz basınç



p_o	referans basınç (Pa)
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
q_w''	duvar ısı akısı (W/m^2)
T	sıcaklık (K)
u	yatay hız bileşeni (m/s)
U	boyutsuz yatay hız bileşeni
v	düşey hız bileşeni (m/s)
V	boyutsuz düşey hız bileşeni
W	kanal yüksekliği ($=2w$) (m)
x, y	yerel koordinatlar
X, Y	boyutsuz yerel koordinatlar

Yunan Sembolleri

σ	elektriksel iletkenlik ($1 / \Omega m$)
θ	boyutsuz sıcaklık
μ	dinamik viskozite (Pa s)
ρ	yoğunluk (kg/m^3)
α	termal yayılım (m^2/s)
η	uyum katsayısı
ν	kinematik viskozite (m^2/s)
τ	kayma gerilmesi
ϕ	manyetik alan yönü

Alt indisler

b	yığın
e	giriş
m	ortalama
x	yerel
w	duvar

1. GİRİŞ

Manyetohidrokinematik (MHD), elektriksel olarak iletken akışkanların manyetik alan altındaki hareketiyle ilgilidir. Akış alanında elektromanyetik alan ve akışkan hareketi birbirini etkiler ve geleneksel akışlara kıyasla farklı mekanizmalar ortaya çıkar. Elektriksel olarak iletken akışkanın hareketi manyetik alan ile etkileşime girer ve akışa karşı direnç gösteren bir kuvvet (Lorentz kuvveti) meydana gelir. Manyetohidrokinematik akış; güneş ve birçok galaktik olayların incelenmesi, jeotermal rezervuarlar, petrol rezervuarları, MHD jeneratörleri, elektromanyetik pompalar, kan akış ölçerler, roket ve hipersonik aerodinamik aygıtlar için itme ve uçuş kontrolü, kesintisiz debi ölçümünü gerçekleştiren elektromanyetik akış ölçerler, füzyon reaktörlerinde besleme örtüleri, nükleer reaktörlerde soğutma uygulamaları, MHD motorları, elektromanyetik karıştırıcılar ve mikroeletromekanik sistemler (MEMS) gibi birçok uygulama alanında karşımıza çıkar [1]. Uygulama yelpazesinin oldukça geniş olması nedeniyle, manyetik alan etkisi altındaki elektriksel olarak iletken akışkanların akış ve ısı transferi birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir.

Literatürde MHD akış ve ısı transferinin incelendiği çalışmaların çok büyük bir kısmında akışkan olarak Newtonumsu akışkanlar dikkate alınmıştır. Bu çalışmalarda, bazı kanal geometrileri için farklı manyetik, hidrodinamik ve termal sınır koşulları altında geniş kapsamlı incelemeler yapılmıştır [2-6]. Karmaşık reolojileri nedeniyle Newtonumsu olmayan akışkanların MHD akış ve ısı geçişi üzerine olan çalışmalar nispeten daha azdır.

Tso vd. [7], iki paralel plaka arasındaki power-law akışkanın hem hidrodinamik hem de termal olarak tam gelişmiş laminer akış ve ısı transferini, viskoz yayılım etkisini de dikkate alarak analitik olarak

incelemişlerdir. Nusselt sayısı, Brinkman sayısı ve power law indeksine bağlı olarak elde edilmiştir. Artan Brinkman sayısına bağlı olarak Nusselt sayısının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Benzer diğer bir çalışma Etemad vd. [8] tarafından sayısal olarak yapılmış olup; farklı termal sınır koşulları için akışkan viskozitesi, sıcaklık, viskoz yayılım, power law indeksi ve Prandtl sayısına bağlı olarak cidar boyunca Nusselt sayısı değişimi elde edilmiştir. Avcı ve Aydın [9-10] düzlemsel bir kanal içinde power-law akışkanın laminer zorlanmış taşınımını hidrodinamik olarak tam gelişmiş termal olarak ise hem tam gelişmiş hem de gelişmekte olan durum için viskoz yayılım etkisini de analize dâhil ederek incelemiştir. Giriş bölgesinde, sabit ısı akısı (H1 sınır koşulu) ve sabit yüzey sıcaklığı (T sınır koşulu) termal sınır koşulları için power-law indeksi ve Brinkman sayısının gelişmekte olan sıcaklık dağılımı ve yerel Nusselt sayısı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Cotta vd. [11], sabit duvar sıcaklığı ısı sınır koşulu altında power-law akışkanın laminer zorlanmış taşınımına olan ısı transferini termal giriş bölgesi için hem dairesel kesitli kanal için hem de düzlemsel kanal için sayısal olarak incelenmiştir. Power-law indeksindeki artışın yerel ve ortalama Nusselt sayısını azalttığı, termal gelişme uzunluğunu ise kısalttığı belirlenmiştir. Dairesel ve düzlemsel kanallarda power-law akışı için benzer bir çalışma ise Jambal vd. [12] tarafından, sabit duvar sıcaklığı termal sınır koşulu altında viskoz yayılım etkisi ve eksenel iletim de analize dâhil edilerek yapılmıştır. Eksenel iletimin varlığında viskoz yayılımın yerel Nusselt sayısını etkilemesine karşın tam gelişmiş Nusselt sayısı üzerinde etkisi olmadığı gösterilmiştir. Barletta [13], dairesel bir kanalda viskoz yayılımın power-law akışkan akışı ve ısı geçişine etkisini analitik olarak incelemiştir. Nusselt sayısı ve sıcaklık dağılımının asimptotik değerleri, farklı ısı sınır şartları altında elde edilmiştir. Davaa vd [14], Couette- Poiseuille problemini, sabit ısı akısına maruz hareketli duvar ve adyabatik sabit duvar (Durum A) ile tam tersi (Durum B) olmak üzere iki farklı durum için incelemiştir. Farklı duvar hızları ve termal sınır şartları için power law indeksi, Brinkman ve Hartmann sayılarının hız ve sıcaklık profilleri ile Nusselt sayısı üzerindeki etkileri elde edilmiştir.

Coelho ve Poole [15], paralel plakalar arasında Newtonumsu olmayan akışkanın laminer tam gelişmiş Couette-Poiseuille akışındaki ısı transferini viskoz yayılım etkisi altında analitik olarak incelemişlerdir. Evcin ve Uğur [16], manyetik alan etkisi altında kare bir kanal içerisinde power-law akışkanın laminer zorlanmış taşınımını hidrodinamik ve termal olarak tam gelişmiş durumu için viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkilerini de analize dâhil ederek Galerkin sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile incelemişlerdir. Power-law indeksi, Brinkman sayısı ve Hartmann sayısının hız ve sıcaklık profillerinin yanı sıra Nusselt sayısı üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Kiyasatfar [17], paralel plakalı ve dairesel mikrokanallar içinde sabit termofiziksel özelliklere ve elektriksel iletkenliğe sahip power-law akışkanın hidrodinamik ve termal olarak tam gelişmiş akış ve ısı transferini analitik olarak incelemiştir. Viskoz yayılımdan kaynaklanan ısı üretimi de analize dahil edilmiştir. Kayma katsayısı, power-law indeksi ve Brinkman sayısı gibi parametrelerin akış, ısı transferi ve entropi üretimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Farhan ve Mazhar [18], üniform manyetik alan etkisi altındaki eş merkezli halka içinde sabit termofiziksel özelliklere ve elektriksel iletkenliğe sahip power-law akışkanın hidrodinamik ve termal olarak tam gelişmiş akışını sayısal olarak incelemiştir. Power-law indeksi ve Hartmann sayısının akış ve ısı transferine olan etkisi araştırılmıştır. Benzer bir çalışma, Ahmed vd. [19] tarafından yapılmış olup; manyetik alan etkisi altında bir halka içinde power-law akışkanın hidrodinamik ve termal olarak tam gelişmiş akışı, viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkileri analize dahil edilerek sonlu farklar yöntemiyle sayısal olarak incelenmiştir. Sabit ısı akısı termal sınır koşulu altında power-law indeksi, Brinkman sayısı ve Hartmann sayısının hız ve sıcaklık profilleri ile Nusselt sayısı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, düzlemsel kesitli bir kanalda power law akışkanın laminer akış ve ısı transferi teorik olarak incelenmiştir. Viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkileri de analize dâhil edilerek; çalışma parametrelerinin farklı değerleri için hız ve sıcaklık profilleri ile Nusselt sayısı değişimi elde edilmiştir.

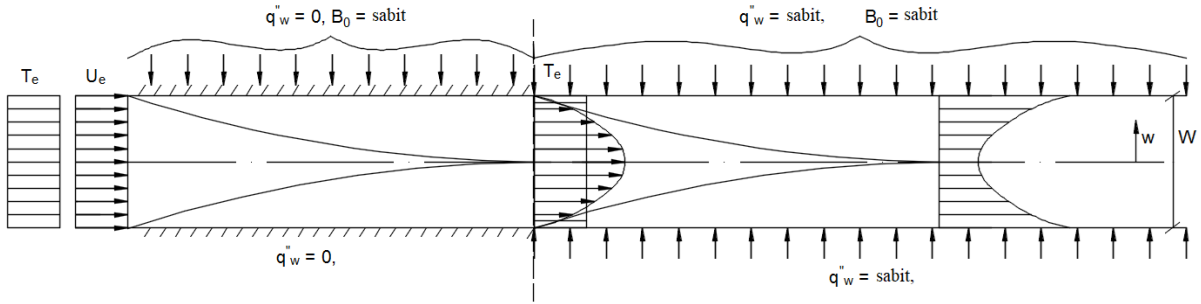
2. ANALİZ

Sabit ısı akısına maruz düzlemsel bir kanal içinde sıkıştırılmaz, sabit termofiziksel özelliklere ve elektriksel iletkenliğe sahip power law akışkanın, akışa dik olarak uygulanan üniform bir manyetik alan altındaki laminer akışı hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış durumu için sayısal olarak incelenmiştir. Problemin şematik temsili, Şekil 1'de verilmektedir.

Hidrodinamik olarak tam gelişmiş akış durumu için Kartezyen koordinatlarda manyetik alan etkisi altında momentum ve enerji denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) + \sigma B^2 (v \sin \phi \cos \phi - u \sin^2 \phi) \quad (1)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho C_p} \tau_{yx} \frac{du}{dy} + \frac{\sigma B^2}{\rho C_p} (u \sin \phi - v \cos \phi)^2 \quad (2)$$



Şekil 1. Düzlemsel bir kanalda MHD akışı ve ısı geçişi probleminin şematik gösterimi

Burada, ρ yoğunluğu, σ elektriksel iletkenliği ve B_0 ise manyetik alan yoğunluğunu sembolize etmektedir. Momentum denkleminin sağdan üçüncü terimi manyetik kuvveti ifade etmektedir. Enerji denkleminin ikinci ve üçüncü terimleri sırasıyla viskoz yayılım ve Joule ısıtma terimlerini ifade etmektedir.

Kanal cidarı sabit ısı akısına maruz bırakılmış olup; akışkan içerisindeki eksenel iletim ihmal edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \ll \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3)$$

Power-law tipi Ostwald-de Waele akışkanları için kayma gerilmesi ve şekil değiştirme ilişkisi şu şekilde verilmiştir.

$$\tau_{xy} = \eta \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|^{n-1} \frac{\partial u}{\partial y} \quad (4)$$

Burada, n power-law indeksini temsil etmekte olup, $n > 1$ için *dilatant*, $n < 1$ için *pseudoplastic* ve $n = 1$ için ise Newtonumsu akış durumlarını karakterize etmektedir.

Hidrodinamik açıdan tam gelişmiş laminar akış için aşağıdaki kabuller yapılabilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (5a)$$

$$v = 0 \quad (5b)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (5c)$$

Bu kabuller altında ve manyetik alan yönü akışa dik olacak şekilde ($\phi = 90^\circ$) tanımlandığında; (1) ve (2) numaralı momentum ve enerji denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibi yazılır:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n - \frac{\sigma B^2 u}{\rho} \quad (6)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\eta}{\rho C_p} \left(\frac{du}{dy} \right)^{n+1} + \frac{\sigma B^2 u^2}{\rho C_p} \quad (7)$$

Burada; ρ , C_p , k ve μ sırasıyla yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozitedir.

Bu problem için hidrodinamik sınır koşulları;

$$y = 0 \text{ 'da} \quad \frac{du}{dy} = 0 \quad \text{ve} \quad v = 0 \quad (8a)$$

$$y = W / 2 \text{ 'de} \quad u = 0 \quad \text{ve} \quad v = 0 \quad (8b)$$

olarak tanımlanır.

Boyutsuz değişkenler şu şekilde tanımlanmıştır:

$$X = \frac{x}{Re Pr W}, \quad Y = \frac{y}{W}, \quad U = \frac{u}{u_m}, \quad V = \frac{\nu Re Pr}{u_m}, \quad P = \frac{p - p_0}{\rho u_m^2} \quad (9)$$

Burada u_m , düzlemsel kanalın ortalama hızını, Re ise ortalama hıza ve kanal genişliğine bağlı Reynolds sayısını temsil eder. Kanalın genişliği W , $2w$ 'ye eşittir. Boyutsuz değişken X , Graetz sayısıdır.

Yukarıda tanımlanan boyutsuz değişkenler kullanılarak; (6) nolu momentum denklemi ve (8) nolu sınır koşulları aşağıdaki boyutsuz formu alır:

$$\frac{1}{Pr} \left(U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} \right) = -\frac{1}{Pr} \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right)^n - Ha^2 U \quad (10)$$

$$Y = 0 \text{ 'da} \quad V = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{dU}{dY} = 0 \quad (11a)$$

$$Y = 0.5 \text{ 'de} \quad U = 0 \quad \text{ve} \quad V = 0 \quad (11b)$$

Bu denklemdeki Ha , Hartmann sayısını sembolize etmekte olup; elektromanyetik kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranını temsil eder ve

$$Ha = \sqrt{\frac{\sigma B^2 u_m^{1-n} W^{n+1}}{\eta}} \quad (12)$$

şeklinde tanımlanır.

Reynolds sayısı ve Prandtl sayısı şu şekilde verilmiştir:

$$\text{Re} = \frac{\rho u_m^{2-n} W^n}{\eta}, \quad \text{Pr} = \frac{\eta C_p}{k} \left(\frac{u_m}{W} \right)^{n-1} \quad (13)$$

Her bir durum için, momentum denklemi, sonlu fark yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür.

Termal olarak gelişmekte olan durum için ısı sınır şartları;

$$x = 0 \text{ 'da} \quad T = T_e \quad (14a)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=w} = q_w \quad (14b)$$

olarak verilmektedir. Merkezdeki aksel simetri nedeniyle, $y = 0$ daki termal sınır şartı şu şekilde yazılabilir:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (15)$$

Aşağıda verilen boyutsuz sıcaklığın kullanımıyla

$$\theta = \frac{T - T_e}{\frac{q_w H}{k}} \quad (16)$$

enerji denklemi boyutsuz formda şu şekilde yazılabilir:

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + Br_q \left(\frac{dU}{dY} \right)^{n+1} + Br_q Ha^2 U^2 \quad (17)$$

Denklemdaki modifiye edilmiş Brinkman sayısı

$$Br_q = \frac{\eta u_m^{n+1}}{q_w W^n} \quad (18)$$

şeklinde tanımlanır. Boyutsuz formda enerji denklemlerinin çözümünde uygulanacak ısı sınır koşulları şu şekilde yazılabilir:

$$X = 0 \text{ 'da} \quad \theta = 0 \quad (19a)$$

$$Y = 0 \text{ 'da} \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right|_{Y=0} = 0 \quad (19b)$$

$$Y = 0.5 \text{ 'de} \quad \left. \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right|_{Y=0.5} = 1 \quad (19c)$$

Kanaldaki herhangi bir kesitteki boyutsuz yığın sıcaklığı şu şekilde yazılabilir:

$$\theta_b = \frac{T_b - T_e}{\frac{q_w'' H}{k}} = \frac{\int_0^{0.5} U \theta dY}{\int_0^{0.5} U dY} \quad (20)$$

Yerel Nusselt sayısı şu şekilde tanımlanabilir:

$$Nu_x = \frac{q_w'' H}{(T_w - T_b)k} = \left(\frac{T_w - T_b}{q_w'' H / k} \right)^{-1} = \left(\frac{T_w - T_e}{q_w'' H / k} - \frac{T_b - T_e}{q_w'' H / k} \right)^{-1} \quad (21)$$

Boyutsuz akışkan ve yığın sıcaklığı cinsinden yerel Nusselt sayısı şu şekilde yazılabilir:

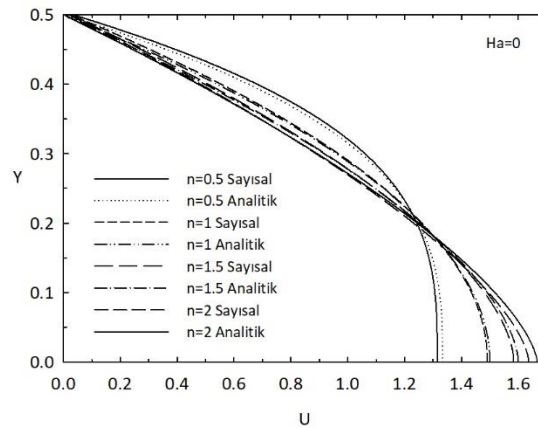
$$Nu_x = \frac{1}{\theta_w - \theta_b} \quad (22)$$

Her bir durum için, enerji denklemi, sonlu fark yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür.

3. BULGULAR

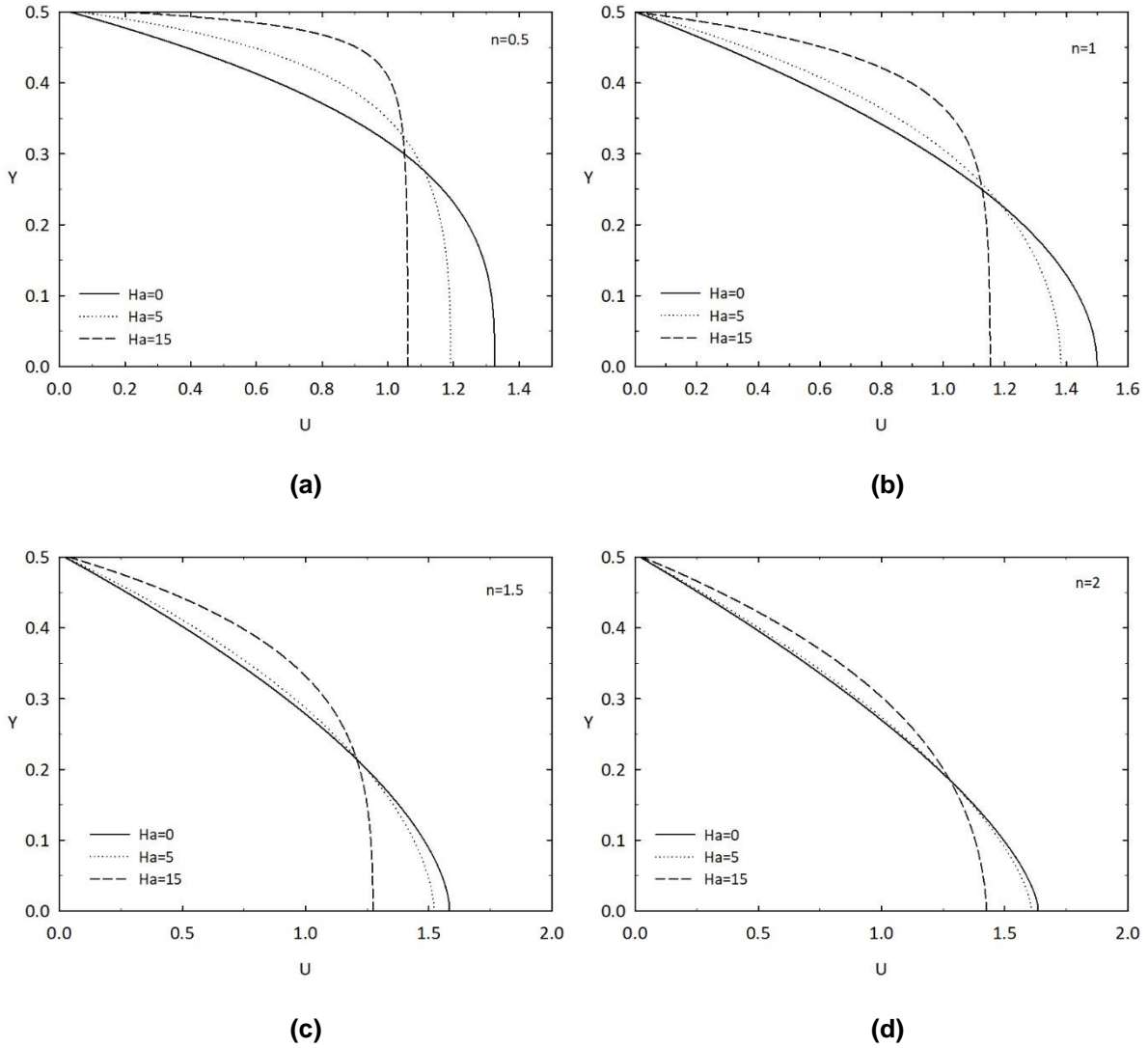
Düzlemsel bir kanalda, sabit termofiziksel özelliklere ve elektriksel iletkenliğe sahip power-law akışkanın, yerçekimi yönünde akışa dik olarak uygulanan manyetik alan altındaki laminer zorlanmış taşınımı, hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış durumu için viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkileri de dâhil edilerek analiz edilmiştir. Yapılan sayısal analizde, çözüm yöntemi olarak sonlu farklar yöntemi tercih edilmiştir. Akış bölgesinde, akışkan hareketi ile elektromanyetik alanın etkileşimi sonucu oluşan Lorentz kuvvetinin akış ve ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sabit ısı akısı termal sınır koşulu için power-law indeksi, Brinkman sayısı ve Hartmann sayısına bağlı olarak hız ve sıcaklık profilleri ile Nusselt sayısının aksel değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Şekil 2'de manyetik alan yokluğunda ($Ha=0$), farklı power-law indeksleri için tam gelişmiş boyutsuz hız profillerinin Avcı ve Aydın [9] tarafından analitik olarak elde edilen hız dağılımıyla karşılaştırılması grafiksel olarak verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere power-law indeksinin azalmasıyla merkeze yakın bölgelerde hız azalırken cidara yakın bölgelerde hız gradyanı artmaktadır. Power-law indeksinin değişmesiyle hız gradyanında meydana gelen bu değişim sıcaklık profillerini, diğer bir ifadeyle ısı transferini önemli ölçüde etkilemektedir.



Şekil 2. Manyetik alan yokluğunda power-law indeksinin boyutsuz hız profili üzerindeki etkisi ve analitik-sayısal değerlerin karşılaştırılması

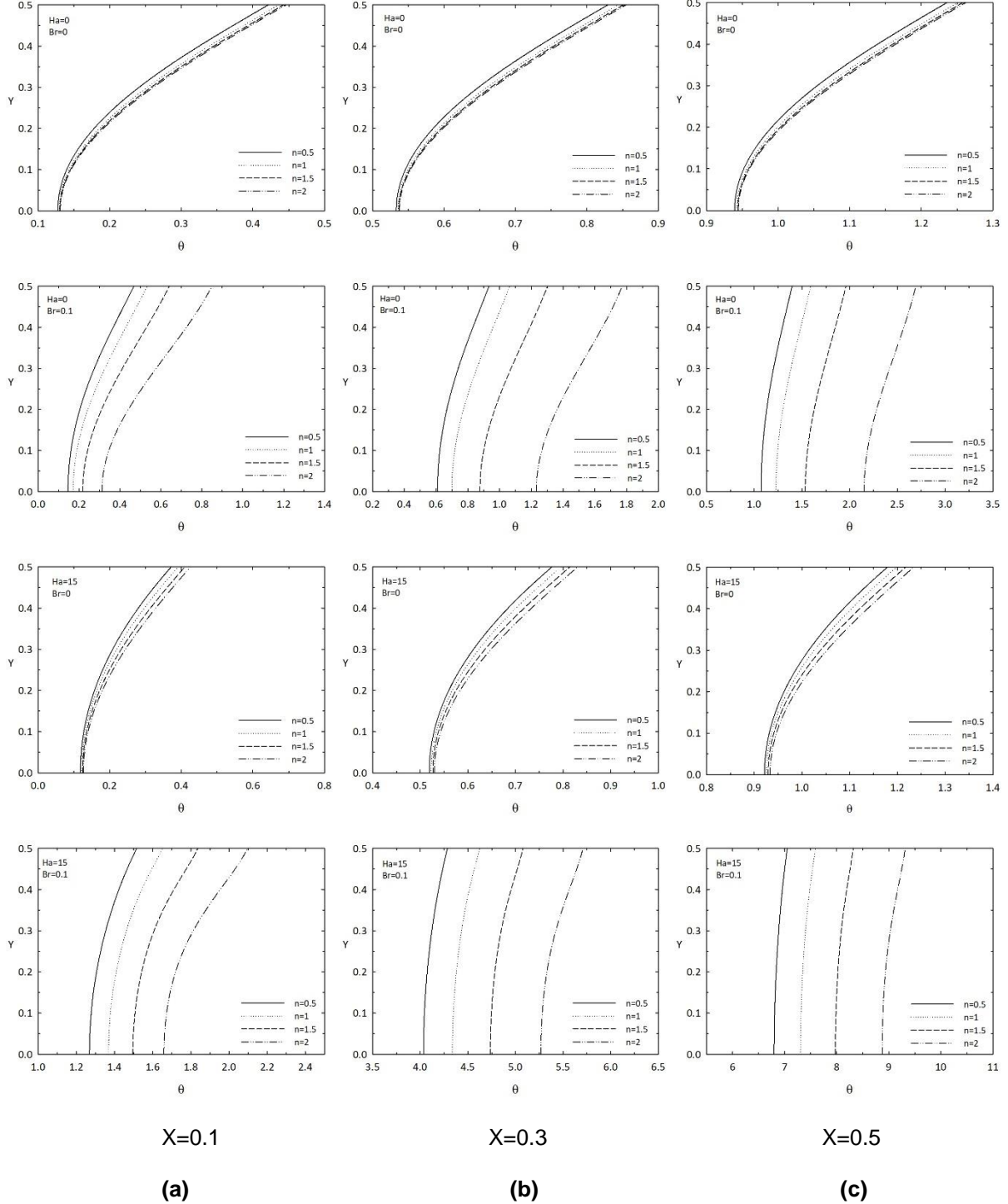
Akış alanı üzerine dışarıdan dik olarak üniform manyetik alanın uygulanmasıyla tam gelişmiş hız profillerinde meydana gelen değişim, farklı Hartmann sayıları için Şekil 3'de verilmektedir. Hidrodinamik olarak tam gelişmiş hız profili, ele alınan tüm power-law indeksleri için şekilden de görüldüğü üzere elektromanyetik kuvvetlerin etkisi altında değişim gösterir. Hartmann sayısının artmasıyla boyutsuz hız profilinin parabolik şekli değişmiş ve cidardaki hız gradyanları artarken; merkez etrafındaki hızın hemen hemen düzleştiği görülmüştür. Bunun nedeni, Lorentz kuvvetidir. Bu kuvvet, aksenal akışa karşı direnç oluşturur. Daha önce de ifade edildiği gibi power law indeksinin artmasıyla merkezdeki hız artarken cidara yakın bölgelerde hız gradyanı azalır.



Şekil 3. Farklı Ha sayıları ve power-law indekslerinin (n) tam gelişmiş boyutsuz hız profili üzerindeki etkisi

Termal olarak gelişmekte olan akış için bazı aksenal istasyonlardaki boyutsuz sıcaklık profilleri, Brinkman sayısı, Hartmann sayısı ve power-law indeksinin farklı değerleri için Şekil 4'te verilmiştir. Hartmann sayısının 0'dan 15'e artması (akışın manyetik alana maruz bırakılması) incelenen tüm istasyonlarda boyutsuz sıcaklık gradyanını azaltmıştır. Manyetik alan varlığında cidara yakın bölgelerde hız gradyanının artması daha yüksek ısı transfer katsayılarına yol verir. Beklenildiği gibi; boyutsuz sıcaklık, hem Brinkman sayısı hem de Hartmann sayısı birlikte arttıkça artar. Bunun nedeni, viskoz yayılım ve Joule ısıtma kaynaklı tersinmez enerji dönüşümü veya diğer bir deyişle hacimsel ısı üretimidir.

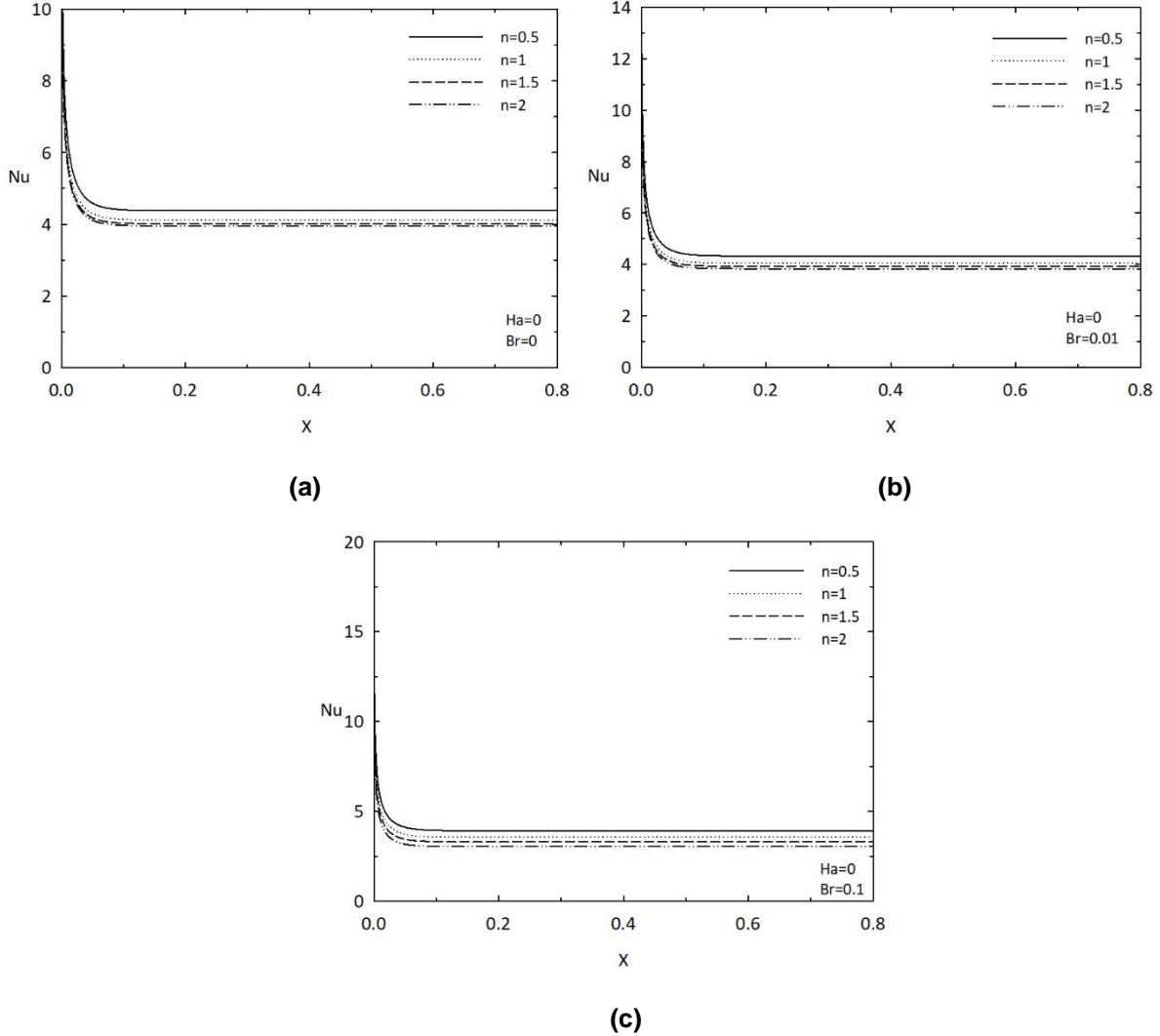
Yapılan çalışmada $n = 0,5, 1, 1,5$ ve 2 olmak üzere power-law indeksinin dört farklı değeri dikkate alınmıştır. Görüldüğü gibi, ele alınan tüm eksenel istasyonlarda power-law indeksindeki artışla boyutsuz sıcaklık gradyanı artmaktadır. Ayrıca Şekil 4'ten de görüldüğü üzere power-law indeksinin sıcaklık profilleri üzerinde oluşturduğu etki viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkisi altında (viskoz yayılım ve Joule ısıtma etkisinin olmadığı duruma kıyasla) daha belirgin olmaktadır.



Şekil 4. Farklı eksenel istasyonlardaki boyutsuz sıcaklık profilleri

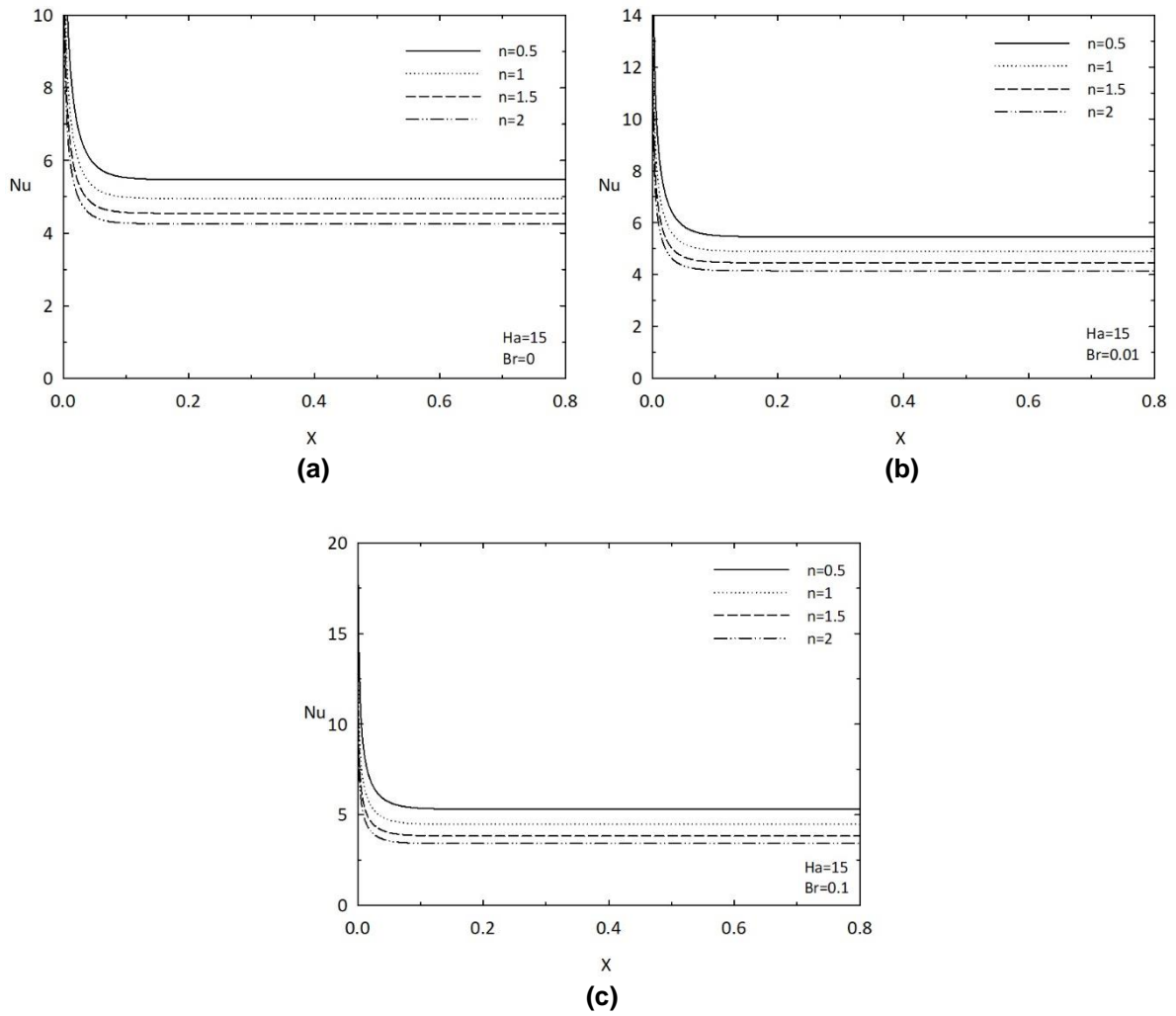
Manyetik alan etkisinin olmadığı durumda ($Ha=0$) boyutsuz sıcaklık profillerinden elde edilen Nusselt sayılarının kanal boyunca gelişimleri, Brinkman sayısı ve power-law indeksinin farklı değerleri için

Şekil 5'te verilmektedir. Manyetik alan etkisinin olmadığı durum ($Ha=0$) için elde edilen Nu değerleri, Avcı ve Aydın [9] tarafından verilen analitik değerler ile aynıdır. Bu durum uygulanan sayısal yöntemin doğruluğunu destekler. $Br = 0$ için Nu , $n > 1$ için artan n ile azalırken, $n < 1$ için azalan n ile artar. Şekil 5a'da $Br = 0$ için Nu , verilen her n için tam gelişmiş değerine hızlıca ulaşmaktadır. Viskoz yayılım ve Joule etkisi dâhil olduğunda ise, cidar ve yığın akışkan arasındaki sıcaklık farklarının artması sonucu her n için Nu sayısı azalmaktadır (Şekil 5b, c). $n < 1$ için ısı transferi artarken $n > 1$ için azalmaktadır.



Şekil 5. Manyetik alan etkisi yokken yerel Nusselt sayısının, Brinkman sayısı ve power-law indeksine göre değişimi

Manyetik alan etkisi altında yerel Nusselt sayısının, Brinkman sayısı ve power-law indeksine göre değişimi Şekil 6'da verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere Brinkman ve power-law indekslerinin yerel Nusselt sayısı üzerindeki etkisi manyetik alan uygulanmadığı duruma benzerlik göstermektedir. Power-law indeksinin ısı transferi üzerindeki etkisi ise manyetik alan varlığında belirginleştiği ifade edilmelidir. Ayrıca, akışa manyetik alan uygulanmasıyla yerel Nusselt sayısı tam gelişmiş değerine daha geç ulaşmakta ve kanal boyunca daha yüksek ısı transfer katsayıları elde edilmektedir. İncelenen tüm durumlar için Nusselt sayısının tam gelişmiş değerleri Tablo 1'de özetlenmektedir.



Şekil 6. Manyetik alan etkisi altında yerel Nusselt sayısının, Brinkman sayısı ve power-law indeksine göre değişimi

Tablo 1. Brinkman sayısının 0, 0.01 ve 0.1 değerleri ve $n=0.5$, 1, 1.5, ve 2 değerleri için, Hartmann sayısının 0 ve 15 değerlerindeki Nusselt sayısının değişimi

Nu				
Br=0	n=0.5	n=1	n=1.5	n=2
Ha=0	4.379698	4.118926	4.010861	3.951645
Ha=15	5.472962	4.951748	4.542953	4.255568

Nu				
Br=0.01	n=0.5	n=1	n=1.5	n=2
Ha=0	4.327482	4.053814	3.924746	3.834929
Ha=15	5.455744	4.898377	4.460282	4.152583

Nu				
$Br=0.1$	$n=0.5$	$n=1$	$n=1.5$	$n=2$
$Ha=0$	3.914471	3.554633	3.291513	3.02959
$Ha=15$	5.305523	4.46523	3.832588	3.4099

4. SONUÇLAR

Sunulan bu çalışmada, düzlemsel kanaldaki hidrodinamik olarak gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan ve elektriksel iletkenliğe sahip power-law akışkanın manyetik alan etkisi altındaki ısı transferi, sabit ısı akısı ısı sınır koşulu için sayısal olarak incelenmiştir. Yapılan analizde ısı üretim terimleri (Joule ısıtma ve viskoz yayılım) hesaplamalara dâhil edilmiş ve ilgili parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkisi, power-law indeksinin farklı değerleri için tartışılmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Power-law indeksinin değişmesi ile tam gelişmiş hız profillerini değiştirmektedir. Power-law indeksinin azalmasıyla ($n=2$ 'den $0,5$ e) cidara yakın bölgelerde hız gradyanı artmakta ve bu da ısı transferini artırmaktadır.
- Akış alanına dik manyetik alan uygulanması sonucunda oluşan ve akışa karşı direnç oluşturan Lorentz kuvveti ele alınan tüm power-law indeksleri için hız profillerini değiştirmektedir. Artan manyetik alan şiddetiyle birlikte ($Ha=0$ 'dan 15 e) sıcaklık gradyanı azalmakta ve dolayısıyla ısı transferi artmaktadır.
- Isı üretiminin (viskoz yayılım ve Joule ısıtma) hesaplamalarda dikkate alınması ısı transferini önemli ölçüde etkilemektedir. Akışkan içerisinde meydana gelen ısı üretimi sonucu akışkan yığın sıcaklığı artmakta ve bunun sonucu olarak sıcaklık gradyanı artarak; yerel Nusselt sayıları düşmektedir.
- Isı üretiminin olmadığı durumda; Nu , $n > 1$ için artan n ile azalırken, $n < 1$ için azalan n ile artar. $Br = 0$ için Nu , verilen her n için tam gelişmiş değerine hızlıca ulaşmaktadır. Isı üretiminin (viskoz yayılım ve Joule ısıtma) hesaplamalarda dikkate alınması durumunda ise, cidar ve yığın akışkan arasındaki sıcaklık farkının artması sonucu her n için Nu sayısı azalmaktadır. $n < 1$ için ısı transferi artarken $n > 1$ için azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] DAVIDSON, P.A., An Introduction to Magnetohydrodynamics, Cambridge University Press, USA, 2001.
- [2] ATTIA, H.A., On the Effectiveness of Variation in the Physical Variables on the Steady MHD Flow Between Parallel Plates with Heat Transfer, Int. J. Numer. Methods Eng., 65, 2, 224-235, 2006.
- [3] LIMA, J. A., QUARESMA, J. N. N., MACÊDO, E. N., Integral Transform Analysis of MHD Flow and Heat Transfer in Parallel-Plates Channels, Int. Commun. Heat Mass Transfer, 34, 420–431, 2007.
- [4] MAO, J., ALEKSANDROVA, S., MOLOKOV, S., Joule Heating in Magnetohydrodynamic Flows in Channels with Thin Conducting Walls, Int. J. Heat Mass Transfer, 51, 4392–4399, 2008.
- [5] LAHJOMRI, J., ZNIBER, K., OUBARRA, A., ALEMANY A., Heat Transfer by Laminar Hartmann's Flow in Thermal Entrance Region with Uniform Wall Heat Flux: the Graetz Problem Extended, Energy Convers. Manag., 44, 11-34, 2013.
- [6] KIYASATFAR, M., POURMAHMOUD, N., Laminar MHD Flow and Heat Transfer of Power-Law Fluids in Square Microchannels, Int. J. Therm. Sci., 99, 26-35, 2016.



- [7] TSO, C.P., SHEELA-FRANCISCA, J., HUNG, Y.M., “Viscous Dissipation Effects of Power-Law Fluid Flow Within Parallel Plates with Constant Heat Fluxes”, *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 165 625–630, 2010.
- [8] ETEMAD, S. G., MUJUMDAR, A. S., HUANG, B., Viscous Dissipation Effects in Entrance Region Heat Transfer for a Power Law Fluid Flowing Between Parallel Plates, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 15 2, 1994.
- [9] AVCI, M., AYDIN, O., Forced Convection Flow of Viscous Dissipative Power-Law Fluids in a Plane Duct Part 1. Hydrodynamically and Thermally Fully Developed Flow, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 2, 9-16, 2008.
- [10] AVCI, M., AYDIN, O., Forced Convection Flow of Viscous Dissipative Power-Law Fluids in a Plane Duct Part 2. Thermally Developing Flow, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 28, 2, 17-24, 2008.
- [11] COTTA, R. M., ÖZİŞİK, M. N., RALEIGH, Laminar Forced Convection of Power-Law Non-Newtonian Fluids Inside Ducts, *Warme-und Stoffübertragung*, 20, 211-218, 1986.
- [12] JAMBAL, O., SHIGECHI, T., DAVAA, G., MOMOKI, S., Effects of Viscous Dissipation and Fluid Axial Heat Conduction on Heat Transfer for Non-Newtonian Fluids in Ducts with Uniform Wall Temperature Part I: Parallel Plates and Circular Ducts, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32, 1165–1173, 2005.
- [13] BARLETTA, A., Fully Developed Laminar Forced Convection in Circular Ducts for Power-Law Fluids with Viscous Dissipation *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40, 15-26, 1997.
- [14] DAVAA, G., SHIGECHI, T., MOMOKI, S., Effect of Viscous Dissipation on Fully Developed Heat Transfer of Non-Newtonian Fluids in Plane Laminar Poiseuille-Couette Flow, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 31, 663-672, 2004.
- [15] COELHO, P.M., POOLE, R.J., Heat Transfer of Power-Law Fluids in Plane Couette–Poiseuille Flows with Viscous Dissipation, *Heat Transfer Engineering*, 41 13 1189–1207, 2020.
- [16] EVCİN, C., UĞUR, Ö., Sezgin, M.T., Controlling the Power-Law Fluid Flow and Heat Transfer Under the External Magnetic Field Using the Flow Index and the Hartmann Number, *International Journal of Computational Methods*, 1850143-1, 2018.
- [17] KIYASATFAR, M., Convective heat transfer and entropy generation analysis of non-Newtonian power-law fluid flows in parallel-plate and circular microchannels under slip boundary conditions, *International Journal of Thermal Sciences*, 128 15-27, 2018.
- [18] FARHAN, A., MAZHAR I., Heat Transfer Analysis of MHD Power Law Nano Fluid Flow through Annular Sector Duct, *Journal of Thermal Science*, 1003-2169 01-0169-13, 2020.
- [19] AHMED, F., IQBAL, M., AKBAR, N.S., Viscous dissipation and joule heating effects on forced convection power law fluid flow through annular duct, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 0(0) 1–8, 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Esra YAĞCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Isı transferi, Akışkanlar Mekaniği, Manyetohidrodinamik alanlarında çalışmalar yapmaktadır.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Araştırma ilgisi, mikro-elektro-mekanik sistemlerde akış fiziği, elektronik soğutma ve enerji depolama gibi konuları kapsamaktadır.

Tülin BALI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesidir. Hesaplamalı ısı transferi, ısı geçişinin iyileştirilmesi, kojenerasyon ve yenilenebilir enerjili hibrit sistemler konularında çalışmalar yapmaktadır.

SERPANTİN TİPİ BİR ISI DEĞİŞTİRİCİNİN ISIL PERFORMANSININ ANALİTİK, SAYISAL ve DENEYSEL İNCELENMESİ

Analysis of Thermal Performance of a Serpentine Type Heat Exchanger by Analytically, Numerically and Experimentally

Hamdi Selçuk Çelik
Bahadır Doğan
L. Berrin Erbay

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, serpantin tipi kanatsız borulu bir ısı değiştiricinin performansı, analitik, sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Kanatsız borulu serpantin, kanatlı tiplerle ısı performansın artırılması çalışmalarının temelini teşkil eden bir referans olması nedeniyle, dikkatle çalışılması gerekmektedir. Özellikle ısıtma-havalandırma uygulamalarında dar kanallarda ısı performansın yüksek olması büyük önem taşıdığından, kanatların etkisinin ortaya konulabilmesi için öncelikle, dar kanal içindeki akış şartlarında, kanatsız borulu serpantin ele alınmıştır. Tasarım, ısı değiştirici üretim metodları, bağlantı elemanları ve konstrüksiyonunun geniş sektörlerde kullanıma uygun malzeme seçimi araştırılarak, ısı değiştiriciye ait serpantin boruların iç yüzeyinden geçen suyun, boru dış yüzeyinden geçen havanın ile $Re=1250-6000$ arasında soğutulması dikkate alınarak yapılmaktadır. Isı değiştiriciye ait ısı transfer performans analizi ilk olarak, analitik analiz yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, 3 boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği metoduyla akışkanların sisteme tanımlanması ve Fluent yazılımı watertight geometri hücreleme metodu kullanılarak, hücre sayısından bağımsız olacak şekilde, analiz edilmiş ve sonuçlar kıyaslanarak sayısal analiz metoduna girdi sağlanmıştır. Sayısal analiz sonuçları, aynı senaryo ve ısı değiştirici modeli üzerinden deneysel analiz yöntemiyle de analiz edilerek, elde edilen tüm analiz çıktıları kıyaslanmıştır. Deneysel analizler Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yer alan, dar kanal içinde akışı simüle eden, hava tüneli deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, kullanılan sayısal analiz metodu ile analitik ve deneysel analiz ısı transfer performansı sonuçları arasında sırasıyla maksimum %7 ve %4 farklılığın olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede, dar kanallarda serpantin tipi ısı değiştiricinin incelenmesi, kanatlı ve daha kompleks geometrili ısı değiştiricilerin optimum tasarımı sürecinde, sistemin ısı performansına etkilerinin anlaşılabilmesi açısından referans niteliği taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isı değiştirici, ısı transfer performansı, sayısal analiz

ABSTRACT

In this study, the heat transfer performance of an unfinned serpentine heat exchanger is investigated with analytically, numerically and experimentally. The unfinned serpentine heat exchanger is required careful study due to the being the main reference to involve fins in the heat exchanger in purpose of enhancement of heat performance. The serpentine unfinned heat exchanger is analyzed in order to explore affection of fin involvement in the narrow channel flow conditions which the high heat performance is desired, is particularly used in HVAC systems. The design and manufacturing methods of heat exchanger and designation of all components, fitting parts and materials of the heat exchanger is researched and managed concerning the utilization of wide variety of sectors. While the water is circulating in the inlet surface of serpentine pipe, the air is flown on the outer surface of the heat exchanger and The Reynolds number is ranging from 1250-6000 for the air which cools the water

inside of the heat exchanger. The heat transfer performance of the exchanger is calculated firstly via analytical methods. Accordingly; 3D numerical analysis is performed in terms of Computational Fluid Dynamics (CFD) method with Fluent commercial software. The independency is provided during the mesh quantity definition with watertight geometry between whole solutions. Based on the numerical analysis results, experimental analyses are performed and compared with all outputs. All experimental analysis activities are handled via Air Tunnel which simulates flow in narrow channel, is located in Mechanical Engineering Laboratory of Eskişehir Osmangazi University. Consequently, the difference of heat transfer performance is provided as about max. 7% and 4% between, numerical analysis method versus analytical and experimental analyses. By this way, during the designation phase of more complex heat exchangers especially for narrow channel flows, the serpentine typed unfinned heat exchanger analysis results shall be used as reference model in order to have higher accuracy results and this study is indicated to use reference model for this verification prior to complex parametric heat exchanger numerical solutions.

Key Words: Heat exchangers, heat transfer performance, numerical analysis

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun giderek artması ve gelişen teknoloji imkânları, enerji kullanımını günden güne artırmaktadır. Dünyanın sahip olduğu birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve enerji kullanan mevcut sistemlerinin veriminin artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda ısı değiştiricilerde optimum basınç kaybıyla ısı transfer performansı arttıkça sistemin verimliliği o doğrultuda artarak enerji kaynaklarının doğru kullanımını desteklemektedir.

Teknolojik gelişmeler bir yandan enerji tasarrufunu kaçınılmaz yaparken bir yandan da insanlığın yaşamını kolaylaştırıcı etkisi olan çeşitli ürünlerin de kullanımına neden olmaktadır. Bu nedenle dünyada giderek enerji tüketimi artmaktadır. Isıtma- soğutma sistemleri insanlığa sürekli hizmet eden, özellikle enerji ihtiyacı konusunda büyük öneme sahip olan kavramlardır. Bu uygulamalarda sistemleri meydana getiren en önemli elemanlardan biri de ısı değiştiricileridir. Bu nedenle ısı değiştiricilerinin optimize edilmiş tasarımı ve verimliliği, kullanıldıkları sistemlerin verimini doğrudan etkilemesinden dolayı büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda literatürde benzer çalışmalar geniş yer tutmaktadır.

Çelik ve Erbay; (2021) gerçekleştirdikleri çalışmada, literatürde yapılan çalışmaları kapsayan ve ısı değiştiricilerde, ısı performansını arttırmak amacıyla kullanılan çıkıntı tip kanat yapısı boyunca tercih edilen türbülatorlerin ısı transfer performansı ve basınç düşümüne olan etkilerini incelemişlerdir. Kanat geometrisi ile türbülator formuna bağlı açı, hatve kombinasyonlarının performansa olan etkileri, çalışma çıktısı olarak; oluşturulan katı ve kanatçık tipi türbülatorlerin performans parametrelerini içeren tablolar oluşturulmuştur. Özellikle delikli formlu yüzeylerin ısı transfer performansını arttırırken, basınç kaybını azalttığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, ısı değiştiricilerin çalışacağı koşul ve akış karakteristiklerine bağlı olarak tasarım parametrelerinin belirlenmesinin önemi vurgulanmıştır [1].

Çelik vd.; (2019) gerçekleştirdikleri çalışmada şofbende kullanılan bir ısı değiştiricinin boru iç yüzeylerine özel tasarlanmış olan türbülator geometrisinin ısı transfer performansına olan etkilerini analitik ve sayısal analiz yöntemiyle analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, sayısal analiz çalışmalarının başlatılmadan önce en sade geometrinin ilk aşamada mümkün olduğunca analitik analizlerle doğrulanmasının, parametrik denemeler öncesinde doğru sonuçlara ulaşılması için büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, özel bir çalışma yapılması ile programa tanımlanan hücre sayısı belirlenirken sonuçların istikrarlı olup olmadığının kontrolü, doğru sonuç alma ve çözüm zamanının minimize edilmesi açısından gerekli olduğu anlaşılmıştır [2].

Argyropoulos ve Markatos; (2015) gerçekleştirdikleri çalışmada, sayısal analiz modellemede kullanılan çözüm yöntemleri üzerine araştırma yapmışlardır. Özellikle literatürde ısı değiştirici sistemlerin nümerik çözümlenmesinde kullanılması tercih edilen, $k-\epsilon$ ve $k-\omega$ çözüm modelleri kıyaslaması uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, $k-\omega$ çözüm yönteminin diğer türbülans

modellerine göre karmaşık ısı değiştirici geometrilerinde, sınır tabaka ve basınç gradyeni, serbest kayma ve ayrılan akışlarda kesinliği daha yüksek olan sonuçlar verdiği sonucu vurgulanmıştır [3].

Li vd.; (2018) gerçekleştirdikleri çalışma da, 1,5-7,5 m/s hava hızında aynı konstrüksiyonlu ve eş ısı transfer yüze alanına sahip iki farklı tip kanat yapısında (dalgalı ve delta kanatçıklı) sayısal ve deneysel analizler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, delta kanatçıklı konfigürasyona ait ısı transfer performansının dalgalı kanatçıklı olan senaryodan aynı şartlar altında yaklaşık %20 daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Sayısal analiz çalışmaları deneysel analizle doğrulanmış ve 10 ve 12 kanatlı olan ısı değiştirici konfigürasyonları için Nusselt sayısı için Reynolds sayısına bağlı korelasyonlar türetilmiştir [4].

Song vd.; (2017) tarafından gerçekleştirilen deneysel analiz çalışma kapsamında, kanatlı borulu bir ısı değiştiricide, 3 farklı fin aralığı, 2 farklı boru aralığı ve 2 farklı yüksekliklerde delta kanatçık senaryoları olmak üzere, toplamda 15 farklı senaryo Reynolds sayısının 500-3000 olduğu aralıkta kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, kanatçıkların boruya yaklaştığı senaryo düşük Reynolds sayısında avantajlı olduğu görülmüştür. Kanatçığın büyütülmesi yüksek Reynolds sayısında avantaj sağlarken, fin aralığının 2,3 mm olduğu senaryoda boru aralığının azaltılmasının Colburn factor üzerinde olumlu etkisi olduğu anlaşılmıştır [5].

Moon ve Lau (2003) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada dikdörtgen hava tüneli içinde engelli çıkıntı tip türbülatorlerin ısı transfer performansı ve basınç kaybına olan etkilerini araştırmak için testler gerçekleştirmişlerdir. Reynolds sayısının 10000-30000 aralığında olduğu koşullarda, çıkıntı tip kanatların üzerinde 9 farklı delik dizilim formunda ısı transfer artışı türbülatorsüz hava tüneline göre 4,6 ila 8,1 kat artış göstermektedir. Isı transfer performansındaki artış düşük Reynolds sayısında daha yüksek oranda ölçülmüştür. Ayrıca, türbülatorler üzerinde yer alan deliklerin çapları azaldıkça ısı transfer performansı artış gösterirken, basınç kaybı da azalmaktadır. Büyük çaplı delik kullanımının akış için daha yüksek pompa gücü gerektirdiği ve yerel ısı transfer dağılımının delik dağılım konfigürasyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır [6].

Bu çalışmanın amacı, dar kanal içindeki akışlarda tercih edilen serpantin tipi ısı değiştiricilerde ısı transfer performansının artırılması amacıyla kullanılan kanatlı ısı değiştiricilerin temelini teşkil etmek amacıyla kanatsız serpantin tip bir ısı değiştiricinin ısı performansının analitik, sayısal ve deneysel analiz yöntemiyle incelenerek, sonuçların bu konudaki araştırmacılara referans niteliğinde sunulmasıdır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

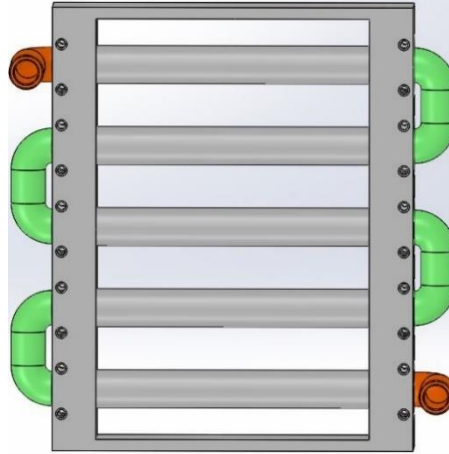
Bu bölümde; analitik, sayısal ve deneysel analiz yöntemiyle ısı transfer performansı analiz edilecek olan serpantin tip ısı değiştiriciye ait özellikler verilmiştir. Seçilen ısı değiştirici geometrisinin kanatsız olma sebebi, sisteme kanat eklenmesi sonucunda oluşturulması düşünülen farklı senaryolar öncesinde, kanatsız ısı değiştiriciye ait sonuçların referans niteliğinde kullanılmasıdır.

Isı değiştirici geometrisi belirlenirken, birçok sektörde kullanılabilir olması amacıyla üretilebilirlik, maliyet ve kullanım ömrü koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Tasarlanan serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici sayesinde ısı değiştiriciye ait bağlantı detayları ve kullanılan sızdırmazlık elemanlarının da dar kanallarda akışı temsil eden üniversite deney düzeneğine uygunluğu, fiziksel olarak doğrulanmış olacaktır.

Şekil 1'de referans model olan serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici geometrisi gösterilmiştir. Isı değiştirici gövdesi ve serpantin boruların malzemesi talaşlı imalat uygunluğu, maliyet ve ısı iletim katsayısı göz önünde bulundurularak Alüminyum 5083 sınıfı malzeme olarak seçilmiştir. Isı değiştirici borusu içinde suyun yöneliminin ayarlanması amacıyla, dirsekler ve borular kullanılmıştır. Bu elemanların malzemesi ısı değiştiricinin geniş kullanım şartları düşünülerek geniş çalışma sıcaklık

aralığına sahip ve katmanlı imalat metoduyla imal edilebilen, ısı transfer katsayısı çok düşük ve ekonomik termoplastik olan Polyamid 12 (PA12) malzeme seçilmiştir. Dirsek ve borularda sızdırmazlık elemanı olarak EPDM malzemeden üretilmiş o-ringler kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Sızdırmazlık hesaplamaları su akışkanı için 3 bar sürekli çalışma basıncına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Serpantin tip boruların içerisinde sıcak akışkan olarak su geçerken dış yüzeyinden ise soğuk akışkan olarak farklı hızlarda havanın geçtiği dikkate alınmıştır. Tablo 1’de ısı değiştiricide kullanılan akışkanların termofiziksel özellikler verilmiştir.



Şekil 1. Serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici

Tablo 1. Isı değiştiricide kullanılan akışkanların termofiziksel özellikleri [9]

Özellikler	Sıcak Akışkan H ₂ O (sıvı)	Soğuk Akışkan Hava (gaz)
T _g (°C)	45	23
V (m/s)	0,2546	1,2 – 5,7
ρ (kg/m ³)	991,05	1,17
c _p (kcal/kg°C)	4,181	1,0068
k _f (W/m°K)	0,638	0,026
M (kg/ms)	0,599	0,0001813
ϑ (m ² /s)	0,0000006	0,00001516
Pr	3,9	0,709

Aşağıda, Tablo 2’de ısı değiştiriciye ait tasarım parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Serpantin tipi ısı değiştiriciye ait tasarım parametreleri

Tasarım Parametresi Sembolü - Adı	Boyut (mm)
D _i - Boru iç çapı (m)	0,01
A _i - Boru iç kesit alanı (m ²)	0,000079
D _d - Boru dış çapı (m)	0,016
A _d - Boru dış kesit alanı (m ²)	0,000201
\dot{m}_s (kg/s) - Su debisi	0,02
T _{s,g} (°C) – Suyun ısı değiştirici giriş sıcaklığı	45
L - Boru uzunluğu (m)	0,575
A _{td} -Toplam boru dış yüzey alanı (m ²)	0,069
A _{ti} -Toplam boru iç yüzey alanı (m ²)	0,018
k _b - Boru ısı iletim katsayısı (W/mK)	121

2.2 Yöntem

Serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici analitik, sayısal ve deneysel analiz yöntemleri ile analiz edilmiştir.

2.2.1. Serpantin Tipi Kanatsız Isı Değiştiricinin Analitik Analizi

Serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici modelinde analitik analiz ve hesaplamalarda kullanılacak olan tasarım parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda ısı değiştiricide dolaşan su ve havaya giriş sıcaklıkları, hız aralıkları ve boyutsal parametreler verilmiştir. Hava hızı aralığı ve suyun kütleli debisi belirlenmiştir. Tüm parametreler kullanılarak analitik yöntemle ısı değiştiriciye ait iç ve dış akış hesaplamaları yapılmıştır.

Analitik analizlerde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

- Sürekli rejim koşulları dikkate alınmıştır.
- Isı değiştiriciye ait dirsek yüzeyleri yalıtkan PA12 malzeme seçildiği için adyabatik olarak kabul edilmiştir
- Hesaplamalarda ışınlama olan ısı transferi ihmal edilmiştir.

Serpantin tipi ısı değiştiriciye ait boru içindeki iç akış aşağıdaki Denklem 1, 2 ve 3 kullanılarak analiz edilmiştir. Akış tipi Reynolds sayısı ile belirlenmektedir.

$$Re = \frac{VD_i}{\nu} \quad (1)$$

$Re > 2300$ olduğunda iç akış türbülanslıdır. Bu durumda aşağıdaki eşitlik kullanılarak Nusselt sayısı bulunmuştur [10].

$$Nu = 0,023Re^{0.8}Pr^n \quad (2)$$

Denklem 2'de n katsayısı boru içerisinden akışta akışkan ısıyorsa 0,4 soğuyorsa 0.3 olarak alınır. Isı değiştirici de su akışkanı soğuduğu için $n=0,3$ olarak alınmıştır. Nusselt sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{h_i D_i}{k_f} \quad (3)$$

Denklem 3 kullanılarak, ısı değiştirici içinde dolaşan suyun boru içindeki ısı transfer taşınım katsayısı (h_i) hesaplanmıştır. D_i ısı değiştirici borusuna ait iç çap ölçüsüdür.

Dar kanalda konumlandırıldığı düşünülen serpantin tip ısı değiştiricinin boruları dışından belli hız aralığında geçen hava akışkanına ait olan Reynolds sayısı, Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{VD_d}{\nu} \quad (4)$$

Denklem 4'ün sonucunda dış akış şartlarında eğer Reynolds sayısı $Re > 5 \times 10^5$ ise akış türbülanslıdır, küçük ise akış laminardır [10]. Hava hızı 1,2 ila 5,7 m/s olduğunda hava tüneli içinde $Re = 1250 - 6000$ aralığına denk gelmektedir. Analitik hesaplamalar bu hız aralığı için gerçekleştirilmiştir.

$$Nu = \frac{h_d D_d}{k_f} \quad (5)$$

Denklem 5'de Nusselt sayısı (Nu) akış tipine göre uygun olan eşitlikten bulunarak dış akış taşınım katsayısı h_d bulunabilir. D_d ısı değiştirici borusuna ait dış çaptır.

$$Pr = \frac{c_p M}{k_f} \quad (6)$$

Denklemler 6'da verilen Prandtl sayısı olmak üzere dış akış koşullarına uygun Nusselt korelasyonu aşağıda verilmiştir [10].

$$Nu_D = C Re_D^m Pr^{1/3} \quad (7)$$

Akışın laminar veya türbülanslı olmasına göre Denklem 7'de verilen dairesel silindir üzerinden akış için yerel Nusselt sayısının Nu_D 'nin bulunması için Hilbert ampirik bağıntısı kullanılmaktadır. Bu denklemde C boyutsuz direnç katsayısı 0,193 ve $m=0,618$ olmak üzere Reynolds sayısı 4000-40000 için Tablo 3'den seçilmiştir [10].

Tablo 3. Dairesel silindir üzerinden akış için sabitler [10].

Re_D	C	m
0,4 - 4	0,989	0,330
40 - 40	0,911	0,385
40 - 4000	0,683	0,466
4000 - 40000	0,193	0,618
40000 - 400000	0,027	0,805

Silindirik boru yüzeyli ısı değiştiricide yapılan hesaplamalardan hareketle toplam ısı transfer katsayısı aşağıda verilen denklemlerle hesaplanabilir. Denklem 8 ve 9'da verilen R_f borunun kirlilik direncidir. [7]

Silindir iç yüzeyine göre;

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + R_f + \frac{\ln(r_d/r_i)}{2\pi Lk} A_i + \frac{1}{h_d} \frac{A_i}{A_d} \quad (8)$$

Silindir dış yüzeyine göre;

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_i} \frac{A_d}{A_i} + R_f + \frac{\ln(r_d/r_i)}{2\pi Lk} A_d + \frac{1}{h_d} \quad (9)$$

$$Q = UA\Delta T_m \quad (10)$$

Serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici için ısı transfer hızı Denklem 9 ve 10 kullanılarak hesaplanmıştır.

2.2.2. Serpantin Tipi Kanatsız Isı Değiştiricinin Sayısal Analizi

Sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi, üç boyutlu olan ısı değiştirici geometrisine ait; kütle korunumu, momentum ve enerji korunumu denklemlerinin çözülmesinde kullanılan metottur. Isı değiştirici, sabit bir kontrol hacmi olarak değerlendirildiğinde, giren ve çıkan akışkan kütlelerin kontrol hacmindeki zamanla değişimi süreklilik denklemini verir. Diferansiyel formda üç boyutlu olarak süreklilik denklemi aşağıda Denklem 11'de verilmiştir [11].

$$\nabla(\rho\vec{V}) + \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0 \quad (11)$$

Momentumun korunumu ilkesi ise Newton'un ikinci yasasına dayanmaktadır. Momentum üzerinde zamanla meydana gelen değişiklik, dışarıdan sisteme etki eden kuvvetlerin kontrol hacmine olan toplam etkisini göstermektedir. Bir boru içinde türbülanslı akış düşünüldüğünde vektörel formda momentum değişikliği Denklem 12'de verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho V) + \nabla(\rho V) = -\nabla P - \mu\nabla^2 V + S \quad (12)$$

V hız vektörü, S ise kullanıcı kaynaklı terimdir [11]. Enerjinin korunumu, ısı üretimi, basınç ve dış kuvvetler ihmal edilerek türetilmiştir. Enerji korunumu denkleminin vektörel formu Denklem 13'te verilmiştir [11].

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho VT) = \nabla(k \nabla T) \quad (13)$$

Enerji korunumu, Denklem 14'te verildiği gibi, sistem kontrol hacmi değişmedikçe sabittir [11].

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{k}{\rho c_p} \nabla \cdot (\nabla T) \quad (14)$$

Sayısal analiz yönteminde, ticari kod olan ANSYS-FLUENT yazılımı kullanılmıştır. Sayısal analizler hücre sayısından bağımsız olacak şekilde, 3 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan "k- ω modeli" için FLUENT taşınım denklemleri çözmektedir. Bu modelde k, türbülans kinetik enerjisi ve ω özgül yayılma oranı olup, Denklem 16 ve 17'de verilen kısmi diferansiyel denklemler ile temsil edilmektedir [3]. Kinematik eddy viskozite eşitliği (U_i) aşağıda verilmiştir [3].

$$v_t = \frac{k}{\omega}, \quad \tilde{\omega} = \max \left\{ \omega, C_{lim} \sqrt{\frac{2S_{ij}S_{ij}}{\beta^+}} \right\}, \quad C_{lim} = \frac{7}{8} \quad (15)$$

Türbülans kinetik enerjisi (k) aşağıda Denklem 16'da verilmiştir [3].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma^+ \frac{k}{\omega} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \beta^+ k \omega + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad (16)$$

Özgül yayılma oranı (ω) eşitliği aşağıda Denklem 17'de verilmiştir [3].

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \sigma \frac{k}{\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] - \beta \omega^2 + \frac{\sigma_d}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + a \frac{\omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \quad (17)$$

Bu modele ait ilave ilişki sağlayan katsayılar ve eşitlik aşağıda Denklem 18'de verilmiştir [3].

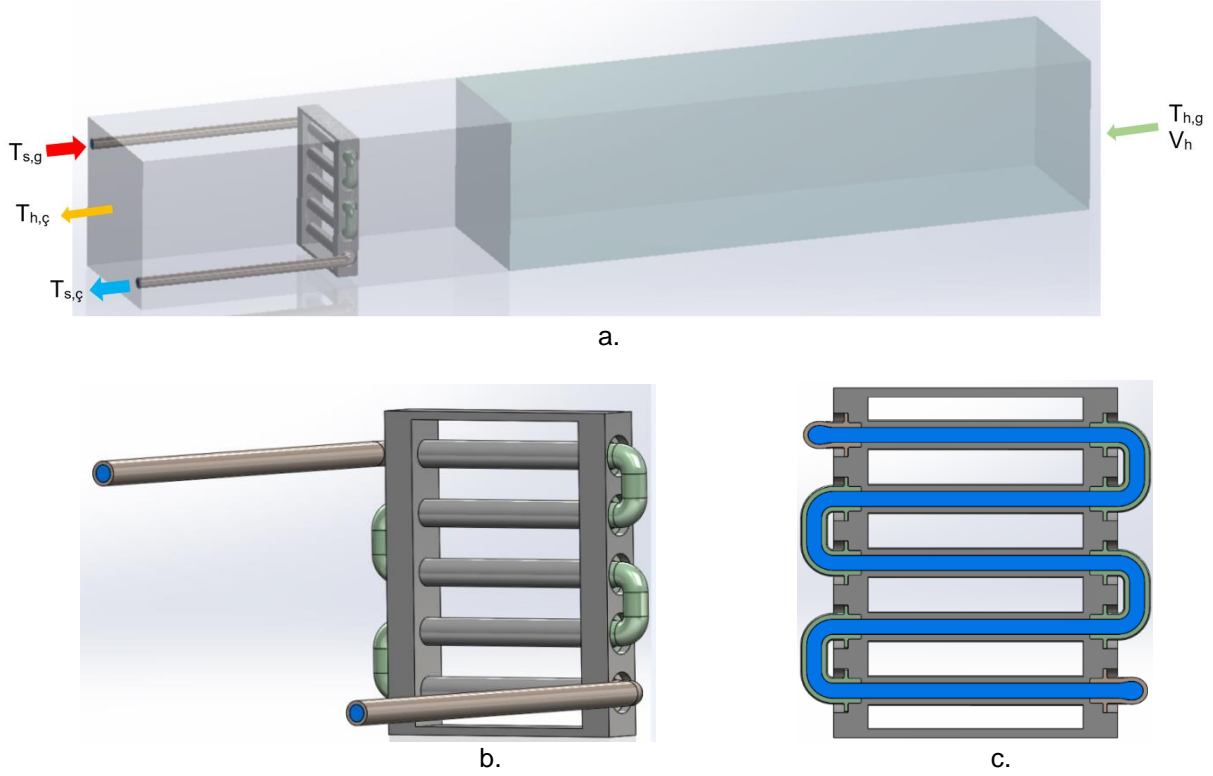
$$a = 0,52, \quad \beta = \beta_0 f_\beta, \quad \beta_0 = 0,0708, \quad \beta^+ = 0,09, \quad \sigma = 0,5, \quad \sigma^+ = 0,6, \quad \sigma_{d0} = 0,125$$

$$\sigma_d = \begin{cases} 0, & \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \leq 0 \\ \sigma_{d0}, & \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} > 0 \end{cases}, \quad f_\beta = \frac{1 + 85\chi_\omega}{1 + 100\chi_\omega}, \quad \chi_\omega \equiv \frac{|\Omega_{ij}\Omega_{jk}S_{ki}|}{(\beta^+ \omega)^3}, \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (18)$$

Bu denklemlerde C_{lim} stress limitleme gücü oluşumunu, f_β girdap gerinim gücü X_ω boyutsuz girdap gerinim parametre katsayısı, Ω_{ij} ortalama dönüş tensörüdür [3].

Sayısal analizler, programın ısı değiştirici modülü kullanılarak, gerçekleştirilmiştir. Sayısal analiz modellemesi yapılırken, dar kanalda akış koşulları ve düşünülerek, modelleme yapılmıştır. Model üzerinden hücre sayısı optimize edilerek, ısı değiştiricinin hava tüneli içinde dışından geçecek olan hava ve su akışkanları tanımlanmıştır. Şekil 2'de kanatsız ısı değiştirici modeli dirsekleri ve su giriş çıkış boruları ve hava hacmi gösterilmektedir. Özellikle hava ve su tarafından sürekli rejim koşullarının sağlanması amacıyla, ısı değiştirici öncesinde hava hacmi hava tüneli deney düzeneğine uygun olacak şekilde hava akış alanı bırakılmıştır. Aynı şekilde ısı değiştiriciye suyun giriş çıkış boruları da aynı amaçla uzatılmıştır. Hava akışkanının içinde dolaştığı hava tüneline simüle eden hava hacminin dış yüzeyleri ve ısı değiştiriciye suyun giriş ve çıkış yaptığı borularda adyabatik olarak koşullandırılmıştır. Isı değiştirici malzemesi; ısı transfer performansı, imal edilebilirlik, geniş çalışma koşullarına uygun ömür ve dayanım koşulları düşünülerek, Alüminyum 5083 sınıfı olarak seçilmiştir. Isı değiştiricide kullanılan dirseklerin, otomotiv, havacılık, ısıtma, soğutma havalandırma vb. gibi geniş sektörlerde ısı değiştirici hava hacmi dışında kullanımı tercih edileceği için, dirsek malzemelerinin ısı

iletim katsayısı oldukça düşük olan, geniş çalışma sıcaklığına sahip ve katmanlı imalat metoduyla imal edilebilen Polyamid 12 (PA12) malzeme olarak seçilerek programa tanımlaması yapılmıştır. Ayrıca su akışkanının ısı değiştiricinin tüm boru iç yüzeylerini dolduran tanımlanmış kesit görseli de aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. a. Dar kanalda serpantin tipi kanatsız ısı değiştiricinin 3D modellemesi, b. Serpantin tip ısı değiştiricinin 3D modellenmesi, c. Serpantin tip ısı değiştirici boruları içinde dolaşan suyun kesit görünümü

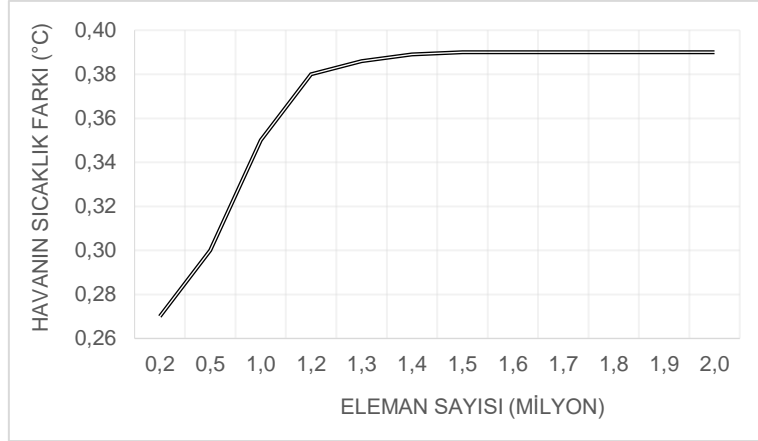
Şekil 2’de verilen model görselleri doğrultusunda aşağıda Tablo 4’de serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici gövdesinde kullanılan Alüminyum 5083 malzeme ve dirseklerinde kullanılan Polyamid12 malzemeye ait tanımlanan özellikler verilmiştir.

Tablo 4. Isı değiştirici gövde ve dirsek malzemelerine ait termofiziksel özellikleri [12]

Özellikler	Alüminyum 5083	Polyamid 12
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	121	0,23
Minimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	-40	-40
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	483	154
Erime Noktası (°C)	570	179

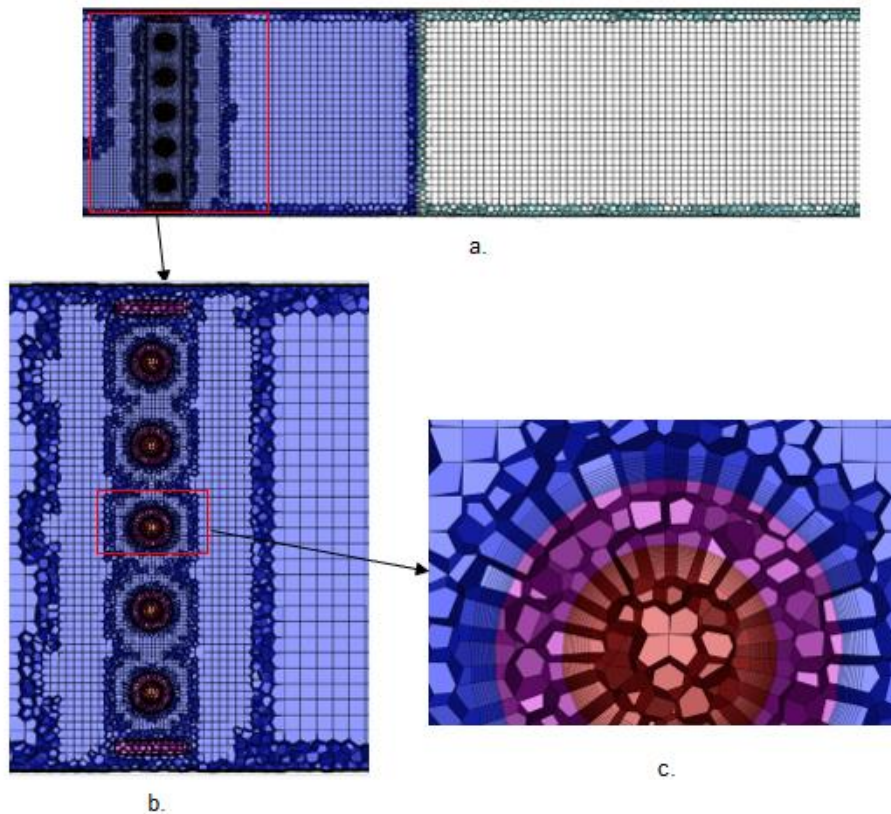
Tablo 4’den anlaşıldığı gibi, eşanjör içinde dolaşan akışkan sıcaklığının, -40 ila +154°C arasında olduğu sıcaklıklar için, tasarlanan serpantin tipi ısı değiştirici modeli sürekli çalışmaya uygundur.

Oluşturulan 3D modelin sayısal analizinin, dar kanallı akışlarda serpantin tipi ısı değiştiricide oluşan ısı transferinin belirlenmesi için eleman sayısından bağımsızlık sağlanması amacıyla farklı eleman sayıları ile denemeler yapılmış ve Şekil 3 ile sunulmuştur. Optimum eleman sayısı belirlenirken, ısı değiştiriciye 23°C sıcaklıkta giren havanın sıcaklık farkı dikkate alınmıştır. 2500 iterasyon sonucunda yakınsama başlamıştır. Sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla süreklilik değerinin e^{-4} hassasiyetle çözümlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 3. Eleman sayısının belirlenmesi

Şekil 3'de gösterildiği gibi kanatsız ısı değiştirici modeli ve hava hacmi için, eleman sayısının belirlenmesi aşaması 3 boyutlu model üzerinden kullanılan water-tight geometri metodu kullanılarak sağlanmıştır. Bu sayede 1,5 milyon hücre sayısı itibarıyla sisteme giren ve çıkan hava sıcaklık farkının sabit kaldığı anlaşılarak, hücre sayısı 1,5 milyon olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda tanımlanmış olan modele ait hücre yapısı gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sayısal model hücre yapısı a. Hava hacmi ve ısı değiştirici hücre yapısı kesit gösterimi b. Serpantin tipi ısı değiştirici borularında hücre yapısı kesit gösterimi c. Serpantin boru iç yapısı hücre yapısı kesit gösterimi Şekil 4'de hücre sayısı yapısı üzerinden görüldüğü gibi, hava hacmi içinde ısı değiştiriciye yakın olan bölgelerde eleman sayısı sıklaştırılmış ve hava hacmi profilde kare profilli hücre yapısı kullanılırken özellikle ısı değiştirici kesiti ve etrafında ise çokgenli (polyhexcore) hücre yapısı atanmıştır. Eleman sayısı belirlendikten sonra sayısal analizde seçilen iterasyon yöntemi ve diğer parametreler belirlenerek Tablo 5'de gösterildiği gibi verilmiştir. Bu doğrultuda program analizi başlatılmıştır.

Tablo 5. Sayısal analiz çözüm parametreleri

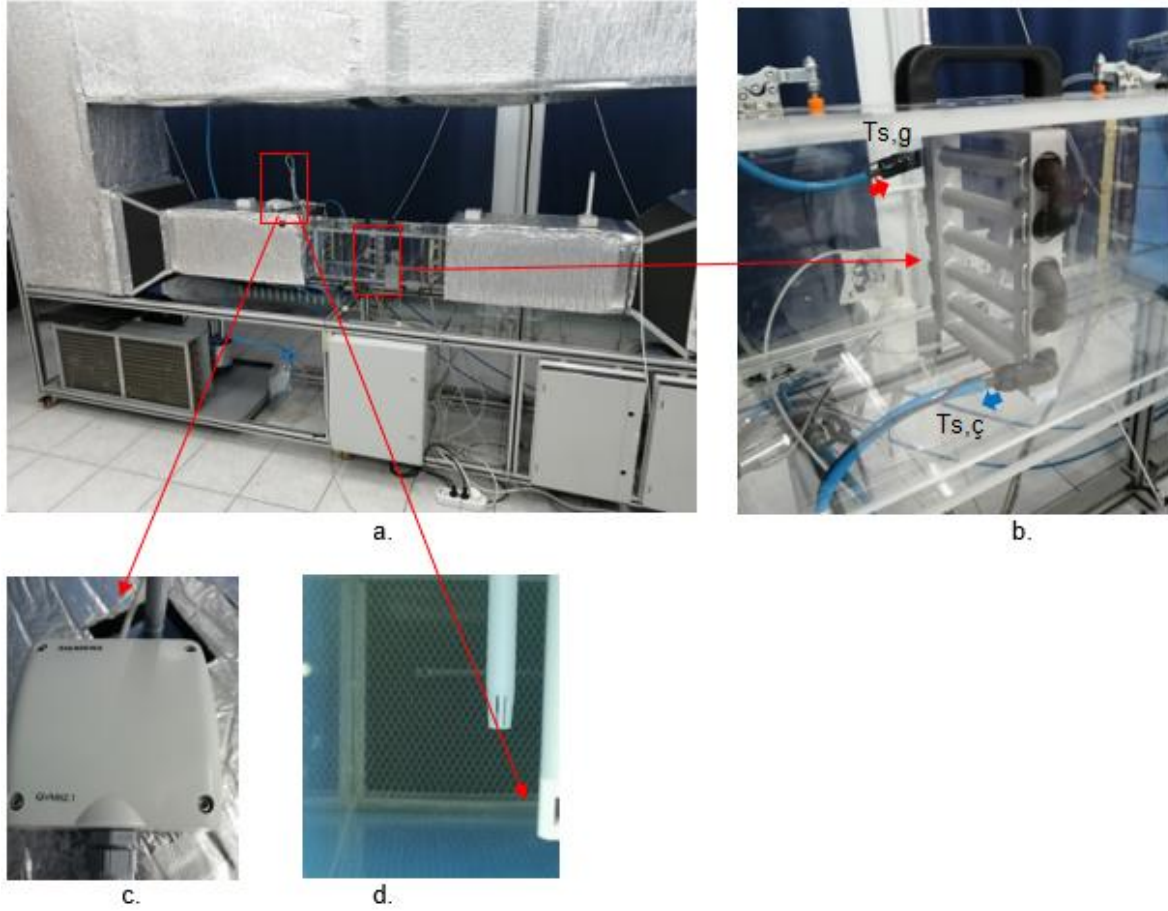
Model	Ayarlar
Boyut	3D
Zaman	Sürekli Rejim
Viskoz Model	k- ω (SST model)
Isı Transferi	Etkin
Erime, Donma	Etkin değil
Işınım	Etkin değil

2.2.3. Serpantin Tipi Kanatsız Isı Değiştiricinin Deneysel Analizi

Serpantin tipi kanatsız ısı değiştiricide analitik ve sayısal analizlerin gerçekleştirilmesi sonucunda, doğrulama amacıyla üniversite deney koşullarında, kanatsız borulu ısı değiştirici prototipi ürettirilerek, test edilmiştir. Serpantin tip ısı değiştirici boruları ve gövdesi, doludan işleme CAM (Computer Aided Manufacturing) metoduyla Alüminyum 5083 sınıfı malzemeden talaşlı işlenerek imal edilmiştir. Isı değiştiriciye ait dirsekler ve su giriş çıkış boruları ise, çalışma koşullarına uygun olarak seçilen Polyamid 12 malzeme kullanılarak katmanlı imalat metoduyla üretilmiştir. Isı değiştiriciye ait su giriş ve çıkış boruları üzerinden sıcaklık ölçüleri alınabilmesi amacıyla termokupl montajı için bakır yüzey eklemesi yapılmıştır. Daldırma tip termokupl kullanımı açısından su kaçağı yaşanmaması için, deney düzeneği rejime girdikten sonra ölçümler alınmıştır. Aşağıda Şekil 5’de deney düzeneğine uygun olacak şekilde ısı değiştirici numunesi 3D tasarım datası ve hava tüneli deney düzeneğine yerleştirilmiş model datası verilmiştir. Dar kanallarda akışı simüle eden deney düzeneğine uyumlu olarak imal edilen serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici numunesine ait görsel aşağıda Şekil 5’de verilmiştir.

**Şekil 5.** Serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici deney numunesi

Şekil 5’de verilen ısı değiştirici numunesi, 3D modeline göre birebir aynı ölçülerde ve tanımlanan malzemelerle üretilmiştir. Dirsekler ve boru giriş çıkış yüzeyleri arasında sızdırmazlık o-ring kullanımıyla sağlanmış olup, sızdırmazlık yüzeyinde o-ring’in değişken su basınçlarında aynı pozisyonda kalabilmesi için paslanmaz çelik klipsler kullanılmıştır. Üretilen numune, 3 bar sürekli çalışma basıncı altında kaçak testi yapılmış ve herhangi bir kaçak yaşanmadan test edilebilmesi amacıyla doğrulanmıştır. Hava tüneli deney düzeneğine test numunesinin uygulaması ve ölçüm cihazları gösterimi Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. a. Hava tüneli deney düzeneği, b. Deney düzeneğine bağlantısı yapılmış olan kanatsız borulu ısı değiştirici modeli, c. Hava anemometresi (hotwire tip) d. Hava tüneli içinde anemometre sensörü yerleşimi.

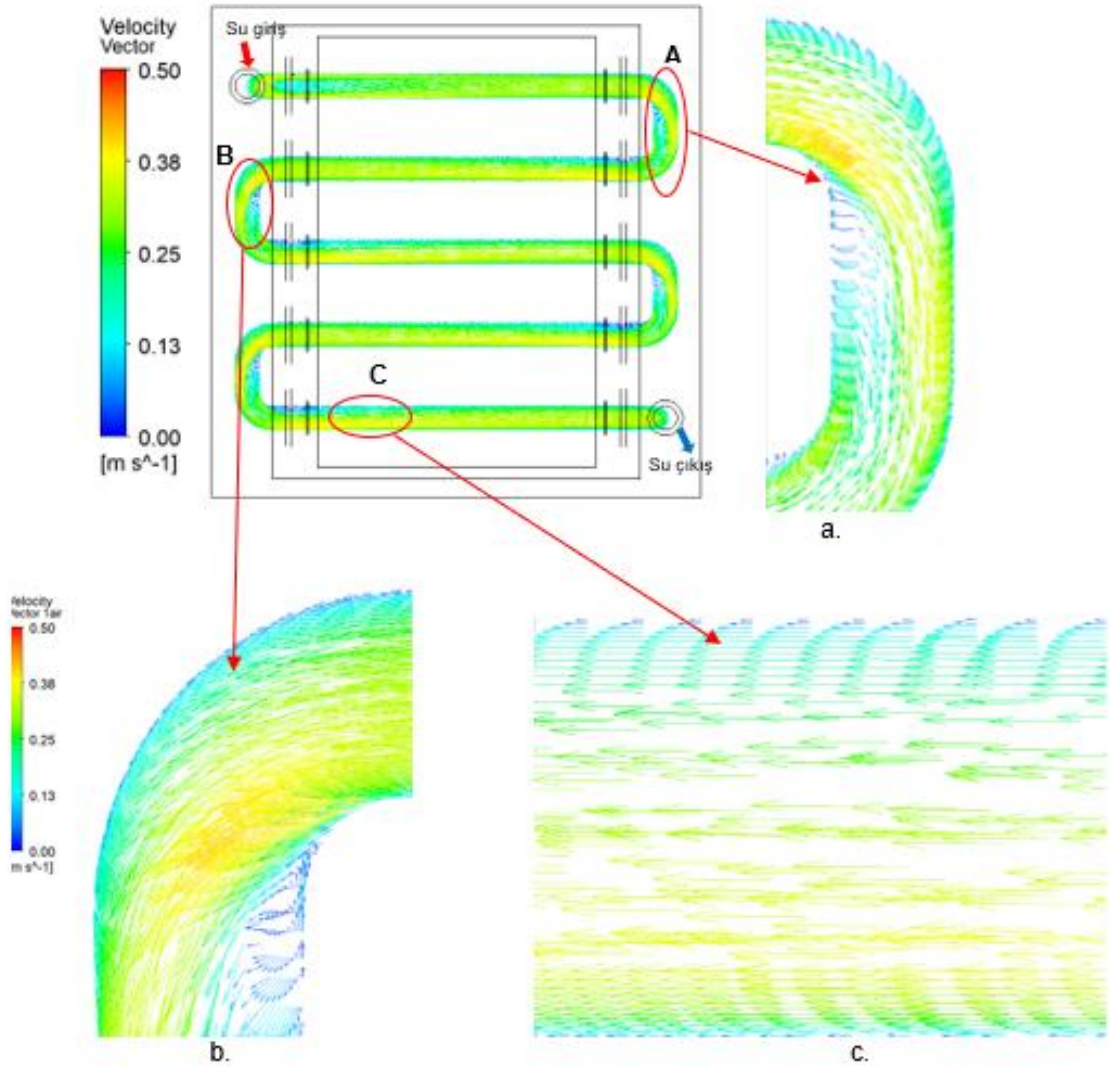
Şekil 6'da görüldüğü gibi, hava tüneli deney düzeneği yalıtılmış ve sadece test edilen numune montajı ve gözlem yapılabilmesi amacıyla şeffaf yüzeylerden oluşmaktadır. Deney düzeneğinde hava hızı dar kanal içinde, fan kapasitesi doğrultusunda 1-10 m/s aralığında ayarlanabilmektedir. Hava hızı belirli periyotlarda hotwire tip sensörlü anemometre ile ölçülerek veri kayıt cihazı ile kayıt altına alınmaktadır. Havanın ısı değiştiriciye girmeden önceki ve girdikten sonraki sıcaklıklarını belirlemek için toplamda T tipi 20 adet ısı çifti hava tüneli içinde homojen olarak dağılmış şekilde farklı lokasyonlardan sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Tüm sıcaklık ve hava hızı verileri veri toplama cihazı ile kayıt altına alınarak deneysel analizler gerçekleştirilmiştir. Deneysel analiz sonuçları aşağıda Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Deneysel analiz sonuçları

V_h (m/s)	\dot{m}_h (kg/s)	$T_{h,g}$ (°C)	$T_{h,ç}$ (°C)	\dot{m}_s (kg/s)	$T_{s,g}$ (°C)	$T_{s,ç}$ (°C)	Q(W)
1,2	0,054	23	23,76	0,02	45	44,51	41,2
3,5	0,158	23	23,53	0,02	45	44,08	77,3
5,7	0,257	23	23,4	0,02	45	43,77	102,9

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

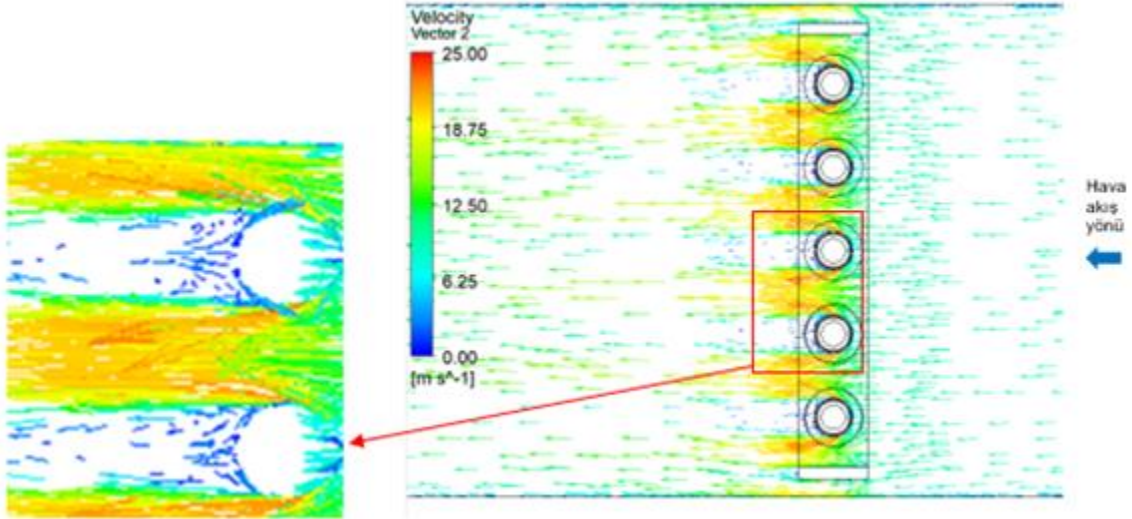
3 boyutlu CFD modelleme ile optimum eleman sayısı belirlendikten sonra sayısal sonuçlar aşağıda Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Serpantin borular hız vektörleri kesiti, a. Dirsek içi akış hız vektör detayı (A bölgesi), b. Dirsek içi akış hız vektör detayı (B bölgesi), c. Boru içi akış hız vektör detayı (C bölgesi)

Şekil 7’de ısı değiştirici içinde dolaşan suya ait hız vektörleri detaylı olarak gösterilmiştir. A bölgesi, suyun ilk yön değiştirdiği dirseğe giriş bölgesidir. Bu açıdan, bölge detayında gösterildiği gibi, dirsek dönüşünde yaşanan girdaplar ve hız akış vektörlerindeki düzensizlikler görülmektedir. A bölgesinde yön değişimi olduktan sonra sınır tabaka etkilerinin yeniden ortaya çıktığı hız vektörlerinden anlaşılmaktadır. Suyun B bölgesine ulaştığı alanda tekrar akış yönünde değişim olmakta ve A bölgesinde meydana gelen değişimler tekrarlanmaktadır. Diğer dirseklerde de vektör hareketleri kesit görselde verildiği gibi benzerdir. C bölgesi suyun son dirsekten yönünü değiştirerek ısı değiştiriciyi terk edeceği en son kısma ait akış bölgesini göstermektedir. Detay görselde dönüş kaynaklı yavaşlama, borunun üst cidarında sınır tabaka kalınlığının artışına bağlı olarak vektörlerin yönelimleri görülmektedir. Su, son dirsekten dönüş yaptıktan sonra ısı değiştiriciyi terk etmektedir.

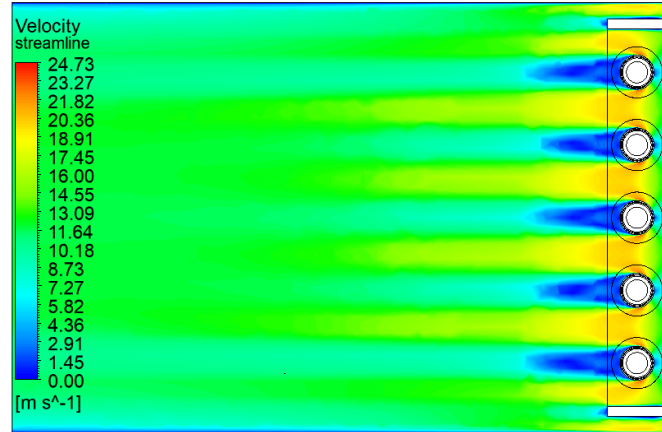
Isı değiştirici dış yüzeyinden geçen hava için hız vektörleri Şekil 8’de gösterilmektedir. Ayrıca serpantin tipi kanatsız ısı değiştiricide dış akış olan havanın hız dağılımı ile akım çizgileri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 8. Isı değiştirici boruları civarında hava tarafı hız vektörleri

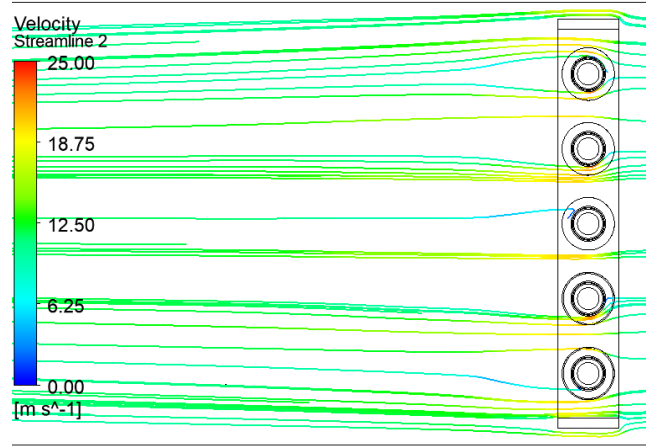
Şekil 8'de dış akışkan olan havanın serpantin borular arasından geçişine ait hız vektörleri gösterilmiştir. Detay görselde verildiği gibi ısı değiştiriciye ait dairesel boruların arkasında hız vektörlerinin düzensiz yönelim hareketleri yaşandığı, boruların yüzeylerine çarpma sonucunda aralarındaki daralmalar sebebiyle hava hızında artış yaşandığı görülmüştür. Hız vektörleri hava ısı değiştiriciden uzaklaştıkça yaygın bir dağılım göstermektedir. Havanın hız dağılımı ve akım çizgileri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.

Şekil 9'da serpantin tip ısı değiştirici borularının arasından geçen havaya ait hız dağılımı gösterilmiştir. Boruların arkasındaki yüzeylerde hava hız vektörlerinde girdap hareketleri görülerek hava hızı durma noktasına gelmiştir. Durgun hava, kanatsız boruların arka yüzünden taşınımıyla ısı transferinin çok yetersiz kaldığını göstermektedir.



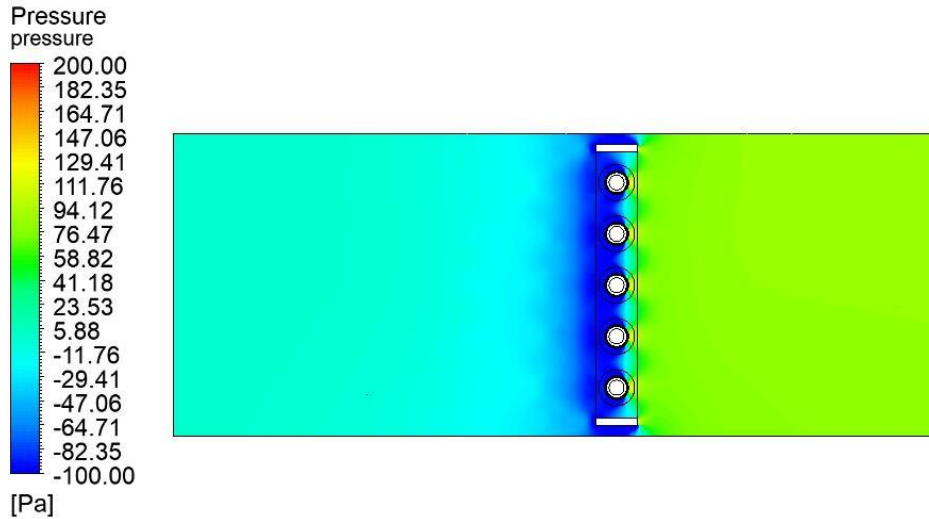
Şekil 9. Isı değiştiricide havanın hız dağılımı

Şekil 10'da hava hız akım çizgileri gösterilmiştir. Dairesel boru yüzeylerine çarpan akım çizgilerinin boruların etrafından devam ettiği, fakat boruların arkasında hızın aşırı yavaşlaması kaynaklı akım çizgilerinde kopmalar meydana geldiği anlaşılmıştır.



Şekil 10. Isı değiştiricide havanın akım çizgileri

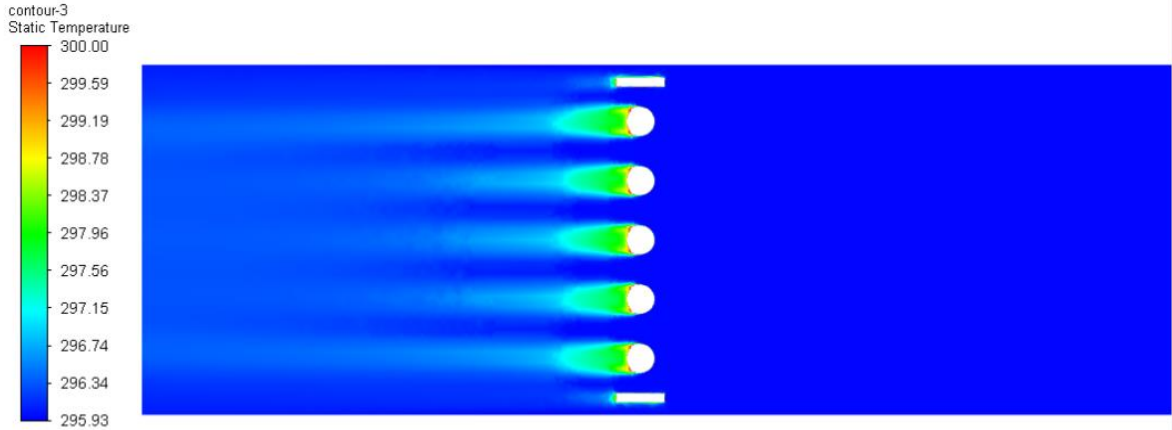
Şekil 11'de havaya ait basınç dağılımı verilmiştir. Basınç dağılımı serpantin tipi ısı değiştirici öncesinde homojen dağılıma sahiptir. Isı değiştirici üzerinde borulara ait dairesel yüzeylerde en yüksek basınç kaybının olduğu anlaşılmaktadır. Boruların arasında hava hareketi boyunca basınçta artış ve homojen dağılım yönelimi olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Isı değiştiricide hava tarafı basınç dağılımı

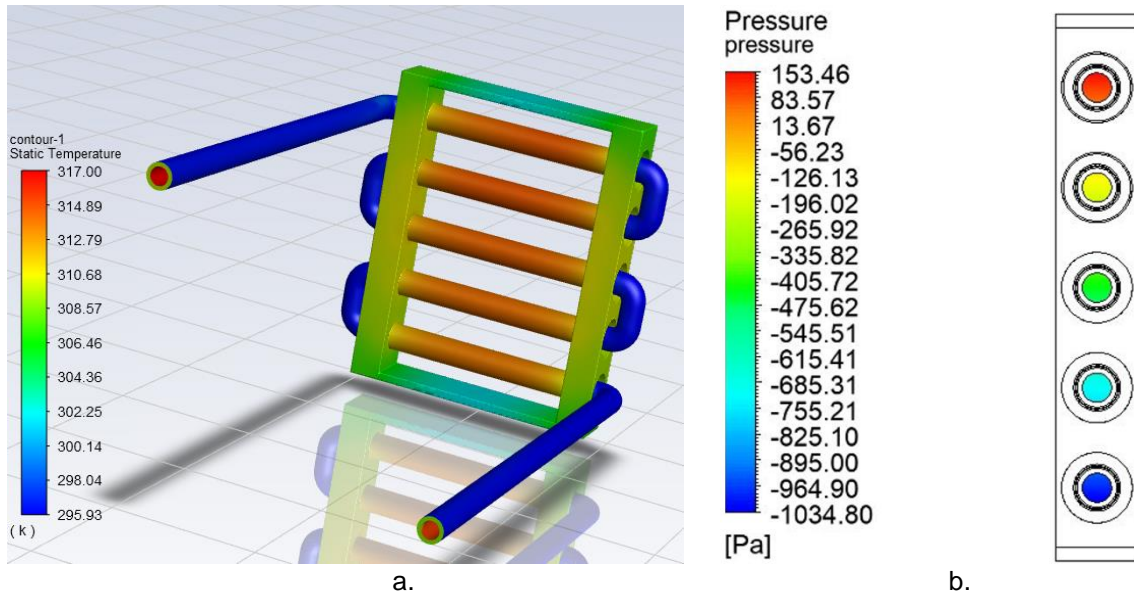
Şekil 12'de havaya ait sıcaklık dağılımı verilmiştir. Serpantin tipi kanatsız ısı değiştiricide boru yüzeylerine çarpan hava sıcaklığında artış yönelimi boruların arka yüzeylerinde görülmektedir. Sonrasında havanın sabit ve homojen sıcaklık dağılımı yönelimli olarak sistemi terk ettiği anlaşılmıştır.

Sıcaklık dağılımının ve serpantin tipi kanatsız ısı değiştirici üzerinde yöneliminin çok daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla 3D analiz üzerinden gerçek deney koşullarında termal kamera ile inceleme simülasyonu sağlanması için sıcaklık dağılımı Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 12. Isı değıştiricide hava tarafı sıcaklık dağılımı

Şekil 13'de görüldüğü gibi, su giriş çıkış boruları ile ısı değıştirici dirsekleri adyabatik olarak kabul edilmiştir. Fluent yazılımı içerisinde yer alan watertight çözüm tekniği ile sıcak akışkan olan su ve soğuk akışkan olan havanın ısı etkileşimi neticesinde Şekil 13'den görüldüğü üzere serpantin boruların dışı yüzey sıcaklığı 312-314 K mertebelerinde olmaktadır. Ayrıca, Şekil 13 içeriğinde serpantin borular içinde su akışkanının basınç değışimini gösteren kesit görseli verilmiştir.



Şekil 13. a. Serpantin tipi kanatsız ısı değıştirici üzerinde 3D sıcaklık dağılımı gösterimi, b. Serpantin borular içinde basınç değışimini gösteren kesit görseli

Serpantin tipi kanatsız ısı değıştiricide, gerçekleştirilen analitik, sayısal ve deneysel analiz sonuçları aşağıda Tablo 7'de verilmiştir. Analiz yöntemleri arasında en fazla sonuç farklılığının en yüksek hava hızı değerinde oluştuğu anlaşılmıştır. Analitik ve sayısal analiz sonucuna dair maksimum ısı transfer performans farklılığı yaklaşık olarak %7 olarak elde edilmiştir. Sayısal ve deneysel analiz sonuçları arasındaki farklılık ise yaklaşık %4 olarak elde edilmiştir. Analitik analiz ısı transfer performansı sonuçlarının deneysel ve sayısal analiz sonuçlarına göre daha düşük olma sebebinin, ısı değıştiricide iletimi sağlayan bağlantı boruları ve dirseklerin ihmal edilmesi kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 7. Analiz sonuçlarının kıyaslanması

V_h (m/s)	$T_{h,g}$ (°C)	$T_{s,g}$ (°C)	Q (W)				
			Analitik Analiz	Sayısal Analiz	Deneysel Analiz	Analitik-Sayısal Farkı (%)	Sayısal-Deneysel Farkı (%)
1,2	23	45	37,32	39,8	41,2	2,5%	1,4%
3,5	23	45	71,15	74,2	77,3	3,1%	3,1%
5,7	23	45	92,5	99,1	102,9	6,6%	3,8%

SONUÇ

Yapılan çalışmalar kapsamında, kanatsız borulu ısı değiştirici üzerinden Reynolds sayısının 1250 ile 6000 aralığında olduğu hava hızı değerleri için analitik analiz yöntemiyle hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada hücre sayısından bağımsız olacak şekilde sayısal analizler aynı koşullarda 3D olarak gerçekleştirilmiştir. Aynı ölçülerde imalatı yapılmış olan ısı değiştiricinin deneysel analizi de yapılmıştır.

Bu çalışmada, özellikle dar hava kanallarında tercih edilen serpantin tipi kanatsız bir ısı değiştirici geometrisinin analitik, sayısal ve deneysel analizleri yapılarak, ısı değiştiriciye eklenecek kanatlar için referans oluşturulmuştur. Bu nedenle parametrik olarak sayısal analiz yöntemiyle analiz edilecek birçok senaryoya sahip daha karmaşık geometri, kanatlı serpantin tipi ısı değiştiricilerin incelenmeden önce, en sade ısı değiştirici geometrisinin mümkün olduğunca analitik analizler yöntemiyle doğrulanarak, hücre sayısından bağımsız olacak şekilde sayısal analiz modellemesi ve çözümlemesinin yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Kanatlı yüzeylerle serpantin ısı performansının artırılması gereği açıkça ortadadır.

KAYNAKLAR

- [1] ÇELİK, HS., ERBAY, LB. Heat transfer enhancement using different types of turbulators on the heat exchangers. J Ther Eng 2021;7(7):1654–1670.
- [2] ÇELİK, HS. vd., ‘Bir şofben eşanjörünün boru iç yüzeylerine elips boşaltmalı kanatlı türbülötör eklenmesinin şofben verimine olan etkisi’, Teskon 14. Simülasyon Tabanlı Ürün Geliştirme Sempozyumu, s. 1149-1167, İzmir, 2019.
- [3] ARGYROPOULOS, CD., MARKATOS, CD. Recent advances on the numerical modelling of turbulent flows, Applied Mathematical Modelling 39 (2015) 693–732.
- [4] LI, M.J vd., Experimental and numerical study and comparison of performance for wavy fin and a plain fin with radiantly arranged winglets around each tube fin and tube heat exchangers. Applied Thermal Engineering, 133 (2019) 298-307.
- [5] SONG K.W vd., Effect of geometric size of curved delta winglet vortex generators and tube pitch on heat transfer characteristics of fin-tube heat exchanger, Experimental Thermal and Fluid Science, 82 (2017) 8-18.
- [6] MOON SW, LAU SC. Heat transfer between blockages with holes in a rectangular channel. J Heat Transfer 2003; 125:587 STEIDEL, R.F. Jr., “An Introduction to Mechanical Vibrations”, John Wiley & Sons. Inc., Aug.1971.
- [7] GENÇELİ, O., 1999, Isı Değiştiricileri, Birsen Yayınevi, s.11, s.93-104.
- [8] ÇELİK, HS., Reküperatör boru konstrüksiyonunun verime olan etkisinin deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırılması, Yüksek lisans bitirme tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü.
- [9] ÇENGEL, Y., BOLES M., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, (Çev. T. Derbentli), Literatür Yayıncılık 2. baskı, İstanbul, 1996.

- [10] INCROPERA, F.P., ve DEWITT D.P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", (Çev. T. Derbentli vd.), Literatür Yayıncılık, 4. baskı, İstanbul, 2006.
- [11] ÇENGEL, Y., CIMBALA J., "Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları", (Çev. T. Engin), İzmir Güven Kitabevi, 1. Baskı, İzmir, 2008.
- [12] <https://www.engineeringtoolbox.com/> (Erişim tarihi:21.01.2023)
- [13] ÇELİK, HS., ERBAY, LB. Exergy and Thermo-economic Analysis of Non-condensing and Condensing Boilers 14th International Combustion Symposium (INCOS2018) 25-27 April 2018 s.379-382.
- [14] PROMVONGE P, SKULLONG S. Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched V-ribs and chamfer-V-grooves. Int J Heat Mass Transfer 2019; 143:118486
- [15] WANG L, SUNDÉN B. Experimental investigation of local heat transfer in a square duct with various-shaped ribs. Heat Mass Transfer 2006; 43:759–766
- [16] PROMVONGE P, THIANPONG C. Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs. Int Communication Heat Mass Transfer 2008; 35:1327–1334
- [17] SARA ON, vd., Heat transfer enhancement in a channel flow with perforated rectangular blocks. Int J Heat Fluid Flow 2001; 22:509–518.
- [18] BUCHLIN J. Convective heat transfer in a channel with perforated ribs Transfer de chaleur par convection dans un canal muni de pontets perforés. Int J Therm Sci 2002; 41:332–340.
- [19] Kotcioglu I. vd., Second law analysis and heat transfer in a crossflow heat exchanger with a new winglet-type vortex generator. Energy 2010; 35:3686–3695.
- [20] PROMVONGE P vd., Thermal behaviour in solar air heater channel fitted with combined rib and delta- winglet. Int Commun Heat Mass Transf 2011; 38:749–756.

ÖZGEÇMİŞ

Hamdi Selçuk ÇELİK

1988 yılı Eskişehir doğumludur. 2011 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2012-2018 yılları arasında Vaillant Grup, Türk Demirdöküm Fabrikaları AŞ'de, Duvar tipi cihazlar Kombi-Şofben bölümünde Ar-Ge Proje Mühendisi olarak çalışmış, eş zamanlı olarak Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden 2016 yılında mezun olarak Makine Yüksek Mühendisi olmuştur. 2017 yılı bahar yarıyılı itibariyle aynı üniversite ve bölümde Doktora eğitimine başlamış ve devam etmektedir. Şu an Tusaş Motor Sanayii AŞ. (TEI)'de, Kalite-Sistem Sertifikasyon Liderliği'nde Kıdemli Uzman Mühendis olarak çalışmaya devam etmektedir.

Bahadır DOĞAN

1985 Kahramanmaraş doğumludur. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde sırası ile 2007 yılında lisans, 2011 yılında yüksek lisans ve 2017 yılında doktora eğitimlerini tamamlamıştır. 2017 yılında doktor öğretim üyesi ve 2022 yılında doçent unvanı almıştır. Kompakta ısı değiştiriciler ve Stirling soğutucular üzerine 13 araştırma makalesi ve 2 bölümü bulunmaktadır. İlgili alanları termal sistemlerin enerji ve ekserji analizi, kompakt ısı değiştiriciler, ısı pompaları ve soğutuculardır.

L. Berrin ERBAY

Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Makine Mühendisliği bölümünden 1978 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisansını 1982 yılında Boğaziçi Üniversitesi'nde doktorasını ise 1988 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Isı transferi, termodinamik ve enerji alanında 40'ın üzerinde makale yayınlamıştır. Araştırma ilgi alanları, termal sistemlerin ikinci yasa analizi, iki fazlı akış, mini-mikro kanallar ve erimiş tuz nükleer (MSR) nükleer reaktörleridir. En son ilgi alanları ısı pompaları, ev tipi buzdolapları ve mini-mikro kanallı ısı değiştiricilerdir.

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN S-KANATLI TİPTE BİR EKSENEL FANIN AKIŞ SİMÜLASYONLARI ve PERFORMANS TESTLERİ

Flow Simulations and Performance Tests of an S-Bladed Axial Fan Used in Automotive Applications

**Sinem Göker
Hakan Yaman
Utku Şentürk**

ÖZET

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan S-kanatlı bir eksenel fanın aerodinamik tasarımı hakkında bilgiler verilmekte, hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerine dayalı olarak performans tayini yapılmakta ve bunlar üretilen prototipin uluslararası standartlara uygun performans testlerinin sonuçları ile kıyaslamalı olarak sunulmaktadır. Tasarım sürecinde boyutlandırılan ve bağlama açıları saptanan kanat kesit profillerine teğetsel yönde süpürme uygulanarak S-kanat yapısı elde edilmiştir. Söz konusu S-kanat yapısının, fan aerodinamiğinde kaydeder bir değişiklik yaratmaksızın akustik gürültü açısından olumlu sonuç verdiği bilinmektedir. Analiz ve test sonuçları genel olarak uyumlu bulunmuş olup fanın aerodinamik performansını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Eksenel Fan, Otomotiv, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Performans Testleri.

ABSTRACT

In this study, we report on the aerodynamic design of an S-blade axial fan which is widely used in the automotive industry, estimate its performance based on computational fluid dynamics simulations and compare the results with those of the performance tests carried out in accordance with international standards. S-blade structure was obtained by applying tangential sweep to the blade sections which were previously dimensioned and stagger angles were determined. The S-blade structure under consideration is known to reduce acoustic noise without creating a significant change in fan aerodynamics. Analysis and test results agree well and show the aerodynamic performance of the fan.

Key Words: Axial Fan, Automotive, Computational Fluid Dynamics, Performance Tests.

1. GİRİŞ

Eksenel akışlı fanların endüstriyel uygulamaları, büyük ölçekli iklimlendirme sistemlerinden kompakt elektronik ekipmanların soğutulmasına kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Bunlardan biri olan otomotiv soğutma uygulamalarında kullanılan fanlar, bir elektrik motoru tarafından tahrik edilen ve hava hareketini sağlayan bir rotor (pervane) ile bu rotorun içine yerleştirildiği bir kafesten (muhafaza) ibaret olarak düşünülebilir. Bu fanlar soğutma havasını aracın radyatörüne yönlendirirler ve buradaki soğutucu akışkandan zorlanmış taşınım ile ısı transferi gerçekleştirerek soğutma sağlar. Kafesin kanatları hem rotor/motor grubunun ağırlığını taşır hem de rotoru terkeden hava akışını düzelterek fan statik basıncını artırır. E. Abu-Ramadan vd. [1], bir otomotiv soğutma fanının taşıyıcı kanatlarının akış aerodinamiğine etkisini deneysel ve sayısal yöntemlerle incelemiştir. Gerçekçi hava giriş şartlarının

performansı önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Hur vd. [2], bir otomotiv soğutma fanının rotor kanatlarına parça eklenmesi ile debi, basınç ve verim karakteristiklerindeki değişimleri ele almışlardır. Kanadın emme kenarına yapılan eklentinin basınç kenarına yapılacak eklentiye kıyasla daha enerji-verimli bir tasarım olduğu deneyler ve testler ile ortaya konmuştur.

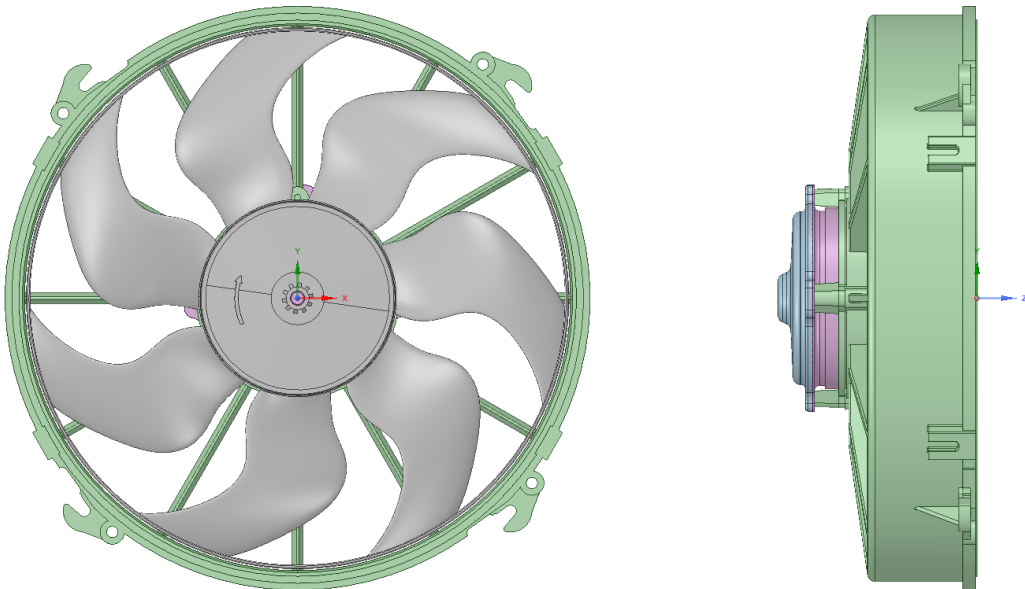
Otomotiv sektöründe kullanılan soğutma fanlarının düşük akustik gürültü ile çalışması arzu edilir. Kullanımı giderek artan elektrikli taşıtların batarya sistemlerinin soğutulması gerekmektedir. Dolayısıyla düşük gürültülü otomotiv soğutma fanlarına ihtiyacın süreceği öngörülmektedir. Bu tip uygulamalarda tercih edilen fanların kanat formlarına bakıldığında, uçak aerodinamiğinde süpürme (sweep) olarak bilinen işlem göze çarpmaktadır. S-kanat formu olarak adlandırılan bu geometrinin fan aerodinamiğinde kaydadeğer bir değişiklik yaratmaksızın akustik gürültü açısından olumlu sonuç verdiği bilinmektedir [3-7].

Bu kapsamda, S-kanat yapısına sahip bir otomotiv soğutma fanının aerodinamik performansının deneysel ve sayısal yöntemlerle saptanması, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. İlerleyen bölümlerde incelenen fanın yapısal özellikleri sunulacak, daha sonra akış simülasyonlarına ve performans testlerine dair detaylara yer verilecek ve bulgular karşılaştırmalı olarak sunulacaktır.

2. S-KANATLI FANIN YAPISI ve AERODİNAMİK PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

2.1. İncelenen Fanın Özellikleri

Çalışma kapsamında ele alınan eksenel fanın montaj resmi, Şekil 1'de görülmektedir. Rotor, kafes ve elektrik motoru bileşenlerinden oluşan fanın dönüş yönü saat yönünde olup nominal devir sayısı 3500 rpm'dir. Fanın özellikleri ise Tablo 1'de sunulmaktadır. Tüm boyutsuz sayılar SI birim sisteminde elde edilmiştir [8]. Debi katsayısı, basınç katsayısı, özgül hız ve özgül çap değerleri, fanın tasarım değerleri olan en iyi verim noktası için sunulmuştur. Fan rotorunun göbek çapı D_h , uç çapı D_t için orta kesit $(D_h+D_t)/2$ olmaktadır. Kapalılık oranı orta kesitte verilmiş olup, bu radyal konumdaki profil kirişi c ve ardışık kanatlar arası yay uzunluğu s 'tir.

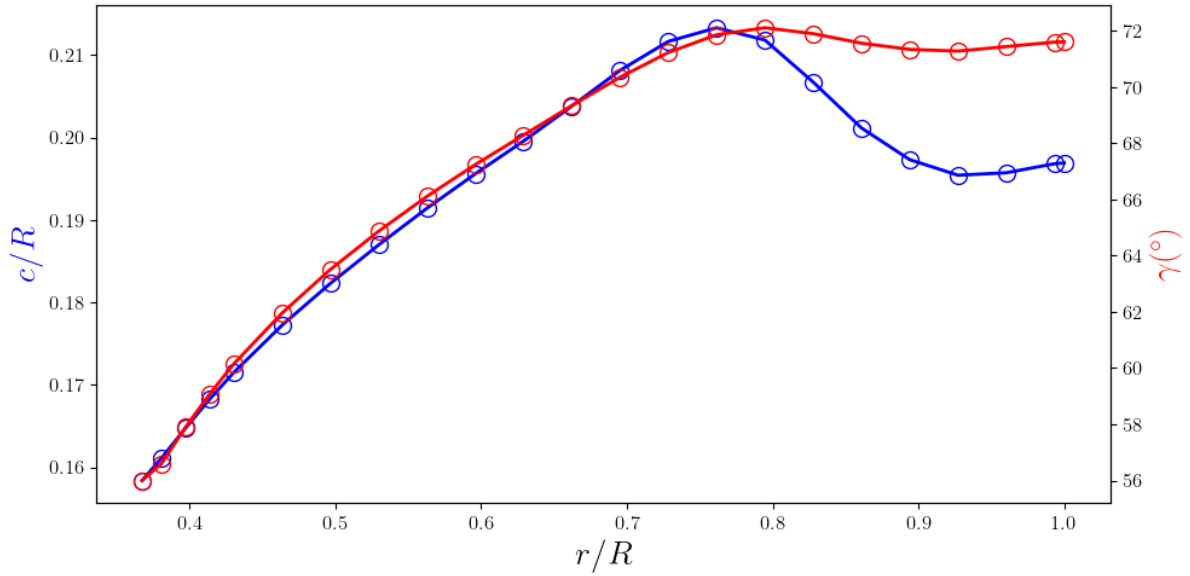


Şekil 1. Eksenel fanın ön ve yan görünüşleri.

Tablo 1. Eksenel fanın özellikleri.

Parametre	Değer	Tanım
Debi katsayısı (-)	0,051	$\Phi = Q/(\Omega D^3)$
Basınç katsayısı (-)	0,015	$\Psi = (p_t / \rho)/(\Omega^2 D^2)$
Özgül hız (-)	5,27	$\Omega_s = \Phi^{0.5} / \Psi^{0.75}$
Özgül çap (-)	1,55	$D_s = \Psi^{0.25} / \Phi^{0.5}$
Devir sayısı (rpm)	3500	-
Kanat sayısı (-)	7	-
Kapalılık oranı (-)	0,67	$\sigma = c / s$
Göbek-uç çapları oranı (-)	0,37	$v = D_h / D_t$

Rotor kanat kesidinde yer alan profilin giriş uzunluğu ve bağlama (stagger) açısı, giriş-çıkış hız üçgenleri ve Euler turbomakina denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Fan girişinde akış tam aksel kabul edilmiştir. Bunların kanat boyunca değişimleri Şekil 2'de görülmektedir.

**Şekil 2.** Fan rotorunun giriş uzunluğu ve bağlama açısının radyal yöndeki değişimleri.

2.2. Performans Testleri

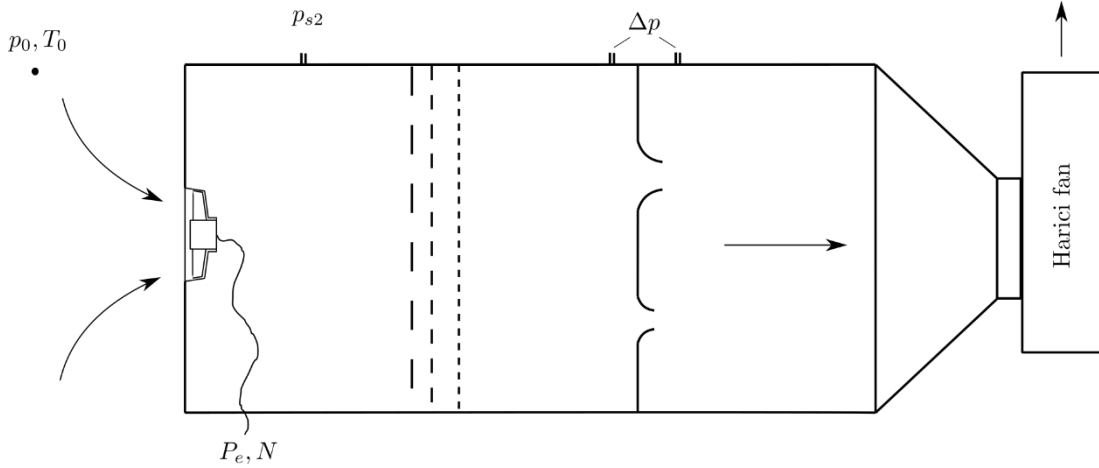
Performans testleri, ANSI/AMCA 210-16 [9] standardına uygun olarak inşa edilmiş bir test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği şematik olarak Şekil 3'te görülmektedir. Test fanı havayı dış ortamdaki herhangi bir kanal sistemi olmaksızın emmekte ve bir şartlandırma odasına basmaktadır. Oda içine yerleştirilen çeşitli gözeneklilik oranındaki elekler yardımıyla büyük ölçekli girdaplar ve türbülans şiddeti azaltılmaktadır. Elekleri takiben fark basıncı yoluyla debi ölçümünün gerçekleştirildiği nozullar yerleştirilmiştir. Şartlandırma odasının ardına değişken devirli harici bir fan bağlanmıştır. Çeşitli boyutlardaki nozulların ve değişken devirli harici fanın yardımıyla, tam kapalı (shut-off) ve serbest akış (free-delivery) koşullarında performans testleri yapılabilmektedir. Fan performans eğrilerinin elde edilmesi için belli bir çalışma noktasında alınan ölçümler: (1) Basma odasında statik basınç (p_{s2}), (2) Nozul fark basıncı (Δp), (3) Fana sağlanan elektriksel güç (P_e), (4) Fan

devir sayısı (N), (5) Dış ortam havasının basınç (p_0) ve sıcaklığı (T_0) olarak sayılabilir. Durağan ve atmosferik şartlarda emiş için akışın toplam basıncı $p_{t1} = 0$ Pa (gösterge) alınmaktadır. Nozulda oluşan fark basıncı ölçülerek sistemdeki hacimsel debi (Q) saptanır. Kesit alanı A olan şartlandırma odasındaki aksel hız $V_2 = Q/A$ olmak üzere dinamik basınç $p_{v2} = \rho V^2/2$ olmaktadır. Hava yoğunluğu, ideal gaz hal denklemi uyarınca $\rho = p_0/RT_0$ olup ölçülen değerler ile hesaplanabilir ($R = 287$ J/kg.K). Şartlandırma odasındaki toplam basınç $p_{t2} = p_{s2} + p_{v2}$ ile bulunur. Böylece fanın akışa kazandırdığı toplam basınç $p_t = p_{t2} - p_{t1}$ ile bulunur.

Fanı tahrik eden elektrik motorunun karakteristik eğrileri, bu amaçla kurulmuş ayrı bir test düzeneği ile elde edilmiştir. Fan performans deneylerinde ölçülen devir sayısına karşılık gelen motor verimi (η_m) bu eğriler yardımıyla bulunur. Böylece çalışma noktasındaki fan rotor verimi,

$$\eta_f = \frac{p_t Q}{\eta_m P_e} \times 100 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Deneyler, tam kapalı durumdan serbest akış durumuna dek farklı debilerde tekrar edilir ve sabit devirde çizilen fan tanım eğrileri olan $p_t(Q)$ ve $\eta_f(Q)$ eğrilerine ulaşılır. Deneylerde, artan kısılma etkisiyle motor devrinin düştüğü gözlenmiştir. Bu sebeple debi, basınç ve güç değerleri, fan benzeşim yasaları uyarınca 3500 rpm nominal devir sayısı için ölçeklendirilmiştir. Tüm deneyler 5 kez tekrarlandıktan sonra ortalama ve standart sapma miktarları bulunarak eğriler elde edilmiştir.



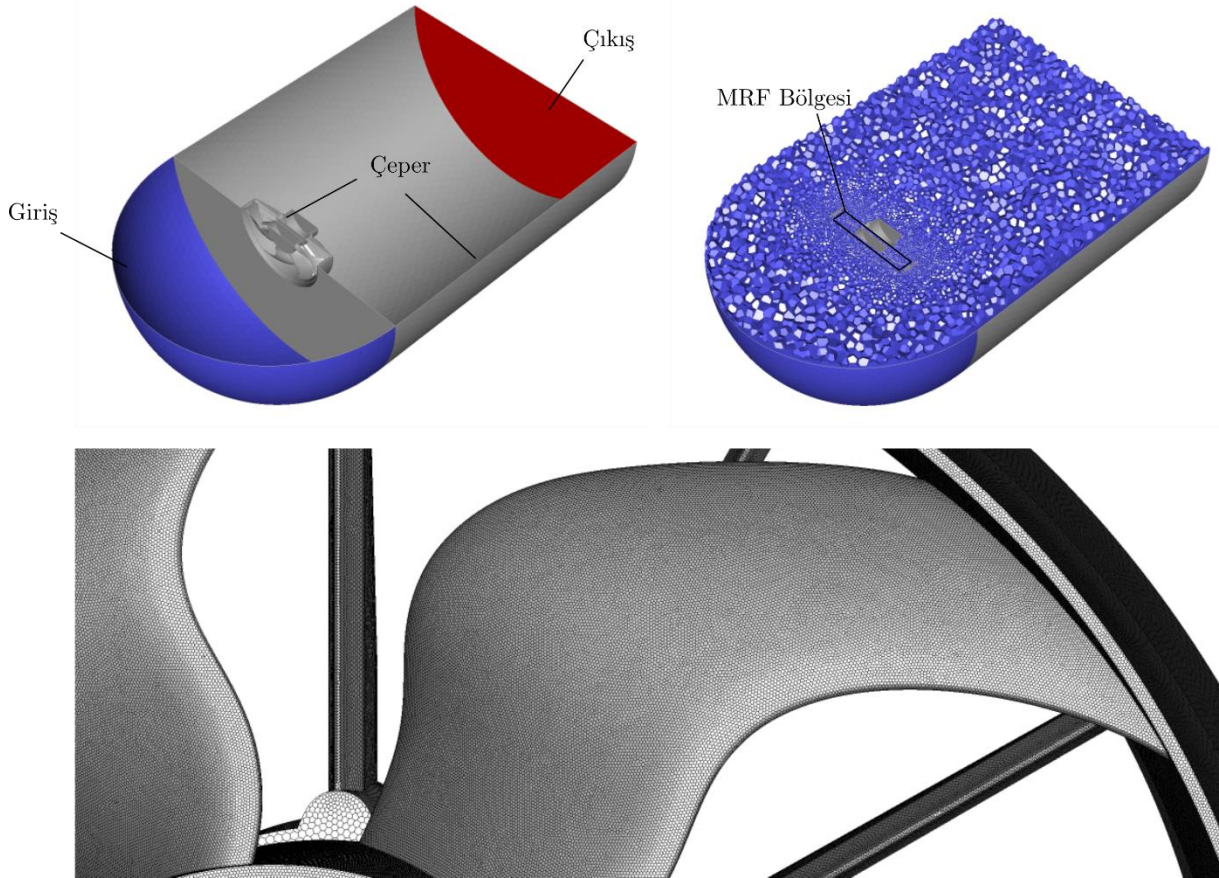
Şekil 3. ANSI/AMCA 210-16 [9] standardına uygun olarak inşa edilmiş test düzeneği.

2.3. Simülasyon Detayları

Fan performansı, sonlu hacimler yöntemine dayalı çalışan ANSYS Fluent 2021 R2 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Problem bölgesi, Bölüm 2.2'de detaylandırılan test düzeneği referans alınarak oluşturulmuştur (Şekil 3). Fluent Meshing yazılımı ile oluşturulan, polihedral tipteki hücrelerden ibaret sayısal ağ Şekil 4'te görülmektedir. Analizlerde fan rotoru, kafes ve elektrik motoru dikkate alınmıştır. Ağdan bağımsızlığın incelenmesi için, ağ yoğunluğu giderek artan 4 farklı ağ kullanılmış olup fan aerodinamik parametrelerinin ağ boyutu değişimine bağlı hassasiyeti tespit edilmiştir. Bu ağların boyutları 250 bin ile 7 milyon arasında değişmektedir. Uygunluğu tespit edilen ağ için kanat üzerinde, ilk hücre yüksekliği 0,05 mm ve ardışık büyüme oranı 1,2 olan 5 katmanlı bir sınır tabaka ağı kullanılmıştır (Şekil 4). Bu sınır tabaka ağı yardımıyla, türbülans modelinin gereksinimi olan boyutsuz ilk hücre yüksekliğinin (y^+) rotor yüzeyinde 1 civarında kalması sağlanmıştır.

Deneylere paralel olarak, akış hacmine girişte toplam basıncın değeri 0 Pa (gösterge) alınmıştır. Akış bölgesinin çıkışında ise statik basınç tanımlanmış olup, fanın farklı çalışma noktalarının simülasyonu için çıkış basıncının değeri değiştirilmiştir. Zamandan bağımsız, türbülanslı, izotermal ve sıkıştırılmaz

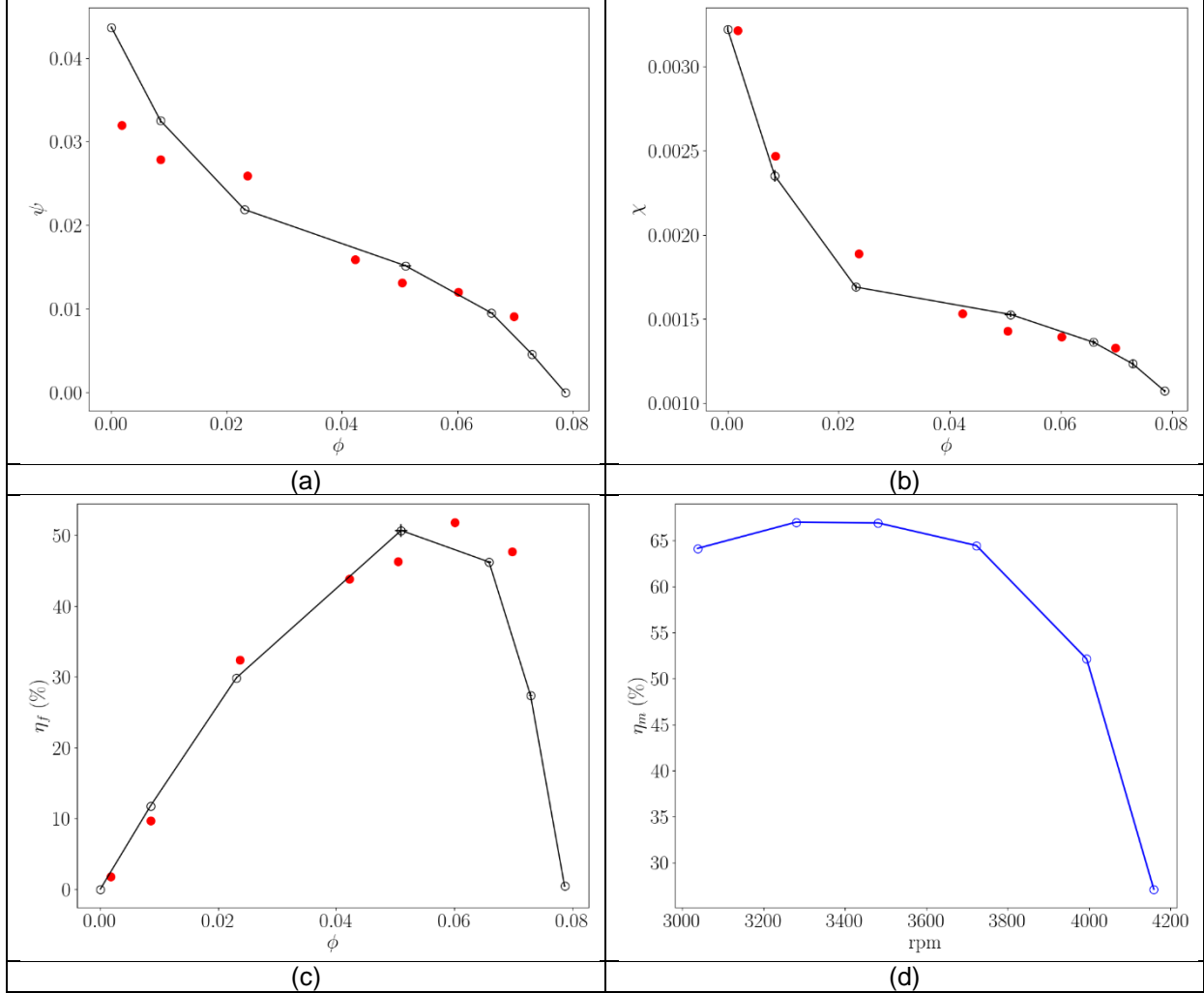
akış kabulleri kullanılmıştır. Fan etrafındaki akış için, donmuş rotor yaklaşımı olarak da bilinen MRF (Multiple Reference Frames) Modeli kullanılmıştır [10]. Bu modelde, fan civarındaki akış bölgesi üzerinde tanımlı ve fan ile birlikte dönen bir koordinat sistemi için yeniden yazılan hareket denklemleri çözülür. Fanın devir sayısı tüm analizlerde sabit (3500 rpm) alınmıştır. Hava yoğunluğu, laboratuvar deneylerinde ölçülen değerler ışığında $\rho = 1,197 \text{ kg/m}^3$ olarak tanımlanmış, viskozite ise $\mu = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ Pa.s}$ alınmıştır. Analizlerde, $k-\omega$ SST türbülans modeli kullanılarak Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemleri çözülmüştür. Giriş sınır şartında türbülans şiddetinin değeri %5 ve türbülans viskozitesi oranı 10'dur. Çözümde basınç-hız çifti için *coupled* yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, ayrıklaştırılan diferansiyel denklemler için temel bilinmeyenler olan hız ve basınç tek bir doğrusal denklem sisteminde birleştirilir ve çözülür. Hücre yüzeylerindeki gradyenlerin hesabı için hücre bazlı en küçük kareler algoritması tercih edilmiştir. Basınç için ikinci mertebe doğruluklu; momentum, türbülans kinetik enerjisi ve özgül türbülans yitim hızı denklemlerinin ayrıklaştırılmasında ise ikinci mertebe – akım yönlü ve ikinci mertebe doğruluklu sonlu hacimler tekniği kullanılmıştır. Her bir çalışma noktasında nümerik çözümün yakınsama kriteri olarak iterasyonlar arasındaki bağıl artış değerinin trendi izlenmiştir. Buna ek olarak, çıkış sınır şartındaki hacimsel debi ile kanat üzerindeki momentin iterasyon sayısına bağlı değişimi izlenmiş, bunlara bağlı olarak yakınsama gerçekleştiğine kanaat getirilmiştir. Yakınsamanın ardından, sistemdeki hacimsel debi, rotor aerodinamik momenti ve deneylerde p_{s2} ölçümü yapılan düzlemdeki ortalama statik basınç değerleri kaydedilerek fan tanım eğrilerine ulaşılmıştır.



Şekil 4. Problem bölgesi, sınır şartları (sol üst), polihedral ağ yapısı (sağ üst) ve rotor yüzeyindeki ağ detayı (alt).

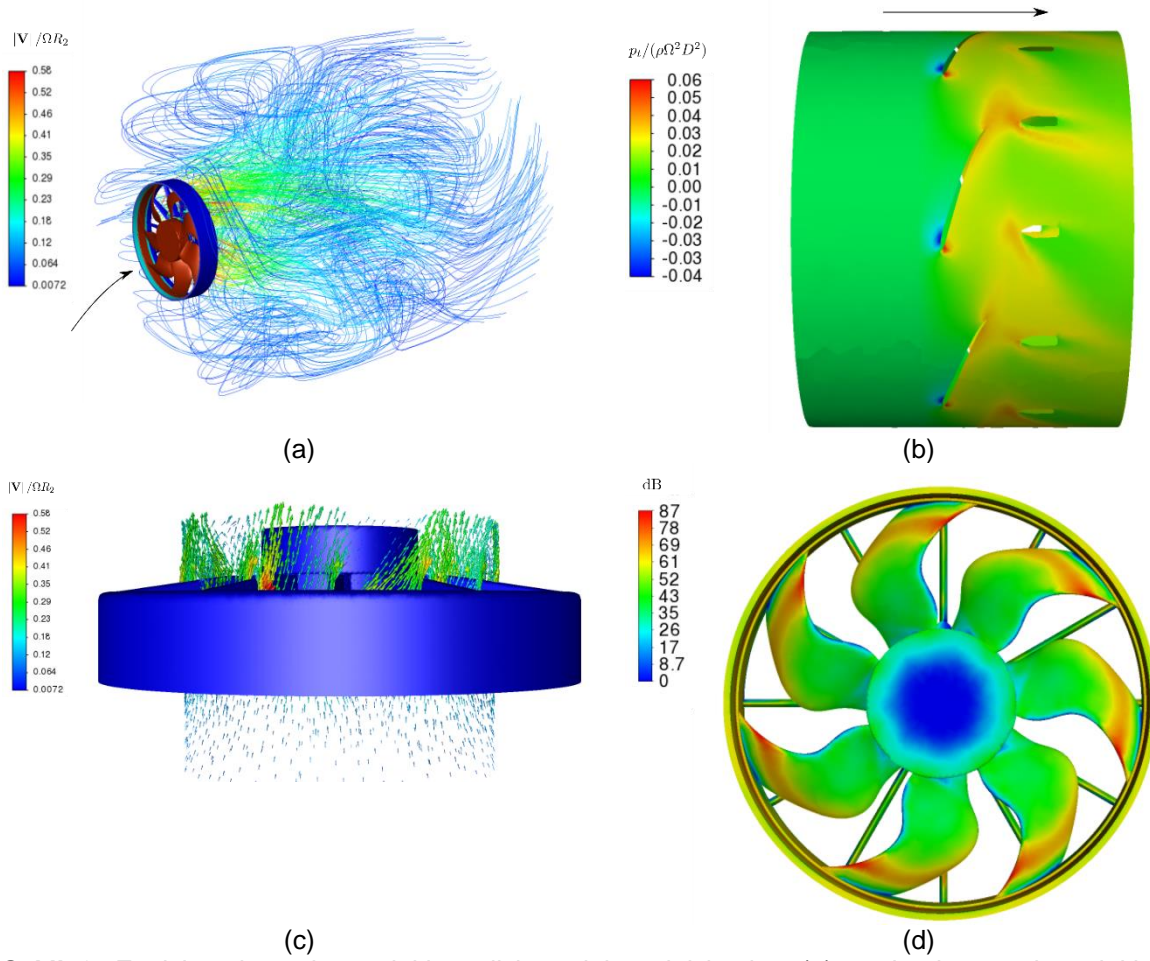
3. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Tekrarlanan performans testleri sonucunda, fanın en iyi verim noktasında, $\Phi = 0,051$, $\Psi = 0,015$, $X = 0.0015$ ve verimi $\eta_f = \%50,7$ bulunmuştur. Performans eğrileri Şekil 5'te görülmektedir. Ayrıca, motor test düzeneğinden elde edilen veriler ışığında motor veriminin devir sayısına bağlı değişimi de Şekil 5'te yer almaktadır. Buna göre elektrik motorunun nominal çalışma devrindeki verimi $\eta_m = \%66$ civarındadır. Bu verimin, deney aralığında (3038 rpm – 4159 rpm) motor yüklemesine bağlı olarak $\%27 - \%64$ aralığında değiştiği görülmektedir.



Şekil 5. Deneyler (siyah) ve simülasyonlarla (kırmızı) bulunan boyutsuz tanım eğrilerinin kıyaslanması: (a) Basınç, (b) Mil gücü, (c) Fan verimi, (d) Motor verimi.

Deneyleri takiben gerçekleştirilen hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerinden elde edilen değerler de Şekil 5'te (kırmızı puntolar) verilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde, nümerik modelin deneyler ile nicel ve nitel olarak uyumlu olduğu söylenebilir. Basınç katsayısının düşük debilerde deneylerden saptığı gözlenmiştir. Bunun başlıca sebepleri, (1) düşük debilerde fan kesitlerindeki bağıl hız açısının kritik stol açısını aşması, (2) kısmi yükleme altında ikincil akışların kanat civarını domine ederek enerji kayıplarına yol açması olarak sayılabilir. Diğer taraftan kanat uyumlu akış beklenen en iyi verim noktası civarında ise uyum daha yüksektir.



Şekil 6. En iyi verim noktasındaki analizlere dair ard işlemler: (a) şartlandırma odasındaki akım çizgileri, (b) Kanat orta düzlemindeki toplam basınç kazancı, (c) Kanat orta düzlemindeki hız vektörleri, (d) Proudman formülüne dayalı hesaplanan kanat akustik gürültüsü.

Sayısal simülasyonlar yardımıyla, akış karakteristiklerine dair yararlı görselleştirmeler elde edilebilir. Şekil 6'da çeşitli görsellere yer verilmiştir. Buna göre, Şekil 6a'daki akım çizgilerinden görüldüğü üzere, fanı terkeden akış, test düzeneğinin yapısı gereği ani genişlemeye maruz kalmaktadır. Fan kafesinin ardında bir yerel akış jeti görülmekte ancak bu, ani genişleme etkisi ile yayılarak hızlar düşmektedir. Şekil 6b'de, fan orta düzleminde boyutsuzlaştırılmış toplam basınç (basınç katsayısı) konturlarına yer verilmektedir. Orta düzlemdeki akış karakteristikleri, eksenal fanın performansını görece düşük bir hata ile tahmin etmeye olanak verdiğinden önemlidir [11]. Burada, rotor kanatları yardımıyla akışa enerji kazandırıldığı ve kafes kanatlarının kısmen de olsa akışı düzeltici bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Daha verimli bir düzeltici kanat tasarımı için, rotor çıkışındaki hız üçgeni yardımıyla mutlak hızın çıkış açısı tahminlenebilir ve kafes kanat formu buna göre revize edilebilir. Kafesi terk eden akışın halen bir girdap (teğetsel) hız bileşenine sahip olduğu, Şekil 6c'deki hız vektörleri yardımıyla gözlenebilmektedir.

Son olarak Şekil 6d'de ise, Proudman formülüne dayalı olarak hesaplanan rotor akustik gürültü düzeyi konturları verilmiştir. Ses dalgalarının enerjisi, akış enerjisine nazaran çok düşük düzeyde olduğundan gürültünün doğrudan simülasyonu güç bir iştir. İdeal durumda akış gürültüsünün temel kaynağı olan türbülansın çözülmesi gerekir. Bunun için DNS (direct numerical simulation), LES (large eddy simulation) gibi yüksek çözünürlüklü çözümlerin zamana bağlı akışlar için gerçekleştirilmesi gerekir. Bu, çok maliyetli bir hesaplama süreci olduğundan ticari uygulamalarda yer bulmaz. Böylesi uygulamalarda, Ffowcs Williams ve Hawkins Modeli ile Geniş Bant Ses Kaynağı Modeli sık kullanılan iki modeldir [10]. Bu çalışmada, pratik bir uygulama örneği olarak Proudman formülüne dayalı Geniş Bant Ses Kaynağı Modeli kullanılmıştır. Bu model özetle, birim hacimdeki izotropik türbülansın

kaynaklı akustik gücü, türbülans model değişkenleri cinsinden bir korelasyonla hesaplar. Buna göre Şekil 6d'de türbülans şiddetinin yoğun olduğu bölgelerin, rotor yüzeyindeki başlıca gürültü kaynağı olduğu ve bunun 87 dB'e varan değerlere ulaştığı tahminlenmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan ticari bir eksenel soğutma fanının performansı, deneysel ve sayısal yöntemlerle saptanmıştır. Analiz ve test sonuçları genel olarak uyumlu bulunmuştur. Deneyler, fanın en iyi verim noktasındaki debi, basınç ve güç katsayısının, $\Phi = 0,051$, $\Psi = 0,015$, $X = 0.0015$ olduğunu göstermiştir. Fan verimi $\eta_f = \%50,7$ bulunmuştur. Motor performans testlerinde ise elektrik motorunun nominal çalışma devrindeki verimi $\eta_m = \%66$ civarında bulunmuştur. Deneylerle uyumlu sonuçlar veren simülasyon metodolojisi, gelecekte fan tasarım süreçlerini hızlandıracağı ve prototip maliyetlerini düşüreceği için şüphesiz yararlı bir araç olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yazarları, simülasyonlar için yazılım/donanım desteği sağlayan ve fan prototipinin performans testlerinin gerçekleştirilmesine imkan veren Faz Elektrik Motor Makina san. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] ABU-RAMADAN, E., DYBENKO, J., SAVORY, E., HUNT, A. G., & MARTINUZZI, R. J., Stator and Support Arm Aerodynamic Performance for Automotive Engine Cooling Fans with Realistic Inlet Conditions, SAE Transactions, 687-697, 2007.
- [2] HUR, K. H., HAIDER, B. A., & SOHN, C. H., A numerical investigation on the performance improvement of axial-flow automotive cooling fan with beads. Journal of Mechanical Science and Technology, 34, 3317-3323, 2020.
- [3] CAROLUS, T. H., BEILER, M., CAROLUS, T., & BEILER, M., Skewed blades in low pressure fans-A survey of noise reduction mechanisms. 3rd AIAA/CEAS aeroacoustics conference (p. 1591), 1997.
- [4] HEROLD, G., ZENGER, F., & SARRADJ, E., Influence of blade skew on axial fan component noise. International Journal of Aeroacoustics, 16(4-5), 418-430, 2017.
- [5] HORVÁTH, C., & VAD, J., Broadband Noise Source Model Acoustical Investigation on Unskewed and Skewed Axial Flow Fan Cascades. Conference on Modelling Fluid Flow CMMF09, 2009.
- [6] PARK, M. J., & LEE, D. J., Sources of broadband noise of an automotive cooling fan. Applied Acoustics, 118, 66-75, 2017.
- [7] ZHANG, L., WANG, R., & WANG, S., Simulation of broadband noise sources of an axial fan under rotating stall conditions. Advances in Mechanical Engineering, 6, 507079, 2014.
- [8] DIXON, S. L., & HALL, C., Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. Butterworth-Heinemann, 2013.
- [9] ANSI/AMCA. Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating. 210-16/ASHRAE 51-16, 2016.
- [10] ANSYS Inc, ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 2021 R2, 2021.
- [11] LEWIS, R.I., Turbomachinery performance analysis. Butterworth-Heinemann, 1996.



ÖZGEÇMİŞ

Sinem GÖKER

1998 yılı İzmir doğumludur. 2022 yılı Haziran ayında Makine Mühendisliği Bölümünü 2.'likle bitirmiştir. Halen Faz Elektrik şirketinde ürün tasarım ve simülasyon mühendisi olarak çalışmaktadır.

Hakan YAMAN

1977 yılı İzmir doğumludur. Evli ve iki çocuk babasıdır. Ön lisans olarak Kırıkkale üniversitesi Kontrol ve otomasyon teknikleri bölümü bitirmiştir. Lisans Anadolu üniversitesi işletme bölümünü bitirmiştir, Aynı Üniversitede ölçme ve veri analitiği üzerine yüksek lisans yapmıştır.1995 yılından bu yana Faz elektrik şirketinde Ar-ge ve proses geliştirme alanında proses geliştirme şefi olarak çalışmaktadır.

Utku ŞENTÜRK

1980 yılı Denizli doğumludur. Evli ve bir kız babasıdır. 2004 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ve 2011 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2015-2016 arasında Princeton Üniversitesi Makina ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nde doktora sonrası araştırma yürütmüştür. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. ünvanı ile görev yapmaktadır. Akışkanlar mekaniği, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı transferi konularında çalışmaktadır.

GYROID ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN AKIŞ VE ISI TRANSFER KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Investion Of Flow And Heat Transfer Characteristics Of Gyroid Heat Exchangers

Alper Mete Genç
Yusuf Yıldırım
Ziya Haktan Karadeniz

ÖZET

Bu çalışmada, Shoen'in Gyroid geometrisinin ısı değiştiricisi olarak ısı performansını deneysel olarak araştırılmıştır. Gyroid, karmaşık geometrisi nedeniyle yalnızca eklemeli üretim yöntemleriyle üretilebilen üç yönlü periyodik minimal yüzeylerden (ÜYPMY) biridir. Düz kanallardan oluşmaması, yapısal bütünlük sağlaması ve girdaplar oluşturması sayesinde bu geometri seçilmiştir. Bu sayede, geleneksel seramik ısı değiştiricilerine göre ısı transferini ve akış performansını artıracakları öngörülmektedir. Deneylerin gerçekleştirilebilmesi için 90, 120 ve 150 m³/h hava debileri seçilmiştir. Bu modelin gelecekte ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarında ısı değiştiricisi olarak kullanılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gyroid, ÜYPMY, ısı transferi, ısı değiştiricisi, eklemeli üretim.

ABSTRACT

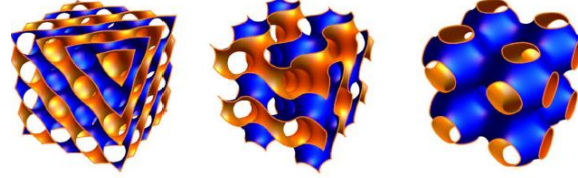
The present study investigates the thermal performance of Shoen's gyroid geometry as a heat exchanger experimentally. The gyroid is one of the triply periodic minimal surfaces (TPMS) that can only be produced by additive manufacturing methods due to its complex geometry. This geometry is chosen because it does not consist of straight channels, provides structural integrity, and creates vortexes. In this way, it is predicted that it will increase the heat transfer and flow performance compared to traditional ceramic heat exchangers. Air flow rates are chosen as 90, 120 and 150 m³/h for the experiments. It is aimed to use this model as a heat exchanger in heat recovery ventilation devices in the future.

Key Words: Gyroid, TPMS, heat transfer, heat exchanger, additive manufacturing.

1. GİRİŞ

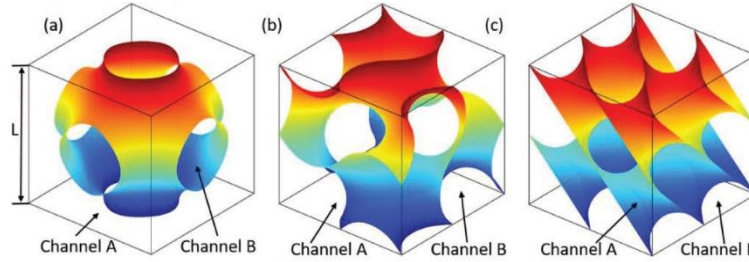
Üstün ısı ve kütle transferi performansları sayesinde gözenekli ortamlar, uzay mühendisliğinde [1], elektronik soğutmada [2], güneş toplayıcılarında [3], metan dönüştürücülerde [4], katalitik dönüştürücü [5] ve tıbbi implantoloji [6] gibi birçok teknik alanda kullanılmaktadır. Belirtilen sistemlere ek olarak diğer uygulama alanı ise ısı değiştiricileridir [7]. Gözenekli ortamlar periyodik (düzenli) ve stokastik (düzensiz) olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Periyodik yapılar içerisinde son zamanlarda en çok kullanılan yapılar Üç Yönlü Periyodik Minimal Yüzeyler'dir (ÜYPMY). ÜYPMY ile ilgili çalışmalar ise ÜYPMY'lerden ilki olan ve Schwarz primitive olarak adlandırılan geometrinin 1865 yılında Schwarz tarafından tasarlanması ile başlamıştır [8]. Daha sonra 1883 yılında Schwarz'ın öğrencisi Neovius tarafından Schwarz diamond (D), Schwarz hexagonal (H), Schwarz Neovius (N) ve Schwarz CLP

olmak üzere 4 farklı ÜYPMY geometrisi geliştirmiştir [9]. 1970 yılına geldiğimizde ise Schoen, yeni keşfedilen on bir ÜYPMY ile birlikte literatürdeki çalışmalarda sıkça kullanılan gyroid (G) yüzeyini tasarlamıştır [10]. Günümüzde 100'den fazla ÜYPMY geometrisi mevcuttur ve birçoğu halen daha çalışmalarda kullanılmaktadır [11]. Şekil 1'de en yaygın ÜYPMY geometrilerinden olan Gyroid, Diamond ve Primitive gösterilmiştir [12].



Şekil 1. Sırasıyla Schwarz D, Shoen's Gyroid ve Schwarz P'nin yüzey modelleri [12].

ÜYPMY'ler yüksek yüzey alanı/hacim oranı sağlayan birbiriyle kesilmeyen iki ayrı üç boyutlu alana sahiptirler. Bu sayede, farklı sıcaklıklardaki iki akışın birbiri ile karışmadan ÜYPMY içerisinden geçmesi sağlanmakta ve verimli bir şekilde ısı transferi yapılabilmektedir. Şekil 2'de A ve B kanalları olarak iki ayrı kanaldan oluşan farklı tiplerdeki birim uzunluğa sahip ÜYPMY'ler gösterilmiştir. Ortalama eğrilik, ÜYPMY üzerindeki herhangi bir noktada sıfırdır ve her bir kanal bütün yönlerde birbirine bağlı olması sayesinde akış herhangi bir doğrultuda serbestçe hareket edebilmektedir. Akış esnasında ÜYPMY'ler içerisinde oluşan girdaplar sayesinde yüzeyde biriken pislik ve partiküllerin yüzeyden atıldığı ve ısı transfer veriminin iyileştiği belirtilmektedir [13]. ÜYPMY'ler doğal yapısal bütünlük sergilemektedir. Eğrilerden meydana gelen yapısı gereğince ÜYPMY'nin her iki tarafına da uygulanan basınç eşittir. Bu sayede yüksek sıcaklık ve basınç gibi zorlu çalışma koşullarına dayanabilirler. Yukarıda belirtilen özelliklerinden dolayı ÜYPMY'ler ısı değiştiricisi olarak kullanım potansiyeline sahiptir [13].



Şekil 2. Bir birim uzunluktaki ÜYPMY: (a) Schwarz yüzeyi, (b) Gyroid yüzeyi ve (c) Diamond yüzeyi. [13]

ÜYPMY'lerin ısı değiştiricisi olarak incelenmesi amacıyla çeşitli deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Chandrasekaran [14], deneysel olarak yaptığı çalışmada, ısı değiştiricisi olarak tasarlanmış 3-B baskılı Schwarz D geometrisini incelemiştir. Benzer performansa sahip ısı değiştiricileri arasında Schwarz D geometrisinin basınç düşümü, gövde borulu ısı değiştiricilerine göre %32 daha az olduğu bulunmuştur. Peng vd. tarafından Schwarz D, P ve Gyroid yüzeyleri, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizi yapılarak sayısal olarak incelenmiştir [13]. ÜYPMY ısı değiştirici tasarım parametrelerini optimize etmek için sayısal bir model geliştirilmiş ve ısı transfer oranları incelenmiştir. ısı transfer oranının geleneksel plakalı ısı değiştiricisine göre 7,5 kat arttığı sonucuna varılmıştır. Attarzadeh vd. [15], farklı duvar kalınlıklarına sahip Schwarz-D ÜYPMY ısı değiştiricisinin ısı performansını incelemek amacıyla HAD analizleri geliştirmiştir. Düşük duvar kalınlığına sahip ısı değiştiricisinin ısı performansının daha yüksek duvar kalınlığına sahip ısı değiştiricisine oranla %250 daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir. Iyer vd. [16] tarafından yapılan çalışmada farklı ÜYPMY ile periyodik düğüm yüzeyleri (PDY) ısı değiştiricilerinin ısı ve akış performansları incelenmiştir. Schwarz-D ısı değiştiricisinin yaklaşık 16 kat daha iyi ısı transfer performansına sahip olduğu görülmüştür.

Sunulan bu çalışmada, eklemeli üretim yöntemiyle üretilmiş Shoen'in Gyroid geometrisinin çapraz akışlı ısı değiştiricisi olarak ısı ve akış performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda farklı debilerde (90, 120 ve 150 m³/h) ve farklı gözeneklilik oranlarındaki (0,77 - 0,82 -

0,87) geometriler için ısı verimleri ve basınç kayıpları elde edilmiş ve analitik modellerle karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Mevcut çalışmada ticari bir matematik yazılımı aracılığıyla Denklem 1'e göre farklı gözenekliliğe sahip (0,77 – 0,82 – 0,87) üç farklı tip Gyroid ÜYPMY ısı değiştiricisi oluşturulmuştur. Ardından, tüm geometriler .STL formatında oluşturularak bir 3-B yazıcıya aktarılmıştır.

$$\cos(x) \sin(y) + \cos(y) \sin(z) + \cos(z) \sin(x) = 0 \quad (1)$$

Isıl verim ve basınç düşümlerini elde etmek için her bir ısı değiştiricisi sırasıyla deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 4'te gösterilmiştir ve aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır:

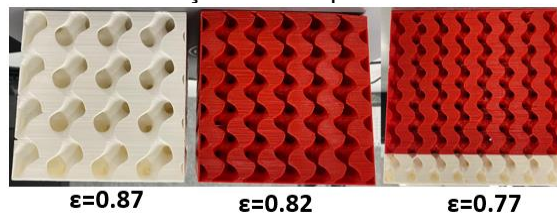
- Havanın sisteme giriş sıcaklıkları, sıcak ve soğuk taraflar için sırasıyla 20 ve 40°C'dir.
- Akışkanın debisi için 90, 120 ve 150 m³/h olmak üzere üç farklı debi seçilmiştir.

Deneyler, TS EN 308 2022 - Isı Değiştiriciler - Havadan Havaya ve Atık Gaza Isı Geri Kazanım Cihazlarının Performansının Belirlenmesine Yönelik Test Yöntemleri Standardı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir [17].

Yöntem alt bölümlerinde, eklemeli üretim, basınç düşümü hesabı, deney düzeneği ve ısı transfer veriminden bahsedilmiştir.

2.1. Eklemeli Üretim Yöntemi

Dördüncü sanayi devrimi olan Endüstri 4.0, akıllı otomasyon teknolojisindeki son harekettir. Bu yeni çağda, yeni bilgi teknolojilerinin entegrasyonu bağlamında eklemeli üretim gibi modern üretim becerilerinin kullanılması, ekonomik rekabet edebilirlikte hayati bir rol oynamaktadır [18]. Bu nedenle, eklemeli üretimin, gelişmiş niteliklere sahip karmaşık nesnelere yaratma kabiliyeti nedeniyle, özelleştirilmiş ürünler üretmek için anahtar bir teknoloji haline gelebileceği düşünülmektedir (yeni malzemeler, geometriler vb.) [18]. Artan ürün kalitesi sayesinde eklemeli üretim, şu anda havacılık, biyomedikal, imalat ve havalandırma sistemleri gibi çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır [19, 20]. Eklemeli üretim, ısı transferi için bileşenlerin tasarlanma ve üretilme şeklini büyük ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir [21]. Eklemeli üretim, diğer geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan farklı karmaşık tasarımlarla test yapma esnekliği sağlar. Avantajlarına ek olarak, hızlı prototipleme, Ar-Ge'nin hızlandırılması ve yedek parçaların zamanında teslimi sağlayabilmektedir [22]. Genel olarak eklemeli üretim, 3 boyutlu bir nesneyi katman katman oluşturma işlemidir. Geleneksel yöntemlere kıyasla daha az malzeme israfı ile kaynakları verimli kullanmamıza yardımcı olur [23]. Eriyik Biriktirme Modellemesi (Fused Deposition Method - FDM), Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering - SLS) ve Stereolitografi (Stereolithography - SLA), ısı değiştiricileri üretiminde en çok kullanılan 3-B baskı teknikleridir. Bu çalışmada, diğer 3-B baskı seçenekleri içerisinde daha ucuz ve en çok kullanılan yöntem olması nedeniyle FDM kullanılacaktır. FDM, eriyik biriktirme yönteminin termal plastiklerin filamanlarını belirli bir modele göre biriktirmek için kullanıldığı bir teknolojidir. FDM yöntemi, bir platformun üzerinde X ve Y yönlerinde hareket edebilen bir yazıcı kafasından oluşur. Şekil 3'te gösterilen üç farklı geometri, FDM 3-B yazıcı tarafından üretilmiştir. Her bir geometri deneysel sisteme yerleştirilmek üzere 114 mm'lik bir kenar ölçüsüne sahiptir.



Şekil 3. Farklı gözeneklilik değerlerine sahip Gyroid ısı değiştiricileri.

2.2. Basınç Düşümü

Literatürde, gözenekli ortamın basınç düşümünü hesaplamak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri Fu vd. tarafından yapılan çalışmada gösterilmiştir [24]. Parçacık veya gözenek çapını (d_p) hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$d_p = \frac{6(1-\varepsilon)}{a_p} \quad (2)$$

Burada ε , gözeneklilik değerini temsil etmektedir. a_p spesifik alandır (m^2/m^3). Yeniden düzenlenmiş Re sayısı aşağıdaki gibidir:

$$Re = \frac{\rho_G V_G d_p}{(1-\varepsilon)\mu_G} = \frac{3}{2} \frac{\rho_G V_G d_h}{\varepsilon \mu_G} \quad (3)$$

Denklem 3'te G , sıvı özelliklerini temsil etmektedir. Ayrıca d_h , hidrolik çap anlamına gelmektedir. Basınç düşümü Denklem 4 ile hesaplanmaktadır:

$$\frac{\Delta P}{\Delta L} = \psi \frac{(1-\varepsilon) F_v^2}{\varepsilon^3 d_p} \quad (4)$$

ψ ifadesi, Ergun denkleminden (Denklem 5) gelen bir direnç katsayısıdır [25]. F_v^2 , sıvı tarafından uygulanan basınç miktarını temsil etmektedir (Denklem 6):

$$\psi = \frac{150}{Re} + 1.75 \quad (5)$$

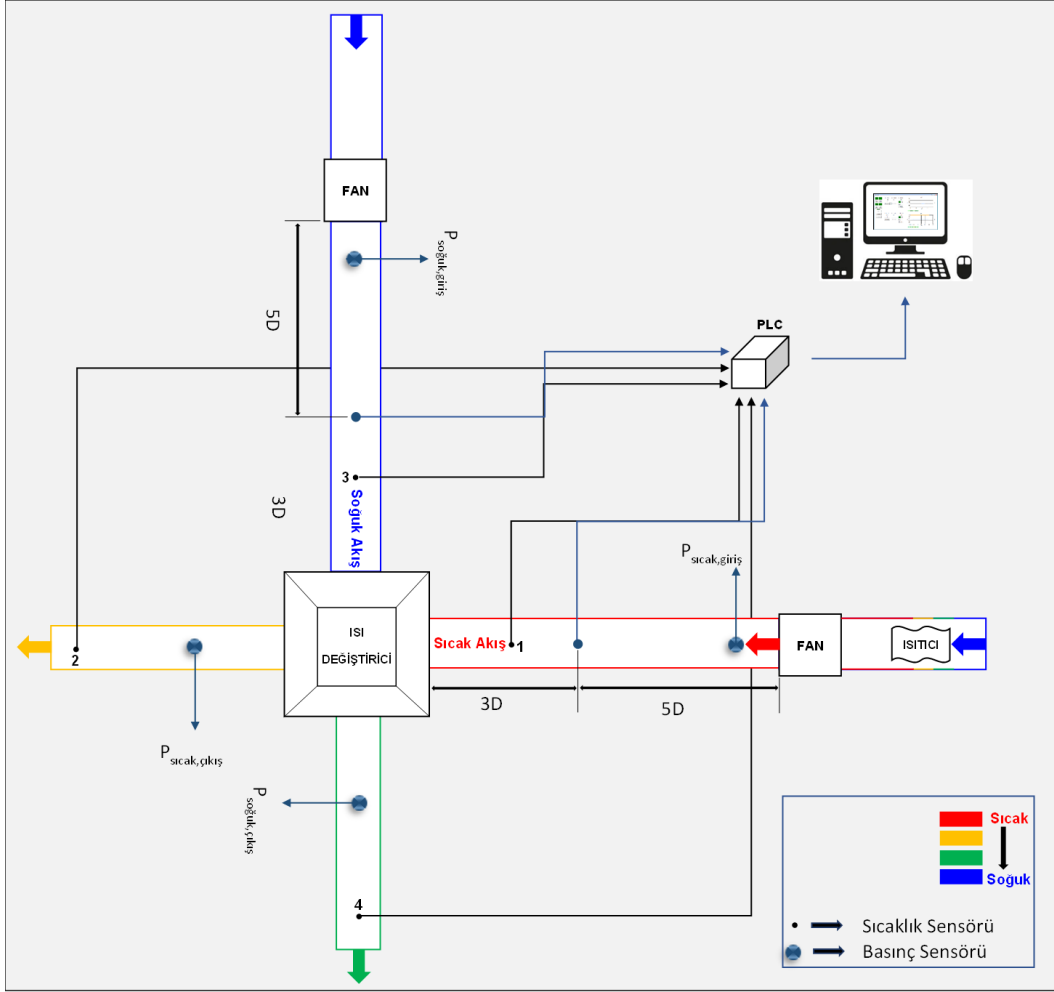
$$F_v = V_G \sqrt{\rho_G} \quad (6)$$

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho V^2 \frac{L}{d_h}} \quad (7)$$

Sürtünme faktörü (f) Denklem 7'de gösterilmiştir. Burada L , ısı değiştiricisinin uzunluğudur.

2.3. Deney Düzeneği

Deney düzeneği, çapraz akışlı ısı değiştiricilerinin gerçek performansını elde etmek üzere tasarlanmıştır. Deney sisteminin daha iyi anlaşılabilmesi adına deney düzeneğinin şematik diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Öncelikle ısı değiştirici kasasında oluşabilecek iç ve dış kaçakların önlenmesi için kapalı gözenekli izolasyon malzemesi uygulanmıştır. Deney düzeneği sıcak ve soğuk akış kanalı olmak üzere iki ayrı kanaldan oluşmaktadır. Sıcak akışın sağlanabilmesi için kanala bir elektrikli ısıtıcı monte edilmiştir. Deney düzeneğinde, sıcak ve soğuk akış için ısı değiştiricisi giriş ve çıkışlarına dört adet sıcaklık ve dört adet basınç sensörü olmak üzere toplam sekiz adet sensör akışa dik olacak şekilde kanala daldırılmıştır. Belirtilen sensörler bir PLC'ye (Programmable Logic Controller – Programlanabilir Mantıksal Kontrolcü) bağlanmıştır. Bu sayede, anlık olarak sıcaklık ve basınç verileri okunabilmektedir. Aynı zamanda PLC'nin bir bilgisayara bağlanması ile tüm veriler kaydedilebilmektedir. TS EN 308 standardına uygunluk sağlanabilmesi adına sıcak ve soğuk akış kanallarında ısı değiştiricisi giriş noktalarındaki sıcaklık farkının 20 °C olmasına dikkat edilmiştir [11]. Isı değiştiricisi girişindeki soğuk hava sıcaklık değerine göre, sıcak hava sıcaklık değeri PLC'ye bağlı elektrikli ısıtıcının oransal olarak ayarlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneği şeması

2.4. Isıl Verim

Deney sonuçlarından elde edilen verilerin analizi için ısı verim TS EN 308 standardı [25] kullanılarak hesaplanmıştır. Isıl verim (η_t) hesabı için sıcak ve soğuk taraflardaki ısı değiştiricisi giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılmıştır. Isıl verim Denklem 8 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\eta_t = \frac{T_{Soğuk_Çıkış} - T_{Soğuk_Giriş}}{T_{Sıcak_Giriş} - T_{Soğuk_Giriş}}$$

Burada;

- $T_{Sıcak_Giriş}$: Sıcak hava giriş sıcaklığı
- $T_{Sıcak_Çıkış}$: Sıcak hava çıkış sıcaklığı
- $T_{Soğuk_Giriş}$: Soğuk hava giriş sıcaklığı
- $T_{Soğuk_Çıkış}$: Soğuk hava çıkış sıcaklığı

3. Bulgular ve Tartışmalar

Deneylere başlamadan önce sistemdeki kaçak oranlarını kontrol edebilmek adına iç ve dış kaçak testleri gerçekleştirilmiştir. Dış kaçak testleri 50, 75 ve 100 Pa basınç altında gerçekleştirilmiştir (Tablo

1). Belirtilen basınçlarda kaçak oranı değerleri %3'ün altında elde edilmiştir (TS EN 308). Bu da sistemden dışarıya önemli ölçüde kaçak olmadığını göstermektedir.

Tablo 1. Dış kaçak oranları.

P_{stat} [Pa]	Kaçak Hava Debisi [m ³ /h]	Kaçak Oranı [%]
0	0	0,00
50	0,35	0,70
75	0,55	1,10
100	0,63	1,26

Tüm ısı değiştiricileri için 25, 50 Pa basınç altında iç kaçak testleri yapılmış ve elde edilen değerler sırasıyla Tablo 2 ve 3'te gösterilmiştir. 25 ve 50 Pa basınç altında bir ısı değiştiricisi kullanılmadığında iç kaçak değerleri %3'ün altında elde edilmiştir. Bu durum, 25 ve 50 Pa basınç altında sistemde kaçak olmadığını göstermektedir. Sisteme ısı değiştiricilerinin eklenmesi ile iç kaçak oranları artmaktadır. 25 Pa basınçta 0,87 ve 0,82 gözenekliliklere sahip geometriler için kaçak oranları %3'ün altında elde edilmiştir (Tablo 2). Ancak, gözeneklilik azaldığında (0,77) kaçak değeri %3'ü geçmiş ve %10,2 değerine ulaşmıştır. 50 Pa basınçta ise yalnızca 0,87 gözenekliliğe sahip geometri için kaçak oranı %3'ün altında elde edilmiştir (Tablo 3). 0,82 ve 0,77 gözeneklilik değerlerindeki geometriler için kaçak oranları sırasıyla %11,5 ve %16,2 olarak elde edilmiştir. Artan basınçla beraber kaçak oranlarının artması beklenen bir durumdur. Ancak, kaçak değerinin %3 değerinin üzerinde çıkması, ısı değiştiricileri içerisinde kaçak olduğunu göstermektedir. Bu da ısı değiştiricilerinin üretim yönteminden kaynaklanmaktadır. Karmaşık yapıdaki ısı değiştiricilerinin FDM ile üretilmesi sonucunda tam olarak boşluksuz bir yapı elde edilememiştir.

Tablo 2. 25 Pa basınç altında iç kaçak oranları.

Geometri	Kaçak Hava Debisi [m ³ /h]	Kaçak Oranı [%]
Gyroid($\epsilon=0.87$)	0,91	1,82
Gyroid($\epsilon=0.82$)	1,50	3,00
Gyroid($\epsilon=0.77$)	5,10	10,20
Isı değiştiricisi yok	0,60	1,20

Tablo 3. 50 Pa basınç altında iç kaçak oranları.

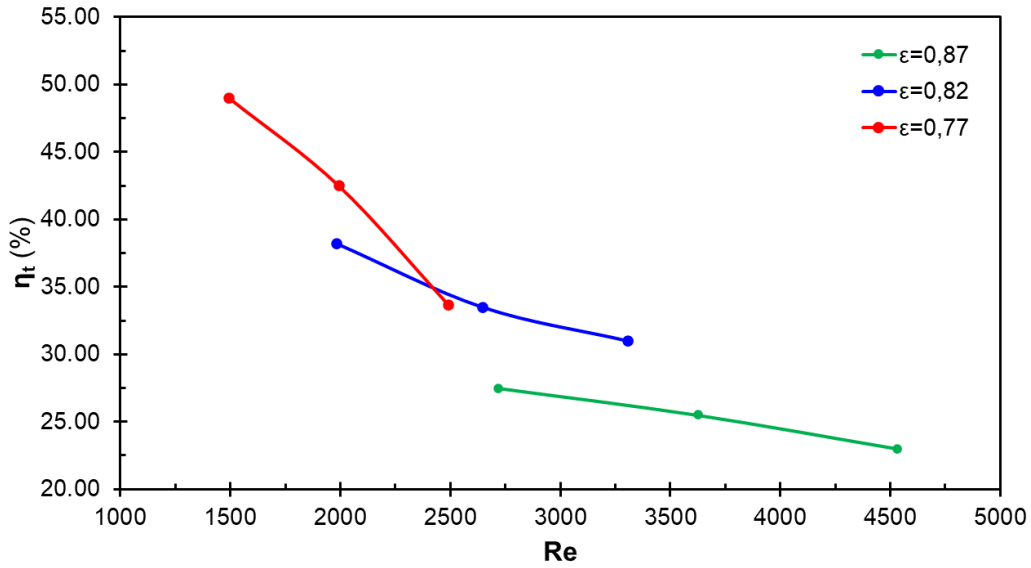
Geometri	Kaçak Hava Debisi [m ³ /h]	Kaçak Oranı [%]
Gyroid($\epsilon=0.87$)	1,43	2,86
Gyroid($\epsilon=0.82$)	5,75	11,50
Gyroid($\epsilon=0.77$)	8,10	16,20
Isı değiştiricisi yok	1,45	2,90

Şekil 5'te ısı verim değerleri gösterilmiştir. Isıl verim sonuçlarına bakılırsa gözeneklilik arttıkça ısı verim azalmaktadır. Burada, artan gözeneklilikte sistem içerisinde ısı transfer yüzey alanı ve türbülans etkisiyle oluşan girdaplar azalmaktadır. Bu da daha düşük ısı verim elde edilmesine yol açmaktadır. Tablo 2 ve Tablo 3 ele alındığında gözenekliliğin azalmasıyla ısı değiştiricisinin karmaşık yapısından dolayı kaçak oranı da artmaktadır. Kaçak oranı ne kadar yüksek olursa, ısı değiştiricisi içerisinde sıcak

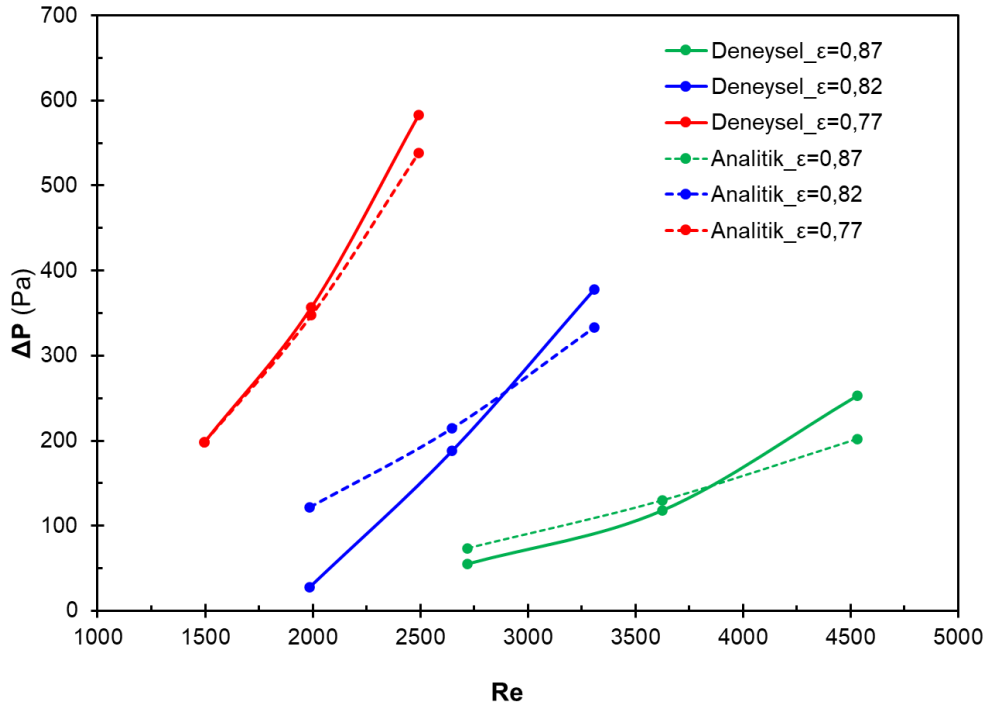
ve soğuk akışların karışmasıyla ısı verim artmaktadır. En yüksek ısı verim değeri %49 olarak gözenekliliğin 0,77 olduğu geometri için elde edilmiştir. En düşük ısı verim ise %23 olarak 0,87 gözenekliliğe sahip geometri için hesaplanmıştır.

Basınç düşümü ve sürtünme katsayıları Bölüm 2.2’de gösterilen denklemler yardımıyla elde edilmiş ve sonuçlar sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir. Deney düzeneğine yerleştirilen basınç sensörleri ile de ölçülerek analitik ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması sağlanmıştır. Basınç düşümleri her bir geometri için sistem içerisindeki akış debisine bağlı olarak artmaktadır. Ek olarak, gözenekliliğin azalması ile basınç düşümü artmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre 0,77 gözenekliliğe sahip geometri için en yüksek basınç düşümü değeri elde edilmiştir. Deney sonuçları ve analitik hesaplamalar sonucu elde edilen basınç düşümü değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu noktada, basınç düşümleri arasında oluşan fark, analitik hesaplama için kullanılan korelasyonların doğrudan sunulan bu çalışmadaki ısı değiştiriciler için elde edilmiş olmamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, basınç ölçümü için kullanılan sensörlerin ölçüm hassasiyeti de hesaba katılmalıdır.

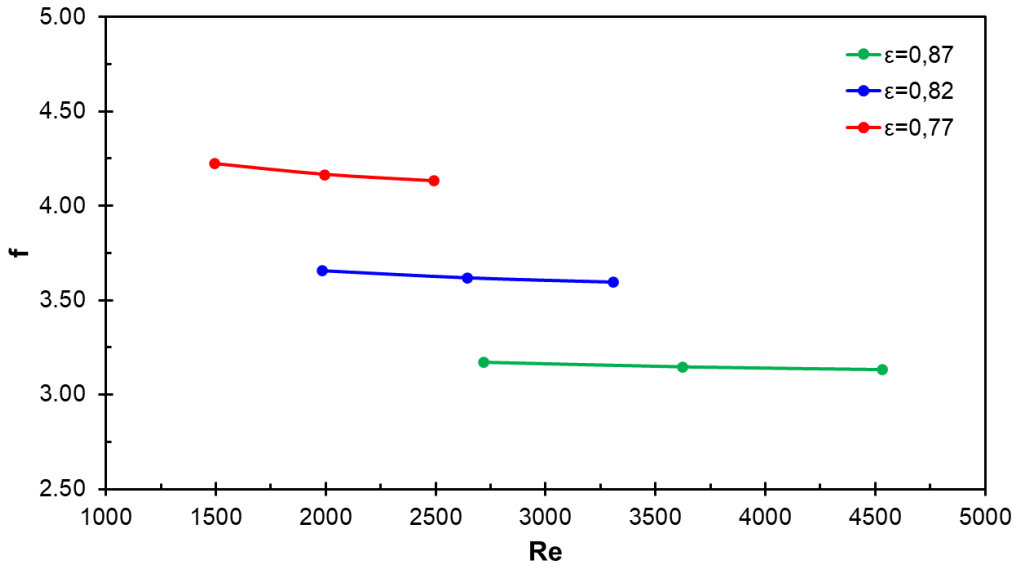
Sürtünme faktörü, tüm geometriler için artan hava debisi ile azalmaktadır. Ayrıca gözeneklilik azaldıkça sürtünme faktörü ve yapısal bütünlük (kompaktlık) de artmaktadır. Bu durum daha rijit bir yapının oluştuğunu göstermektedir. Öte yandan, yapısal bütünlüğü artırmak, daha yüksek bir sürtünme faktörüne neden olur. Bu nedenle, ısı değiştiricisi seçimi yapılırken yapısal bütünlük ve ısı verimin yüksek olmasına dikkat etmekle beraber sürtünme faktörünün de artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, eklemeli üretim sonrasında ısı değiştiricilerinde yapısal bütünlüğün tam olarak sağlanamadığı ve ısı değiştiricilerinde boşluklar olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Isıl verim değerleri



Şekil 6. Deney ve analiz sonuçlarından elde edilmiş farklı Re sayılarına karşılık gelen basınç düşümü değerleri



Şekil 7. Sürtünme faktörü

SONUÇ

Bu çalışmada, FDM eklemeli üretim yöntemi ile üretilmiş farklı gözenekliliklere sahip (0,87 – 0,82 – 0,77) üç farklı Gyroid ısı değiştiricilerinin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Farklı akış debilerinde ve gözeneklilikteki geometriler için ısı verim, basınç düşümleri ve sürtünme faktörleri elde edilmiştir.

Başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- En yüksek verim 0,77 gözeneklilik değerindeki geometri için yaklaşık %50 olarak elde edilmiştir.
- Gözeneklilik değerinden bağımsız olarak artan Re sayısı ile sürtünme faktörü azalmaktadır. Ayrıca, sürtünme faktörü gözeneklilik ile ters orantılıdır.
- Belirlenen tüm basınç değerleri için %3'ün altında dış kaçak oranları elde edilmiştir. Bu da sistemde herhangi bir dış kaçak olmadığı anlamına gelmektedir.
- Tüm geometriler için olmasa da belirli basınç altında iç kaçak oranları %3'ün üzerinde elde edilmiştir. Eklemeli üretim sonrasında ısı değiştiricilerinde yapısal bütünlük tam olarak sağlanamadığı için ısı değiştiricileri içerisinde boşluklar oluşmaktadır. Isı değiştiricilerinin yeniden üretilmesi ve SLS, SLA gibi farklı bir eklemeli üretim yöntemi kullanılarak test edilmesi gerekmektedir.

Eklemeli üretim sonrasında ısı değiştiricilerindeki boşluklardan dolayı farklı bir eklemeli üretim yöntemi ile aynı geometriler yeniden üretilecektir. Bu sayede ısı değiştiricilerinin gerçek performansları elde edilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Y.Q. Liu , P.X. Jiang , S.S. Jin , J.G. Sun , Transpiration cooling of a nose cone by various foreign gases, *Int. J. Heat Mass Transf.* 53 (2010) 5364–5372 .
- [2] A. Ghahremannezhad , K. Vafai , Thermal and hydraulic performance enhance- ment of microchannel heat sinks utilizing porous substrates, *Int. J. Heat Mass Transf.* 122 (2018) 1313–1326 .
- [3] P. Wang , K. Vafai , Modeling and analysis of an efficient porous media for a solar porous absorber with a variable pore structure, *ASME J. Solar Energy* 139 (2017) 051005 .
- [4] P. Qian , J.Y. Wang , Z.H. Wu , J. Yang , Q.W. Wang , Performance comparison of methane steam reforming in a randomly packed bed and a grille-sphere com- posite packed bed, *Energy Convers. Manage.* 193 (2019) 39–51 .
- [5] U. Scheithauer , E. Schwarzer , G. Ganzer , A. Kornig , W. Becker , et al. ,Micro-re- actors made by lithography-based ceramic manufacturing (LCM), *Ceram. Trans. Ser.* 258 (2016) 31–41 .
- [6] H.-U. Nissen, Crystal orientation and plate structure in echinoid skeletal units, *Science*, vol. 166, no. 3909, pp. 1150–1152, 1969. DOI: 10.1126/science.166.3909.1150.
- [7] Cheng, Z., Xu, R., & Jiang, P. X. (2021). Morphology, flow and heat transfer in triply periodic minimal surface based porous structures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 170, 120902.
- [8] H.A. Schwarz, Ueber ein Modell eines Minimalflächenstückes, welches langs seiner Begrenzung vier gegebene Ebenen rechtwinklig trifft. In: *Gesammelte Mathematische Abhandlungen*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 149–150, 1890.
- [9] E.R. Neovius, Bestimmung Zweier Spezieller Periodischer Minimalflächen, *Akad. Abhandlungen*, Helsinki, Finland, 1883.
- [10] A. H. Schoen, Infinite periyodik minimal surfaces without selfintersections, *NASA Technical Note No. D-5541*, NASA, 1970.
- [11] E.A. Lord and A.L. Mackay, Periyodik minimal surfaces of cubic symmetry, *Curr. Sci.*, vol. 85, no. 3, pp. 346–362, 2003.
- [12] Genç, A. M., Vatansever, C., Koçak, M., & Karadeniz, Z. H. (2022, May). Investigation of additively manufactured triply periodic minimal surfaces as an air-to-air heat exchanger. In *CLIMA 2022 conference*.
- [13] Peng, H., Gao, F., & Hu, W. (2019). Design, modeling and characterization of triply periyodik minimal surface heat exchangers with additive manufacturing. In *30th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium—An Additive Manufacturing Conference*.
- [14] Chandrasekaran G. 3D Printed HeatExchangers: An Experimental Study. 2018.
- [15] Attarzadeh, R., Rovira, M., & Duwig, C. (2021). Design analysis of the” Schwartz D” based heat exchanger: A numerical study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 177, 121415.



- [16] Iyer, J., Moore, T., Nguyen, D., Roy, P., & Stolaroff, J. (2022). Heat transfer and pressure drop characteristics of heat exchangers based on triply periodic minimal and periodic nodal surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 209, 118192.
- [17] TS EN 308: Isı Değiştiricileri - Havadan havaya veatık gazlardan ısı kazanımı cihazlarının performansının tayini için deney metotları, 2022.
- [18] Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545-554.
- [19] Ayar, O., Yalçinkaya, M. A., Karadeniz, Z. H., Gezgın, E. 2017. "Isı Geri Kazanımlı Havalandırma Cihazları İçin 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilebilecek Isı Değiştirici Tasarımı ve İmalatı" 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 19-22 Nisan, İzmir.
- [20] Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F., 2016. "Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints", *CIRP Annals: manufacturing technology*, 65(2), 737-760.
- [21] Catchpole-Smith, S., Sélo, R. R. J., Davis, A. W., Ashcroft, I. A., Tuck, C. J., & Clare, A. (2019). Thermal conductivity of TPMS lattice structures manufactured via laser powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 30, 100846.
- [22] Tirelli, V. (2020, May). Additive Manufacturing in Heat Exchangers and Valves. In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference.
- [23] Danayat, S. S. (2019). Investigating 3-D Printed Polymer Heat Exchanger (Doctoral dissertation, Arizona State University).
- [24] Fu, Y., Bao, J., Wang, C., Singh, R. K., Xu, Z., & Panagakos, G. (2019). CFD Study of Countercurrent Flow in Triply Periyodik Minimal Surfaces with CO₂BOL Solvent (No. PNNL-29590). Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States).
- [25] Ergun, S., & Orning, A. A. (1949). Fluid flow through randomly packed columns and fluidized beds. *Industrial & Engineering Chemistry*, 41(6), 1179-1184.

ÖZGEÇMİŞ

Alper Mete GENÇ

1991 yılı Kütahya doğumludur. 2015 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünü bitirmiştir. İzmir Dokuz Eylül Üniversitesinden 2018 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2018 yılından beri İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Doktora Eğitimine devam etmektedir. Güneş Enerjisi, Nanoakışkan, Isıtma-Havalandırma ve Soğutma Uygulamaları, Eklemeli Üretim konularında çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Yusuf YILDIRIM

1999 yılı Adana doğumludur. 2018 yılında İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliğine başlamıştır. Hala aynı okulda ve aynı bölümde 4.sınıf olarak eğitim görmektedir. 2020 ve 2021 yıllarında sırasıyla ÖZGÜL ÇELİK ve SANEM PLASTİK Şirketlerinde 3 ay süren stajlarını tamamlamıştır. Ekim 2022'den bu yana ENEKO Havalandırma Şirketi'nde yarı-zamanlı olarak çalışmaktadır.

Ziya HAKTAN KARADENİZ

1980 yılında İzmir'de doğan Ziya Haktan KARADENİZ; 2002 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden, 2005 ve 2011 yıllarında ise sırasıyla aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans ve Doktora Programlarından mezun olmuştur. 2002-2013 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 2022 yılından beri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Rüzgâr enerjisi, HVAC Bileşenlerinin 3B eklemeli Üretimi, Nanoakışkanlar konuları üzerinde çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

KELEBEK VANA KARAKTERİSTİK EĞRİLERİNİN AÇIK KAYNAKLI HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ İLE BELİRLENMESİ

Determination of Butterfly Valve Characteristic Curves with Open-Source Computational Fluid Dynamics

**Tarcan Örnek
Erdem Kaya
Utku Şentürk**

ÖZET

Kesme veya kısılma görevinde görece daha düşük basınç düşüşü beklenen kelebek vanalardan talep edilen hassasiyet yüksektir. Performans iyileştirilmesinde etken faktör ise vana içerisindeki akış fiziğinin daha iyi anlaşılmasıdır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği araçları bir vana etrafındaki akışları gözlemlemek ve bir vananın performansını tahmin etmeyi mümkün kılmaktadır. Son yıllarda, yüksek lisanslama maliyetlerine sahip ticari yazılımlara alternatif olarak açık kaynaklı ve lisans ücreti gerektirmeyen yazılımlar dikkat çekmektedir. Sonlu hacimler yöntemine dayalı ve endüstriyel problemlerin akış simülasyonları için uygun açık kaynaklı çözümlerden biri olan OpenFOAM'un vana uygulamalarındaki kabiliyetlerinin ortaya koyulması bu noktada önem arz etmektedir. Bu çalışmada, bir kelebek vananın hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri OpenFOAM ile gerçekleştirilmiş ve vana performans eğrileri ile akış fiziğine dair detaylı ard-işlem bulguları elde edilmiştir. Bunlar ile aynı problemin ticari yazılımlara dayalı çözümleri karşılaştırıldığında eşdeğer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Farklı akış fiziklerini çözümüleme kabiliyeti, açık kaynaklı yapısından dolayı geliştirilebilir olması ve şüphesiz lisanslama ücreti gerektirmemesi OpenFOAM'u vana geliştiricileri için yüksek önem derecesine ulaştırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, OpenFOAM, vana, kelebek vana.

ABSTRACT

The precision required for butterfly valves that need low pressure drops in cut-off or throttling is high. A better understanding of the flow dynamics inside the valve is crucial for improving performance. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations can provide insight into the flow patterns around the valve and predict its performance. In recent years, open-source CFD software, such as OpenFOAM, has gained popularity due to the absence of licensing fees compared to commercial software. OpenFOAM, a finite volume method-based open-source solver, is suitable for simulating industrial flow problems and has been evaluated for its potential in valve applications. This study performed CFD simulations of a butterfly valve using OpenFOAM and analyzed the results to obtain performance curves and flow physics insights. The findings showed that OpenFOAM can produce equivalent results compared to commercial software simulations of the same problem. The ability to simulate different flow physics, the flexibility for development due to its open-source structure, and the absence of licensing fees make OpenFOAM an attractive option for valve developers.

Key Words: Computational fluid dynamics, OpenFOAM, valve, butterfly valve.

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte test ve ölçüm ekipmanlarına erişimin kolaylaşması zorlu mühendislik problemlerinin daha ayrıntılı incelenmesine imkan vermiştir. Akışkan hareketini tanımlayan temel denklemlerin, nümerik yöntemlere dayalı çözümlerinin elde edilmesini sağlayan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), vana tasarım süreçlerinde önemli rol oynamaktadır. Kısa zamanda bir çok sanal prototipin oluşturulması ve yüksek doğrulukla test edilmesini sağlayan HAD yöntemi pratikliğin esas olduğu günümüzde vana tasarımcıları için vazgeçilmezdir.

OpenFOAM (Open Source Field Operation And Manipulation), açık kaynaklı bir sayısal çözüm platformudur. Skaler, vektörel veya tensörel değişkenlere sahip, genel transport denklemleri formundaki herhangi bir kısmi diferansiyel denklemin sayısal çözümü için kullanılabilir [1]. Bu açık kaynak kodlu, dolayısıyla ücretsiz HAD yazılımında akışa ilişkin korunum denklemleri, sonlu hacimler yöntemine dayalı ayrıklaştırma ile cebirsel denklemlere dönüştürülür ve çözülürler [2].

Simülasyonlar için açık kaynaklı yazılımların kullanılması, ticari programların kullanımına göre sayısal modelleme süreci üzerinde daha ayrıntılı kontrol imkanı ve elde edilen sonuçların doğrulanması ve tekrarlanması için daha iyi koşullar sağlar. Özgün imalat yapan vana üretici sayısının oldukça az olduğu ve dolayısıyla vana ithalatçısı olan ülkemizde [3] OpenFOAM gibi paylaşılabilir, ticari amaçlar için geliştirilebilir bir modern ar-ge aracının bilinirliğinin artırılması ve içselleştirilmesi, dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Dünya genelinde OpenFOAM'un vana uygulamalarındaki kullanımı oldukça yaygındır. Literatürden sürgülü vana [4], yüksek basınçlı türbin kontrol vanası [5] ve dikme vanası [6] zamandan bağımsız çözümlerine ve bu çözümlerin deneysel verilerle olan uyumlarına ulaşmak mümkündür. Zorlu akış fiziklerine yönelik geniş kütüphaneye sahip yazılım, sıkıştırılabilir akış simülasyonlarını [7] emniyet vanası [8] için gerçekleştirebilir, çok fazlı modelleme kabiliyeti [9,10] sayesinde bir küresel vana içerisindeki kavitasyonu [11,12], katılaşmayı [13] veya spray akışını [14] analiz edebilir. OpenFOAM, Reynolds-Averaged Navier–Stokes (RANS) türbülans modellerinin yetersiz kalabildiği vana uygulamalarında akışkan çalkantıların görülebildiği Large Eddy Simulation (LES) ve Detached Eddy Simulation (DES) modellerini sunduğu gibi, bu çalkantıların direkt olarak çözülebildiği Direct Numerical Simulation (DNS) yöntemini de içerisinde barındırmaktadır. Literatürde bir iğneli vananın LES [15] ve bir valf/piston montajının DNS [16] türbülans modelleriyle yapılmış çalışmaları bulunmaktadır. Ticari yazılımlarda da bulunan paralel hesaplama kabiliyeti [17] sayesinde büyük hesaplama yükü getiren zamana bağlı bu modelleri çok sayıda çekirdeğe dağıtarak koşturabilmektedir. Oluşturulan ağır çözümler sırasında deforme olmasına imkan veren dinamik ağ yönteminin OpenFOAM ile analiz edilebilmesi [18], emniyet vanası [19, 20, 21], sürgülü vana [22] ve sübap [23, 24] performansının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Borularda su darbesinin de başarıyla modellenmesi [25] sayesinde vana uygulamalarında OpenFOAM'un giderek yaygınlaşacağı rahatlıkla söylenebilir.

Bu çalışmada, içerdiği karmaşık fizikten dolayı zorlu problemlerden birisi sayılabilecek kelebek vana içerisindeki akış açık kaynaklı hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ele alınmış, vana performans eğrileri ve akış fiziğine dair detaylı ard-ışlem bulguları elde edilmiştir. Bulgular, aynı problemin literatürden elde edilen deneysel ölçümleri ve ticari yazılımlara dayalı çözümleri ile karşılaştırılmıştır.

2. VANA KARAKTERİSTİK KATSAYILARI

Vana akış katsayısı K_V (m^3/s), ρ_{ref} (kg/m^3) su yoğunluğu, ρ (kg/m^3) akışkanın yoğunluğu, ΔP (Pa) basınç düşüşü olmak üzere $P_{ref}=1 \text{ bar}=10^5 \text{ Pa}$ basınç düşüşü durumunda vana içerisinden geçen akışkanın Q (m^3/s) hacimsel debisini tanımlar [27],

$$K_v = Q \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Delta P} \times \frac{\rho}{\rho_{ref}}} \quad (1)$$

ile ifade edilir. Basınç düşüşü ΔP_{Test} (Pa), test prosedürüne göre vana yukarı akım ve aşağı akımından ölçülen statik basınçların farkıdır. D (m) boru iç çapı, ε (m) yüzey pürüzlülüğü, μ (kg/m-s) akışkanın dinamik viskozitesi, V (m/s) ortalama akış hızı ve Reynolds sayısı $Re = \rho V D / \mu$ ile Colebrook denklemi [28],

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3)$$

kullanılarak f sürtünme faktörü hesaplanır. Ölçüm noktaları arasındaki düz boru mesafesi L (m) olmak üzere ΔP_{Boru} (Pa) boru kayıpları,

$$\Delta P_{Boru} = f \frac{L V^2}{D} \frac{\rho}{2} \quad (4)$$

yardımıyla hesaplanır. Böylece vana basınç düşüşü,

$$\Delta P = \Delta P_{Test} - \Delta P_{Boru} \quad (5)$$

ile hesaplanır ve Denklem 1'de verilen K_v elde edilir.

Hidrodinamik tork T (Nm), belirli bir α (°) vana açılma açısında vanadan geçen akışkanın şafta uyguladığı dönme yüküdür. Hidrodinamik tork katsayısı C_t boyutsuz bir parametredir ve

$$C_t = \frac{T}{\Delta P \cdot D^3} \quad (6)$$

ile ifade edilir [26].

3. HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ MODELİ

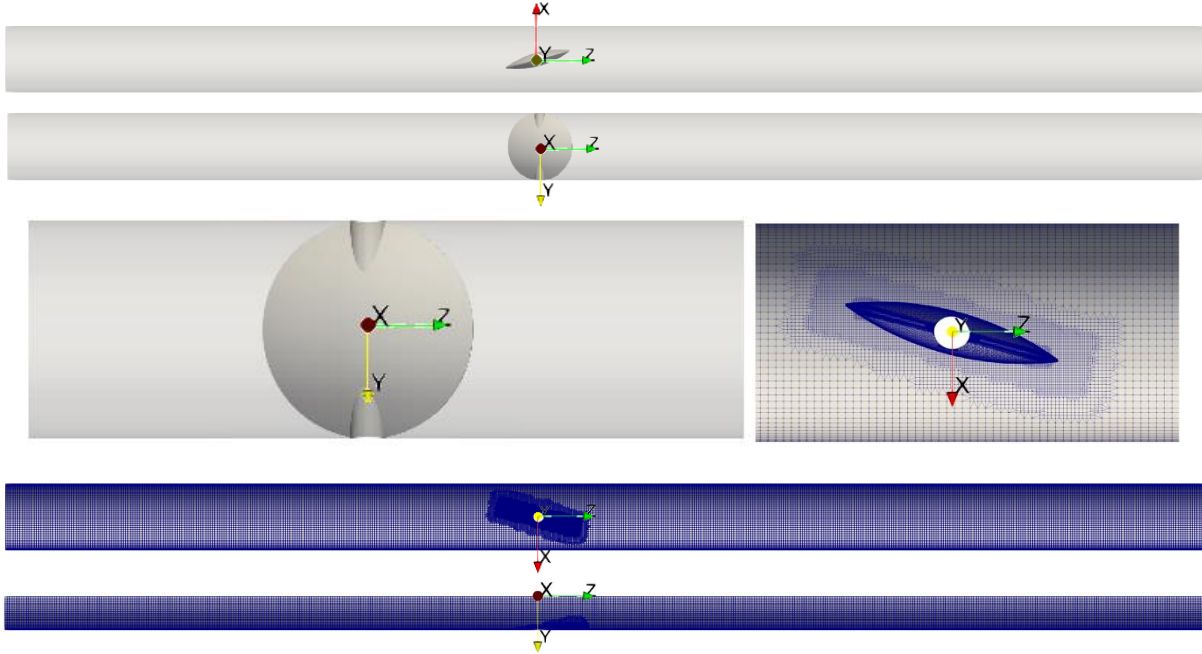
Çalışmada ele alınan kelebek vana görseli Şekil 1'de verilmiştir [26]. İçerisinden $\rho = 998,2$ kg/m³ yoğunluğa ve $\mu = 1,003 \times 10^{-3}$ kg/m-s dinamik viskoziteye sahip su geçen, iç çapı $D = 1.8$ m olan

vananın iç yüzeyleri işlenmiş olup yüzey pürüzlülüğü $\varepsilon = 5 \times 10^{-4}$ m'dir. Disk şeklindeki vana, en yüksek 0.36 m, en düşük 0.02 m kalınlığa sahiptir,



Şekil 1. Kelebek vana fotoğrafı [26].

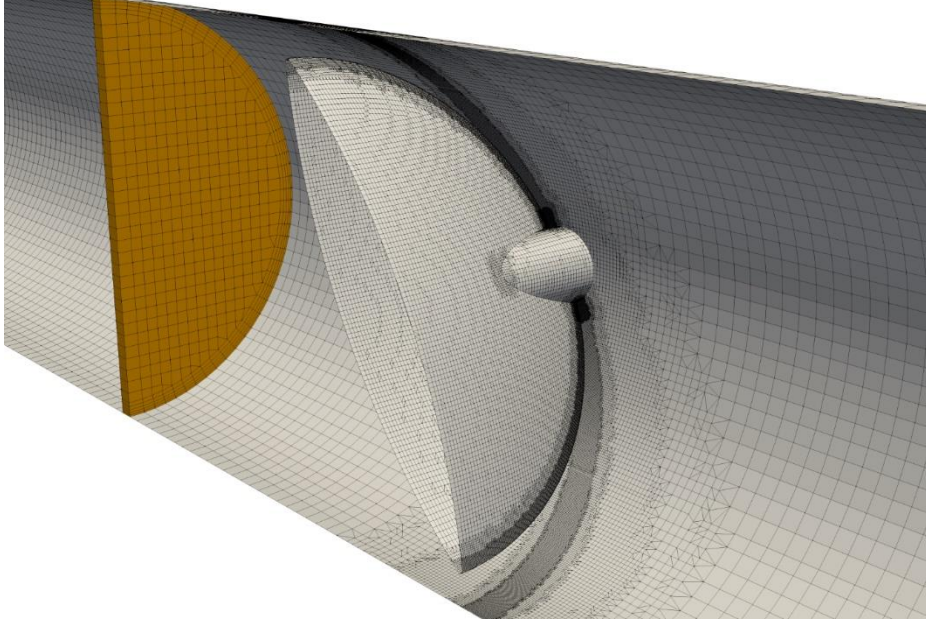
Kelebek vana Şekil 2'de görüldüğü üzere XZ düzlemine göre simetriktir. Bu sayede çözümlenme yükünü azaltabilmek adına hesaplama bölgesinin sadece yarısı analize dahil edilmiştir. Girişte tam gelişmiş türbülanslı akış profili oluşturabilmek ve çıkışta olası girdap akımlarının çözümlenmeye etkisini ortadan kaldırmak için referans alınan araştırmaya uygun olacak şekilde yukarı akım uzunluğu $8D$ ve aşağı akım uzunluğu $10.2D$ olan simetrik bir hesaplama bölgesi oluşturulmuştur (Şekil 2). Yukarı akım girişinde uniform hız $V = 3$ m/s olarak tanımlanmış ve aşağı akım çıkışında basınç gradyeni sıfıra eşitlenmiştir. Vana açılma açısı, $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ile tüm açıklığı tarayacak şekilde çeşitlendirilmiştir.



Şekil 2. Akış hacmi geometrisi, hesaplama bölgesi ve sayısal ağ

Kartezyen ağ örme algoritmaları, yüksek kaliteli elemanları daha az eleman sayısı ile sunabilmesiyle HAD simülasyonlarında sıkça kullanılmaktadır. Kartezyen ağlarda, ağın oluşturulma süresi diğer eleman tiplerine göre daha uzun sürmekte ancak eleman sayısının azaltılması ile çözümlenme süresi kısalmaktadır. OpenFOAM bünyesinde sunulan *snappyhexmesh* algoritması [29], Kartezyen yapıdaki bir ağın geometri yüzeyleriyle kesişen elemanlarını keserek (İng:cut-cell) ağ örmekte ve bu tip bir endüstriyel uygulamada rahatlıkla kullanılabilir.

Bu doğrultuda *snappyhexmesh* algoritması ile örülen yaklaşık 1,600,000 elemana sahip ağın en düşük ortogonal kalite değeri 0,18 ve en yüksek çarpıklık değeri 0,8'dir. Hesaplama bölgesi genelinde 0.06 m'lik elemanlar vana yakınında 0.02 m'ye, vana kalınlığının azaldığı bölgelerde 0.005 m'ye ve şaft yakınında 0.002 m'ye kadar düşürülmüştür. Oluşturulan sayısal ağın görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Vana yüzeyindeki ve bir kesit üzerindeki sayısal ağ

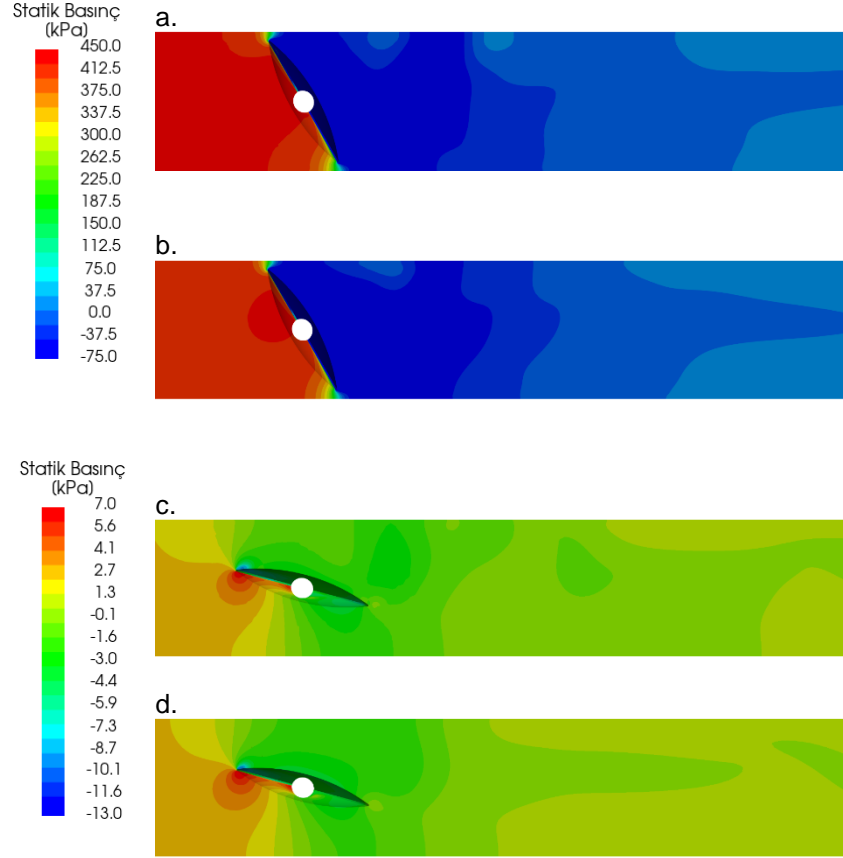
Hesaplama bölgesinin giriş basıncı ve vana hidrodinamik torku yakınsamayı görebilmek için çözümler süresince gözlemlenmiştir. Referans çalışmadan [26] farklı olarak $k-\omega$ türbülans modeli seçilmiştir. Çözümlerde ikinci mertebe ayrıklaştırma tanımlanmış olup, basınç hız birlikteliği SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) algoritması ile garanti altına alınmıştır [30].

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Simülasyonlar hem açık kaynak kodlu OpenFOAM hem de referans alınan çalışmayla aynı ticari HAD yazılımında [26] çözümlenmiş olup, vana karakteristik eğrileri için ihtiyaç duyulan veriler sayısal olarak elde edilmiştir. Ard-işlemler aynı görselleştirme aracıyla gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4'te $\alpha = 30^\circ$ ve $\alpha = 75^\circ$ açıklıkta disk etrafındaki basınç dağılımının iki çözücü için nitel olarak karşılaştırılması sunulmuştur. Basınç dağılımı, farklı açıklıklarda her iki çözücü için neredeyse aynıdır. Görsellerde disk hücum kenarındaki yüksek basınç bölgesinin OpenFOAM'da $\alpha = 30^\circ$ için daha büyük, $\alpha = 75^\circ$ için daha küçük olduğu görülebilir.

Hız dağılımı, her iki çözümler için aynı aralıklarla vana simetri düzleminde verilmiştir (Şekil 5). Akışın disk ile çeper arasında kalan küçük alanda 10 kat hızlandığı $\alpha = 30^\circ$ için her iki çözücü yüksek uyum sergilemiştir. Etkinin daha çok sınır tabakada görüldüğü $\alpha = 75^\circ$ için çözümler benzer deseni oluşturmuşlardır.

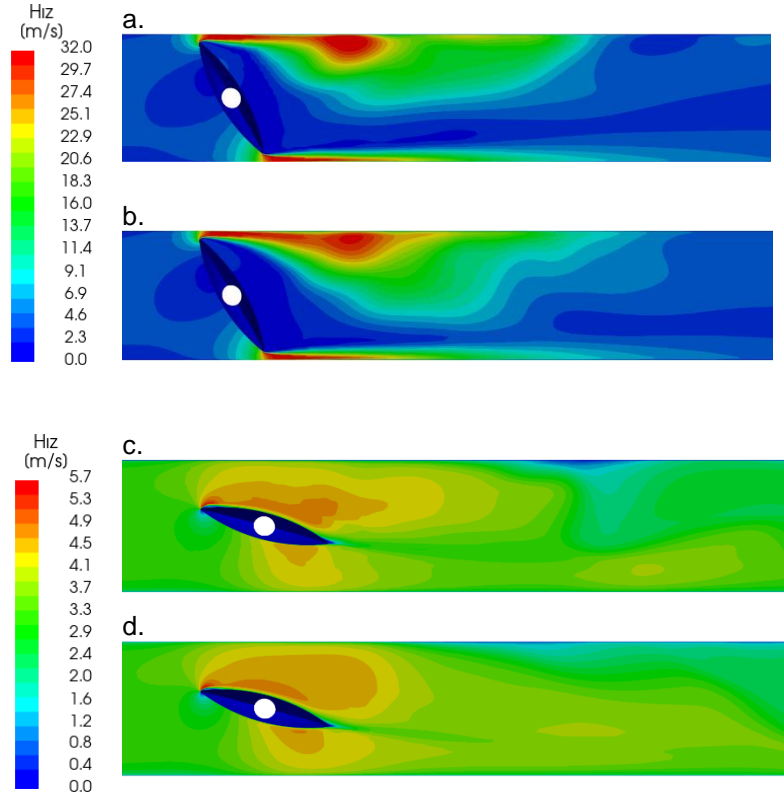


Şekil 4. XZ düzleminde basınç dağılımları. $\alpha = 30^\circ$ için a. OpenFOAM b. Ticari HAD ve $\alpha = 75^\circ$ için c. OpenFOAM d. Ticari HAD

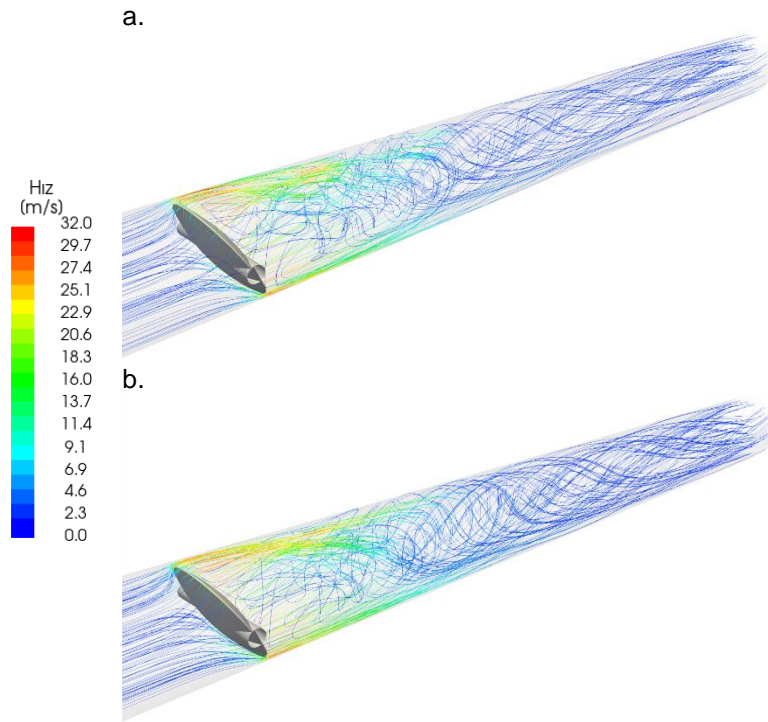
Düşük açıklıklarda ($\alpha < 30^\circ$) disk etrafındaki akış oldukça hızlanmakta, disk arkasında geniş girdap bölgeleri oluşturmaktadır. Disk uçlarından ayrılan akış çözümlenme davranışını her iki çözücü için etkilemektedir. Yüksek açıklıklara göre daha zor yakınsamalar ve dalgalanmalar görülmüştür. Bu tip durumlarda daralan bölgelerdeki elemanlar ve özellikle duvar yakınındaki katmanların sayısı artırılır. Bu haliyle düşük açıklıklarda çözümlenme oldukça hassas davranmaktadır.

Yüksek açılarda çözümlenme her iki çözücü için de daha stabildir. Bu açılarda diskin uyguladığı kayma gerilmesi baskın hale gelmektedir. Özellikle çok yüksek açılarda ($\alpha > 75^\circ$) basınç farklarını daha çok diskin uyguladığı kayma gerilmesi belirlemektedir.

OpenFOAM'da, ticari HAD'a göre akış disk etrafında daha fazla hızlanmış ve bunun sonucunda arkadaki akış ayrılması görece daha büyük olmuştur (Şekil 6). Buna rağmen akış çizgileri karşılaştırıldığında çözücüler arasında kaydedeğer bir fark bulmak oldukça güçtür. Her iki çözücü de vana etrafındaki akış yapılarını yakalamış ve girdapları benzer şekilde oluşturmuştur.

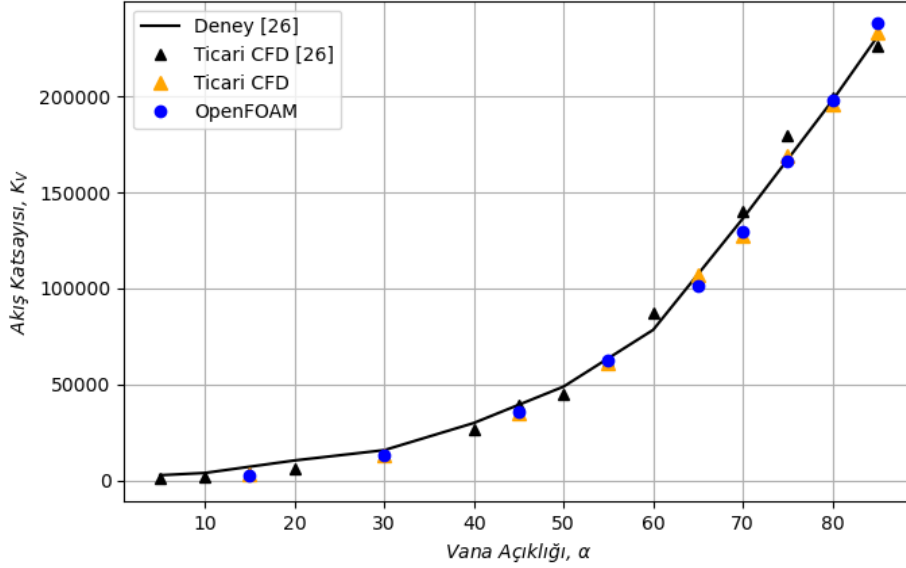


Şekil 5. XZ düzleminde hız dağılımları. $\alpha = 30^\circ$ için a. OpenFOAM b. Ticari HAD ve $\alpha = 75^\circ$ için için c. OpenFOAM d. Ticari HAD



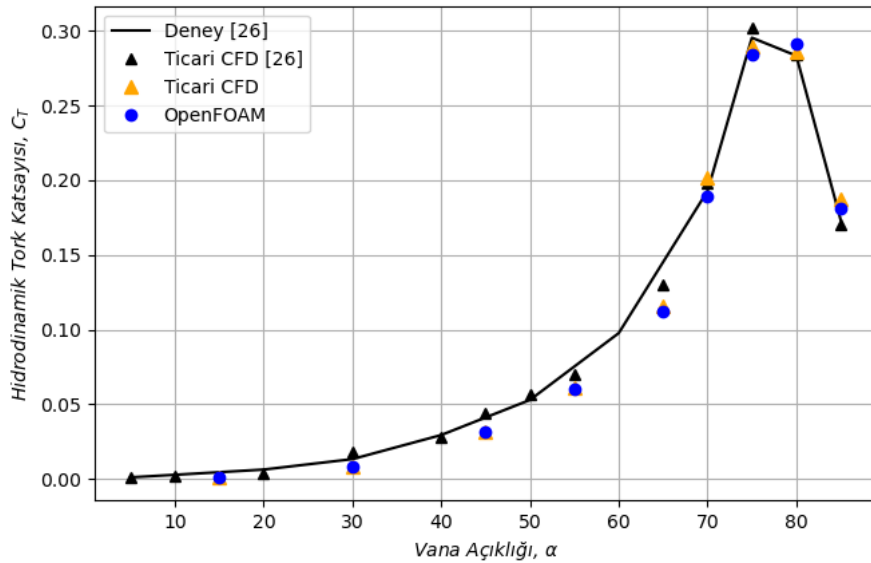
Şekil 6. Vana etrafındaki akış çizgileri $\alpha = 75^\circ$ için a. OpenFOAM b. Ticari HAD

Nicel sonuçlar iki çözücünün performansının geniş bir bakış açısında değerlendirilmesine imkan sağlayacaktır. Şekil 7, deneysel verilerle nümerik sonuçları vana akış katsayısındaki değişimle karşılaştırmaktadır. Vana açıklık miktarı arttıkça, vana akış katsayısı 0'dan 265000 mertebelerine ulaşabilmektedir. Akış katsayısının belirlenmesinde basınç düşüşü baskındır. Düşük vana açılarında akış görece çok küçük bir alanda hızlanmakta ve HAD değerleri deneysel verilere göre düşük kalmaktadır.



Şekil 7. Akış katsayısının vana açıklık değerlerine göre değişimi

Hem OpenFOAM hem de ticari HAD için 15° açıklıkta deneysel ölçümler ile fark %15 civarındadır. Bu fark referans çalışmanın aksine daha düşük bulunmuştur [26]. Seçilen $k-\omega$ türbülans modelinin düşük vana açılarında akış ayrılmalarını daha iyi modelleyebileceği için avantajlı olduğu söylenebilir. OpenFOAM'un hem deneysel verilerle, hem ticari HAD çözücülerıyla akış katsayısı eldesinde benzer sonuçlara ulaşması dikkat çekmektedir.



Şekil 7. Hidrodinamik tork katsayısının vana açıklık değerlerine göre değişimi

Hidrodinamik tork katsayısı, ticari HAD yazılımları için $\alpha = 75^\circ$ açıklığa kadar artış göstermiş, bu açıdan sonra düşüş eğilimi göstermiştir. OpenFOAM çözümlerinde bu durum $\alpha = 80^\circ$ 'de kendini göstermiştir. 75° - 80° arasında ölçüm sayısı artırılarak hem deneysel hem de nümerik sonuçların çözünürlüğünün artırılması gerekmektedir.

OpenFOAM'un düşük açıklık değerlerinde deneysel ve nümerik verilerle benzer hidrodinamik tork katsayısı sonuçları elde ettiği görülmüştür. Yine OpenFOAM için 70° - 75° açıklıklarda referans verilerden daha düşük, 80° - 85° açıklıklarda referans verilerden daha yüksek değerler görülmüştür. Yazılımlar arasındaki türbülans modellerinin farklılıkları, OpenFOAM'un eleman boyutu ve seçimi konusunda daha hassas olması bu farkların oluşmasını sağlamış olabilir. Aradaki fark en yüksek değer için sadece %4'tür, bu OpenFOAM'un deneysel ve ticari HAD verilerle olan denklemini bozmayacaktır.

SONUÇ

Vana tasarımlarında tartışılmaz öneme sahip HAD yönteminin ticari uygulamalarına alternatif olan OpenFOAM yazılımı popülerliğini artırmaktadır. Yazılımın vana uygulamalarındaki kapasitesi ve gelişimi, literatürden derlenen çalışmalarla irdelenmiştir.

Çalışmada bir kelebek vananın hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri açık kaynak kodlu OpenFOAM ve ticari HAD ile gerçekleştirilmiştir. Literatürden elde edilen deneysel ölçümler ve ticari HAD çözümlerini ile kıyaslanan OpenFOAM benzer sonuçlara ulaşmıştır. Ticari HAD'a en fazla %4 mertebelerinde farklılığa sahip OpenFOAM' un rekabetçi yönü kelebek vana için de ortaya koyulmuştur. OpenFOAM çözümlerinin diğer verilerle yüksek uyum içerisinde olduğu ve yazılımın kelebek vana problemlerinde ihtiyaca rahatlıkla cevap verdiği görülmüştür.

Çalışmada OpenFOAM bünyesinde sunulan ağ örme algoritması *snappyhexmesh* test edilmiş olup, algoritmanın endüstriyel uygulamadaki kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

Dışa bağımlılığın azaltılması ihtiyacı ve kaynak koduna erişim kabiliyeti, OpenFOAM' un vana uygulamalarındaki yerinin önümüzdeki dönemde artmaya devam edeceğini işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] WELLER, H.G., TABOR, G., JASAK, H., FUREBY, C., "A Tensorial Approach to Computational Continuum Mechanics", American Institute of Physics, 12, 620-631, 1998
- [2] KAYA, E., ŞİMSEK E., ŞENTÜRK, U., "Açık Kaynak Kodlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çözücüsü: OpenFOAM", Mühendis ve Makina Dergisi, 62, 25-36, 2022.
- [3] Makine İhracatçıları Birliği, "Moment Expo Dergisi", 24.01.2023 tarihinde erişildi. <https://www.moment-expo.com/tr/dergiler/24/kapak/>, 2019.
- [4] V. G. Melnikova & G. A. Shcheglov, "Quasi-Static CFD Research of The Spool Flow Valve Parameters", ISH Journal of Hydraulic Engineering, 29:1, 31-38, 2023
- [5] SLÁMA, V., MRÓZEK, L., TAJČ, L., vd., "Creation and Validation of Pressure Loss Model For Steam Turbine Control Valves." AIP Conference Proceedings. Vol. 2189. No. 1. AIP Publishing LLC, 2019.
- [6] YUAN, C., SONG, J., LIU, M. "Investigation of Flow Dynamics and Governing Mechanism of Choked Flow for Cavitating Jet in a Poppet Valve." International Journal of Heat and Mass Transfer 129, 2019.
- [7] CASARI, N., et al. "Reducing Pressure Valve with Real Gases: An Integrated Approach for The Design." Energy Procedia 148, 607-614, 2018.
- [8] BANFI, R. A.,. "Development of a CFD Model to Simulate The Compressible Flow Within a Pressure-Relief Safety Valve.", Yüksek Lisans Tezi, Milano Poltecnico, 2019.



- [9] YUAN, C., ZHU, L., DU, Z. & LIU, S., "Numerical Investigation into The Cavitating Jet Inside Water Poppet Valves with Varied Valve Seat Structures", Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 15:1, 391-412, 2021.
- [10] CAVALLO, D. M., et al. "A Novel Approach for Hydraulic Valve Experimental Assessment under Cavitating Condition." International Journal of Fluid Power, 183-204, 2022.
- [11] CALVETE, D. R., and GOSSET, A.. "Cavitating Flow in a 3D Globe Valve." OpenFOAM®: Selected Papers of the 11th Workshop. Springer International Publishing, 2019.
- [12] CALVETE, D. R., et al. "Numerical Simulation of Cavitating Flow in a Globe Valve: Comparison of OpenFoam and CFX." Pressure Vessels and Piping Conference. Vol. 50398. American Society of Mechanical Engineers, 2016.
- [13] RIUPASSA, R. D., BASAR, K. and WARIS, A., "Numerical Investigation of Freeze Valve Melting Behavior in Molten Salt Reactor using OpenFOAM." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2243. No. 1. IOP Publishing, 2022.
- [14] ZHANG, Z., YU, Y. and CAO, J.. "Effect of Upstream Valve Opening Process on Dynamic Spray Atomization of Bipropellant Thruster Injector." Micromachines 13.4, 527, 2022.
- [15] KOLOVOS, K., et al. "Transient Cavitation And Friction-Induced Heating Effects of Diesel Fuel During The Needle Valve Early Opening Stages For Discharge Pressures Up to 450 MPa." Energies 14.10, 2923, 2021.
- [16] MONTORFANO, A., et al. "Comparison of Direct and Large Eddy Simulations of The Turbulent Flow in a Valve/Piston Assembly." Flow, Turbulence and Combustion 95, 461-480, 2015.
- [17] CATELLANI, C., et al. "Large Eddy Simulation of a Steady Flow Test Bench Using OpenFOAM®." Energy Procedia 101, 622-629, 2016.
- [18] JASAK, H.. "Dynamic Mesh Handling in OpenFOAM." 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition. 2009.
- [19] LEATI, E., GRADL, C. and SCHEIDL, R., "Modeling of A Fast Plate Type Hydraulic Check Valve." Journal Of Dynamic Systems, Measurement, and Control 138.6, 2016.
- [20] RAEDER, T., et al. "Multilevel Simulation of Direct Operated Safety Valve." 2018 Ivannikov Ispras Open Conference (ISPRAS). IEEE, 2018.
- [21] SUÁREZ, R., PIERO, J., J CÁRDENAS-GUTIÉRREZ, J. A. and PABON J. A., "CFD Study Of Industrial Safety Valves in A Virtual Environment with OpenfoAM® Software." International Review of Mechanical Engineering 14.11, 674-683, 2020.
- [22] MELNIKOVA V.G., KOTSUR O.S., SHCHEGLOV G.A., "Numerical Simulation of The Flow Rate Regulator Valve Using OpenFOAM." Proceedings of The Institute For System Programming of The RAS (Proceedings of ISP RAS), 29(1):53-70., (In Russ.), 2017.
- [23] MONTORFANO, A., PISCAGLIA, F. and ONORATI, A.. "An Extension of The Dynamic Mesh Handling with Topological Changes for LES of ICE in OpenFOAM®." SAE Technical Paper, April, 1-15, 2015.
- [24] LUCCHINI, T., et al. "Full-Cycle CFD Modeling of Air/Fuel Mixing Process in an Optically Accessible GDI engine." SAE International Journal of Engines 6.3, 1610-1625, 2013.
- [25] PHAM, T. Q. D., and Choi, S.. "Numerical Analysis of Direct Contact Condensation-Induced Water Hammering Effect Using OpenFOAM in Realistic Steam Pipes." International Journal of Heat and Mass Transfer 171, 121099, 2021.
- [26] SONG, X. G. and PARK, Y. C., "Numerical Analysis of Butterfly Valve-Prediction of Flow Coefficient and Hydrodynamic Torque Coefficient." Proceedings of The World Congress on Engineering and Computer Science, 2007.
- [27] AWWA, Butterfly Valves: Torque, Head Loss, and Cavitation, 2nd ed., M49, Denver, USA, 2012.
- [28] CENGEL, Y., and CIMBALA, J., "Fluid Mechanics Fundamentals and Applications", McGraw Hill, 2013.
- [29] GREENSHIELDS C.J., OpenFOAM v9 User Guide: 5.4 Mesh Generation with The snappyHexMesh Utility, OpenFOAM Foundation, 2021.
- [30] FERZIGER J.H. ve PERIC M., Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag, 3rd Edition, Berlin-New York, 2002.



ÖZGEÇMİŞ

Tarcan ÖRNEK

1995 Konya doğumludur. 2021 yılında Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2022 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Otomotiv Mühendisliği eğitimi sırasında; kısa dönem yaz stajını OTAM'da, uzun dönem yaz stajını Diferans Mühendislik&Simülasyon şirketinde yapmıştır. 2022 Aralık ayında EYS Metal'de Analiz Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır.

Erdem KAYA

1988 yılı Sivas doğumludur. 2010 yılında yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2018 yılında yine aynı bölümden Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2011-2015 yılları arasında Vestel Beyaz Eşya A.Ş. firmasında Ar-Ge Mühendisi, 2015-2018 yılları arasında Figes A.Ş. firmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2018 yılından itibaren kurucusu olduğu Diferans Mühendislik&Simülasyon firmasında çalışmakta ve mezun olduğu bölümde doktora programına devam etmektedir.

Utku ŞENTÜRK

1980 yılı Denizli doğumludur. Evli ve bir kız babasıdır. 2004 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2007 yılında Yüksek Mühendis ve 2011 yılında Doktor ünvanını almıştır. 2015-2016 arasında Princeton Üniversitesi Makina ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nde doktora sonrası araştırma yürütmüştür. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Doç. Dr. ünvanı ile görev yapmaktadır. Akışkanlar mekaniği, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, ısı transferi konularında çalışmaktadır.

YAPAY ALÜMİNYUM KÖPÜK ISI ALICISININ ÇARPAN JETLE ISI TRANSFERİ VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Numerical Analysis of Heat Transfer and Flow Characteristics of Artificial Aluminum Foam Heat Sink with Impinging Jet

Beytullah İsmet Toprak
İsmail Solmaz
Yiğit Serkan Şahin

ÖZET

Bu çalışmada, kartezyen koordinatlarda her ekseninde ve sıralı düzende 27 adet 2.5 mm çapında delikler içeren 5 PPI (İnç başına düşen gözenek sayısı) değerine sahip bir yapay alüminyum köpük ısı alıcısı tasarlanmıştır. Tasarlanan yapay alüminyum köpük ısı alıcısının çarpan jet ile hava soğutmalı dikdörtgen kanalda akış ve ısıl karakteristikleri COMSOL Multiphysics yazılımı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Analizler farklı ısı alıcısı yüksekliklerinde (H=15, 20 ve 25 mm) ve Re=1000-10000 sayı aralığında gerçekleştirilmiş olup bu parametrelerin ortalama ve yerel Nusselt sayısı ile basınç düşümü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Reynolds sayısındaki artışın ortalama ve yerel Nusselt sayısı ile basınç düşümü üzerinde artırıcı bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca ısı alıcısı yüksekliğinin artmasıyla basınç düşümünün azaltığı ortalama Nusselt sayısının ise arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isı kuyusu, Çarpan jet, Gözenekli ortam, Alüminyum köpük, Termal ve akış performansı

ABSTRACT

In this study, an artificial aluminum foam heat sink with a value of 5 PPI (pores per inch) containing 27 holes of 2.5 mm diameter in each axis and in inline order in cartesian coordinates was designed. The flow and thermal characteristics of the designed artificial aluminum foam heat sink in the air-cooled rectangular duct with impinging jet were numerically analyzed with COMSOL Multiphysics software. Analyzes were carried out at different heat sink heights (H = 15, 20 and 25 mm) and Re = 1000-10000 number range, and the effects of these parameters on average and local Nusselt number and pressure drop were investigated. It has been found out that the increase in Reynolds number has an increasing effect on the average and local Nusselt number and pressure drop. In addition, it was observed that the pressure drop decreased with increasing heat sink height and the average Nusselt number increased.

Keywords: Heat sink, Impinging jet, Porous media, Aluminum foam, Thermal and flow performance

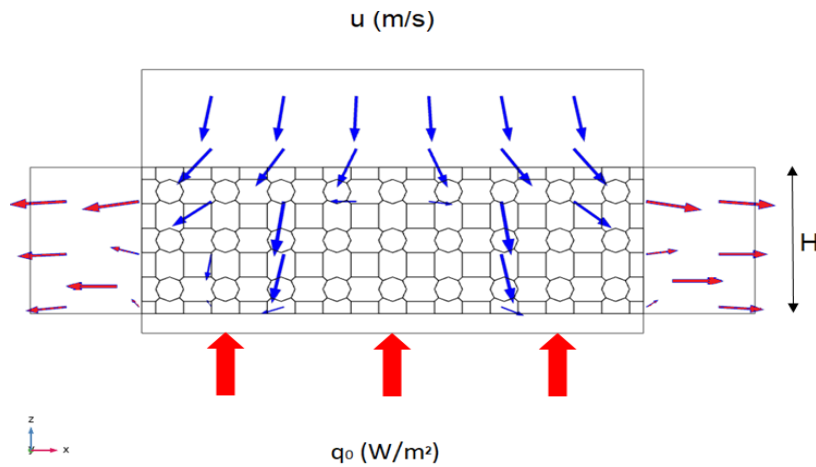
1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik aygıtlarının birim alanda ve birim zamanda ürettikleri ısı miktarlarının giderek artması yeni ve yenilikçi ısıl yönetim sistemlerinin diğer bir ifadeyle ısı alıcılarının geliştirilmesini bir zorunluluk haline getirmiştir. Bu elektronik aygıtlar ile birlikte kullanılan ısı alıcılarının ısı uzaklaştırma kapasitelerinin yetersiz kalması durumunda çalışması esnasında ısı üretimine bağlı olarak bu

aygıtların aşırı ısınması, performanslarının düşmesi veya hasarlanmaları söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle bu aygıtların etkin bir şekilde soğutulması üreticiler tarafından büyük önem arz etmektedir. Şimdiye kadar çok sayıda araştırmacı tarafından günümüz elektronik aygıtlarının ısı yönetimine yönelik yeni ürünler ve yöntemler önerilmiştir. Açık hücreli gözenekli alüminyum ısı alıcıları, geleneksel iğne kanatçıklı tiplere nazaran daha yüksek temas yüzey alanı/hacim oranına, güçlü akış karıştırma kabiliyetine ve dolayısıyla yüksek toplam ısı geçiş katsayısına sahip olmaları sebebiyle son yıllarda elektronik aygıtlar üzerinden taşınım ile ısı transferini iyileştirmek maksadıyla literatürde yoğun bir şekilde teorik ve deneysel çalışmalara konu olmuşlardır. Jeng ve Tzeng [1] 10 PPI değerine sahip alüminyum köpükler üzerinde taşınım ile ısı transferi ve basınç düşümünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çarpan jet ile hava akışı uygulanan deneysel çalışmada Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının ve basınç düşümünün arttığını gözlemlemişlerdir. Jeng vd. [2] hava üflemlerini dairesel bir çarpan jet kullanarak izledikleri deneysel çalışmada Reynolds büyüklüğü, nozul çapına göre nozul-ısı alıcısı arası mesafe (C/d) ve nozul çapına göre ısı alıcısı uzunluğu (L/d) gibi parametrelerin ısı transferi üzerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler diğer parametreler sabit tutularak C/d ve L/d oranlarının artırılmasıyla ortalama Nusselt değerinin arttığını göstermiştir. Wang vd. [3] çarpan dikdörtgen hava jeti kullanarak plaka kanatçıklar ile bileşik bakır köpük ısı alıcısı üzerinde ısı transferi ve akış karakteristiğini $Re=2053-12737$ aralığında deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edilen bulgular plaka kanatçıklı ısı alıcılarına metal köpük giydirmenin ısı transferini pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Ancak bununla birlikte, yapılan işlem basınç düşümünün artmasına yol açmıştır. Feng vd. [4] 8 PPI alüminyum köpük ile bileşik plaka kanatlı ısı alıcısını kombine ederek hava soğutmalı çarpan jet ile $Re=3000-12000$ aralığında bir deneysel ve sayısal çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada farklı ısı alıcısı yüksekliklerindeki numuneleri çeşitli Reynolds değerlerinde incelemişlerdir. Karşılaştırılan bulgular ışığında kombine edilmiş ısı alıcısı yükselişindeki artış ile ısı transferinin önce arttığını daha sonra monoton bir şekilde azaldığını ortaya koymuşlardır. Jeng ve Tzeng [5] $Re=100-40000$ gibi geniş bir aralıkta 10 PPI alüminyum köpük ısı alıcısının termal ve hidrolik performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Elde edilen bulguları aynı akış değerine sahip plaka tip kanatçıklı ısı alıcıları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda metal köpüklerin ısı direncinin %30 daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır.

2. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada incelenen problemin iki boyutlu gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Kanal içerisine, kartezyen koordinatlarda her ekseninde ve sıralı düzende 2.5 mm aralıklarla her biri 2.5 mm çapında delikler içeren yapay alüminyum köpük ısı alıcısı yerleştirilmiş olup üst yüzeyden çarpan jet ile hava üflenirken alt duvar sabit ısı akısına maruz bırakılmaktadır.

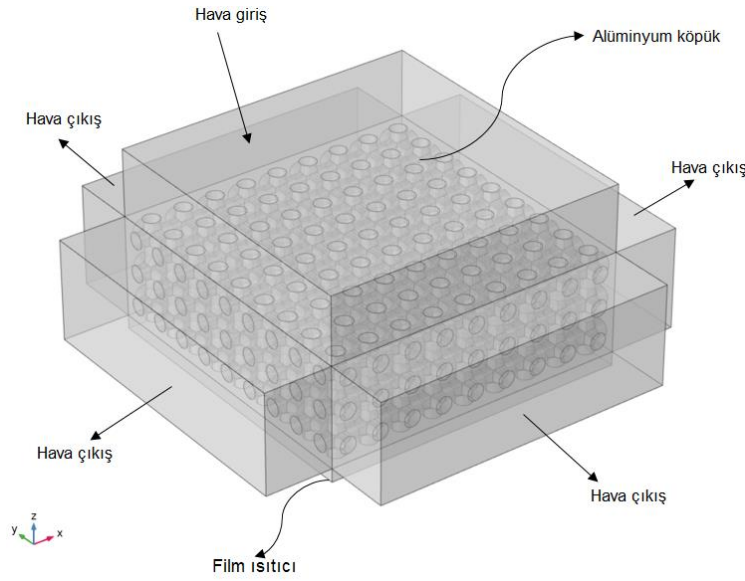


Şekil 1. Çalışmaya konu ısı alıcısının iki boyutlu şematik gösterimi.

Kanala düzgün dağılılı belirli bir hızda ve sıcaklıkta giren hava ısı alıcısı içerisindeki boşluklardan akarak kanalı terk etmektedir. Yapılan analizler 45x45 mm² kanal genişliği, üç ayrı ısı alıcısı yüksekliği (15, 20 ve 25 mm) ve on ayrı hava giriş hızında (0.34 - 3.4 m/s) gerçekleştirilmiştir.

3. SAYISAL MODELLEME

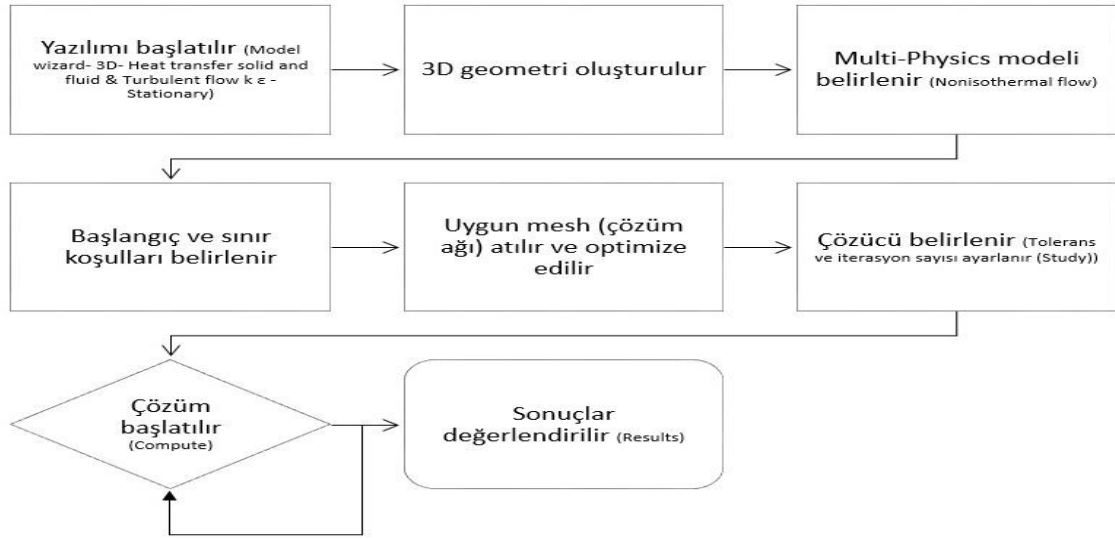
Yapay alüminyum köpük ısı alıcısı COMSOL Multiphysics ortamında Şekil 2'de gösterildiği gibi sürekli rejimde üç boyutlu olarak modellenmiş, termal ve akış karakteristikleri farklı alıcı yüksekliklerinde ve Re değerlerinde incelenmiştir. Isı transferi ve akışı arasındaki bağlantı, Birleşik Isı Transferi-Laminer Akış Çoklu Fizik Arayüzü (Conjugate Heat Transfer-Turbulent Flow Multiphysics Interface) kullanılarak kurulmuştur.



Şekil 2. Comsol Multiphysics ortamında oluşturulan üç boyutlu model.

Tablo 1. Comsol Multiphysics ortamında oluşturulan üç boyutlu model üzerinde tanımlanan parametrelere girilen değer.

Parametreler	Değer
Isı alıcısı yüksekliği (H)	15,20,25 mm
Isı alıcısı genişliği (W)	45 mm
Isı alıcısı uzunluğu (L)	45 mm
Isı akısı (q_0)	4000 W/m ²
Hava giriş hızı (U_i)	0.34-3.4 m/s
Hava giriş sıcaklığı (T_i)	20 °C
Isı alıcısı gözenek çapı (D)	2.5 mm
Her bir gözenek arası mesafe (S)	2.5 mm



Şekil 3. Simülasyon programının oluşturulmasında izlenen adımlar.

Şekil 3 de verilen akış diyagramı takip edilmek suretiyle simülasyon programı oluşturulurken başvuru temel varsayımlar ve sadeleştirmeler aşağıda verilmiştir.

- Kullanılan k-ε türbülans modelinde Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) yaklaşımı tercih edilmiştir.
- Akışkan tipi Newtonyen olup termo-fiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir.
- Akış kararlı ve sıkıştırılmazdır.
- Duvar sınır tabakada kaymama koşulu (no slip) uygulanmıştır.
- Isı transferi viskoz ısınma etkilerini içermektedir.

Simülasyon programında kullanılan korunum denklemleri aşağıda sunulmuştur.

k-ε Türbülans Modeli

Simülasyonda kullanılan k-ε akış modeli, endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan türbülanslı akış modellerinden biridir. Sıkıştırılmaz hava akışının türbülanslı durumda süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri Kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] \quad (2)$$

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

Ayrıca model, iki ek transport denklemi ve iki bağımlı değişken sunar. Bunlar türbülanslı kinetik enerji, k ve türbülanslı yayılım hızı, ε'dur. Türbülanslı viskozite (Eddy viskozitesi) şu şekilde modellenmiştir;

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Burada C_μ bir model sabitidir. K için kinetik enerji denklemi şu şekildedir;

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho \varepsilon \quad (5)$$

ve ε için türbülans kinetik enerjisi kayıp oranı ise şu şekilde yazılabilir;

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \varepsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

Burada P_k ortalama hız gradyanları ve kaldırma kuvvetleri nedeniyle oluşan türbülans kinetik enerji üretimidir [6].

Tablo 2. k- ε model sabitleri

Model sabiti	C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	σ_k	σ_ε
	0.09	1.44	1.92	1.0	1.3

Yerel ısı transferi taşınım katsayısı h;

$$h = \frac{Q}{A_s(T(x, y) - T_i)} \quad (7)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Buna bağlı olarak yerel Nusselt (Nu_{yerel}) sayısı ve hidrolik çapa bağlı Reynolds (Re) sayıları;

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (8)$$

$$Re = \frac{\rho U_i D_h}{\mu} \quad (9)$$

formülleri ile hesaplanmıştır [7]. Burada $D_h=2ab/(a+b)$ dir. Ortalama ısı taşınım katsayısı ve dolayısıyla ortalama Nusselt (Nu_{ort}) değeri hesaplanırken denklem 7'de $T(x, y)$ yerine T_{ort} sıcaklık değeri kullanılmıştır.

Çözüm Ağı (Mesh) Bağımsızlaştırma

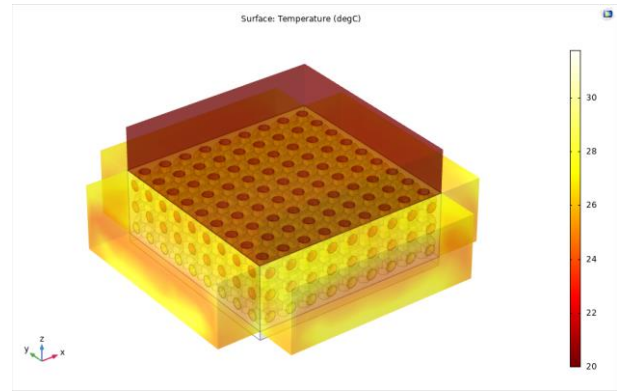
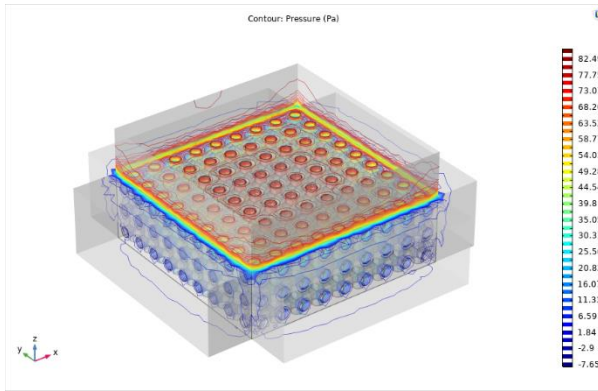
Sayısal analiz çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçların güvenilirliği simülasyon programının oluşturulması sırasında seçilen ağ yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada problem alanını ağlamak için COMSOL Multiphysics yazılımının fizik kontrolü ağ oluşturma (mesh) opsiyonu kullanılmıştır. Kaba (coarse), normal ve ince (fine) çözüm ağı yoğunluklarında yapılan denemelerde sırasıyla ulaşılan 5086548, 29041544 ve 88402489 domain element sayısında $H=20$ mm yüksekliğindeki ısı kuyusu için Reynolds sayısının en büyük (10000) değerinde analizler yapılmış ve ağ bağımsızlık testi sonuçları Tablo 3' te paylaşılmıştır. Buna göre ortalama Nusselt ve basınç farkı değerlerinde %5 'ten daha az yaklaşık hata değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle, mevcut çalışmada hesaplama süresinden ve merkezi işlem birimi (CPU) tüketiminden tasarruf etmek için normal yoğunlukta çözüm ağı kullanılmıştır [8].

Tablo 3. Ağ bağımsızlaştırma test sonuçları

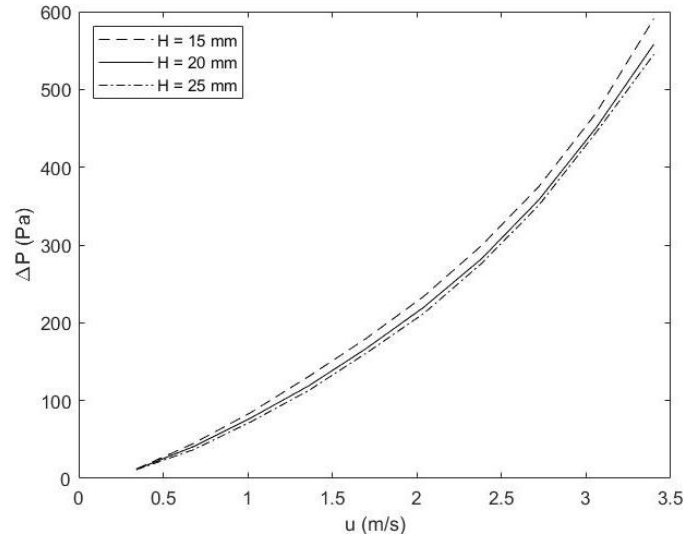
Re=10000				
D.E. sayısı	Nuort	Ey (%)	ΔP	Ey (%)
5086548	126.7422	-	544.16	-
29041544	127.9958	0.979	558.81	2.621
88402489	128.1059	0.085	563.72	0.87

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

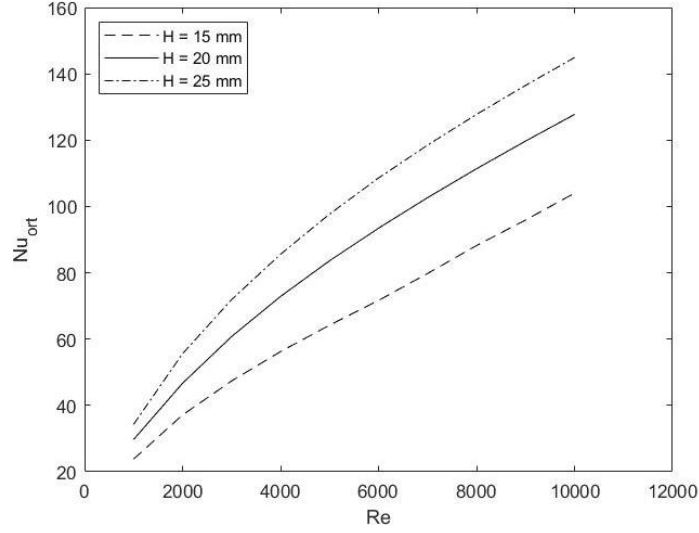
Bu bölümde, önerilen ısı alıcısının akış karakteristiği ve termal performansı farklı alıcı yükseklikleri için Re=1000-10000 aralığında COMSOL Multiphysics ortamında geliştirilen simülasyon programı ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

**Şekil 4.** Sayısal analizi gerçekleştirilen ısı alıcısının basınç kontur profili (Re=4000 için)**Şekil 5.** Sayısal analizi gerçekleştirilen ısı alıcısının sıcaklık yüzey profili (Re=4000 için)

Şekil 4 ve 5'de Re=4000 değerinde model analizi gerçekleştirilen 15 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının basınç kontur ve sıcaklık yüzey profilleri gösterilmektedir.

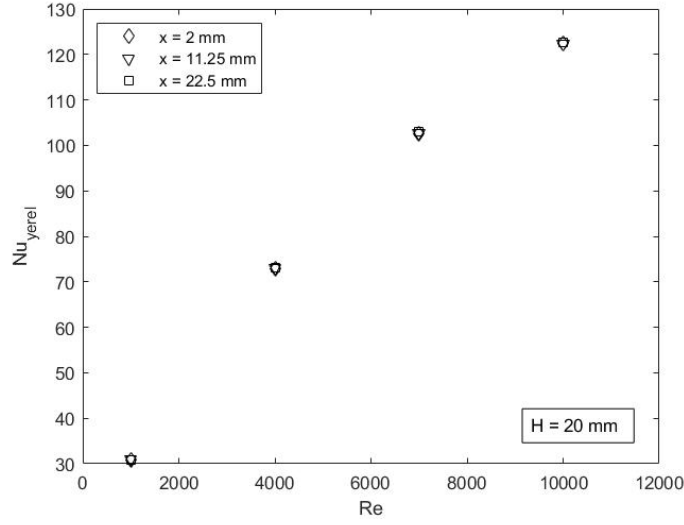
**Şekil 6.** H=15, 20 ve 25 mm alüminyum köpük ısı alıcıları için basınç düşümünün akışkan giriş hızı ile değişimi.

İncelenen ısı alıcılarının akışa karşı göstermiş oldukları direnç akış yönünde basınç düşümüne sebebiyet verir. Şekil 6'da farklı yüksekliklerdeki ısı alıcıları için akışkan giriş hızına göre basınç düşümündeki değişim gösterilmektedir. Şekilde gösterildiği gibi basınç düşümü, akış hızının artmasıyla her üç durum için de doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır. Bunun sebebi tam gelişmiş boru akışlarında ortalama akış hızının artmasıyla basınç kayıplarının artmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında incelenen tüm ısı alıcıları için basınç düşümü aynı hız değerlerinde (veya aynı hacimsel debi oranında) yüksekliğin azalmasıyla artar. Yüksekliğin azalması ısı alıcılarında daha büyük bir akış hızına yol açmaktadır. Basınç düşümünün, akış hızının karesiyle orantılı olmasından dolayı bu değişim gerçekleşmektedir [3].



Şekil 7. H=15, 20 ve 25 mm alüminyum köpük ısı alıcıları için Re sayısı ile Nu_{ort} değişimi

Şekil 7'de üç farklı kuyu yüksekliği için Nu_{ort} sayısının Re ile değişimi verilmiştir. Bu grafikten Nu_{ort} sayısının Re ile artış gösterdiğini söylemek mümkündür. Artan Re değeri ile birlikte akışın hızlanması ve akışın daha fazla karışması ısı taşınım katsayısı üzerinde artırıcı bir etki göstermekte ve dolayısıyla ısı transfer hızında bir yükselişe sebebiyet vermektedir. Bu durum da Nu_{ort} değerinin artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber 25 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının diğerlerine kıyasla aynı Re değeri için Nu_{ort} sayısının daha büyük olduğu ve dolayısıyla ısı performans olarak daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun nedeni, yüksekliği artan ısı alıcısının spesifik yüzey alanının (σ_o) genişlemesiyle etkin ısı transferinin de önemli ölçüde artmasıdır [9-10].



Şekil 8. 20 mm yüksekliğindeki ısı alıcısının akış doğrultusunda farklı noktalarındaki çeşitli Re değerlerinde Nu_{yerel} dağılımı

20 mm yüksekliğindeki ısı alıcısı için Nu_{yerel} sayısının Re ile değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Isı alıcısı tabanında merkezden akış doğrultusunda x ekseninde uzaklaştıkça Nu_{yerel} sayısındaki değişim farkedilebilir düzeyde gerçekleşmemektedir. Akış hızı ve dolayısıyla akış debisi, dikey kanalın her noktasında yaklaşık olarak aynı seviyede seyretmektedir. Bu sebeple ısı dağılımının homojen olarak gerçekleştiği söylenebilmektedir. Ancak bununla birlikte şekilde görüldüğü üzere akış doğrultusundaki her bir nokta için artan Re sayısı ile akışın hızlanması ve fazla karışmasından dolayı Nu_{yerel} sayısının artış gösterdiği bulunmuştur.

SONUÇ

Bu çalışmada, tasarlanan üç farklı yükseklikteki yapay alüminyum köpük ısı alıcısı hava soğutmalı dikdörtgen kanal içerisinde çarpan jet ile modellenmiştir. Isı alıcısının ısı performans ve akış karakteristikleri, Re sayısının farklı değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Re sayısındaki artışın Nu_{ort} ve Nu_{yerel} sayısı ve basınç düşümü üzerinde bir artışa yol açtığını göstermektedir. Ayrıca ısı alıcısı yüksekliğinin artmasıyla basınç düşümünün azaldığı Nu_{ort} sayısının ise arttığı görülmüştür. Isı alıcısı tabanında Nu_{yerel} sayısının akış doğrultusundaki değişimi ihmal edilebilir düzeydedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 119M448 nolu proje kapsamında mali açıdan destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) yazarlar olarak teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] T. M. Jeng and S. C. Tzeng, "Experimental study of forced convection in metallic porous block subject to a confined slot jet," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 46, no. 12, pp. 1242–1250, 2007.

- [2] T. M. Jeng, S. C. Tzeng, and T. C. Liu, "Heat transfer behavior in a rotating aluminum foam heat sink with a circular impinging jet," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 51, no. 5–6, pp. 1205–1215, 2008.
- [3] J. Wang, H. Kong, Y. Xu, and J. Wu, "Experimental investigation of heat transfer and flow characteristics in finned copper foam heat sinks subjected to jet impingement cooling," *Appl. Energy*, vol. 241, no. March, pp. 433–443, 2019.
- [4] S. S. Feng, J. J. Kuang, T. Wen, T. J. Lu, and K. Ichimiya, "An experimental and numerical study of finned metal foam heat sinks under impinging air jet cooling," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 77, pp. 1063–1074, 2014.
- [5] T. M. Jeng and S. C. Tzeng, "Numerical study of confined slot jet impinging on porous metallic foam heat sink," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 48, no. 23–24, pp. 4685–4694, 2005.
- [6] COMSOL Multiphysics CFD Module User's Guild
- [7] Yang, Y., & Peng, H. (2008). Numerical study of pin-fin heat sink with un-uniform fin height design. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(19-20), 4788-4796.
- [8] İzci, T., Koz, M., & Koşar, A. (2015). The effect of micro pin-fin shape on thermal and hydraulic performance of micro pin-fin heat sinks. *Heat Transfer Engineering*, 36(17), 1447-1457.
- [9] Huisseune, H., De Schampheleire, S., Ameel, B., & De Paepe, M. (2015). Comparison of metal FOAM heat exchangers to a finned heat exchanger for low Reynolds number applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 89, 1-9.
- [10] K. Boomsma, D. Poulidakos, and F. Zwick, "Metal foams as compact high performance heat exchangers," *Mech. Mater.*, vol. 35, no. 12, pp. 1161–1176, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

İsmail SOLMAZ

1980 Erzincan doğumludur. 2002 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2006 yılında ODTÜ Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans, 2011 yılında yine aynı Üniversiteden Doktora derecesi almıştır. 2010-2011 yılları arasında bir yıl süreyle İngiltere'de Bath Üniversitesinde Doktora tez konusu ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. 2016 yılı Nisan ayından beri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutma, güneş enerjisi ve uygulamaları, gözenekli malzemede ısı ve kütle transferi konularında çalışmaktadır.

Beytullah İsmet TOPRAK

1992 Ankara doğumludur. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2020 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecesi almıştır. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Enerji Anabilim Dalında Doktora programına başlamıştır. 2017 yılı Nisan ayından beri Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalında Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır. Güneş enerjisi ve uygulamaları, gözenekli malzemede ısı transferi vb. konular üzerinde çalışmalar yürütmektedir.

Yiğit Serkan ŞAHİN

2010 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans derecesi ile mezun olmuştur. 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Yüksek Lisans derecesi almıştır. 2022 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliğinde doktorasını tamamlamıştır. Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Gözenekli ortamlarda akış ve ısı transferi, elektronik sistemlerin soğutulması vb. konular üzerinde çalışmalar yürütmektedir.

BERABER ISI VE GÜÇ SİSTEMLERİNDE ÜRETİLEN ISININ EKSERJİ AKILCI DEĞERLENDİRİLME SEÇENEKLERİ

Options Of Exergy-Rational Use Of Heat Generated By Combined Heat And Power Systems

Birol Kılıç

ÖZET

Küresel kriz kapsamında beraber ısı ve güç sistemlerinin önemi hızla ve yaygın bir biçimde artmaktadır. Dış ortam sıcaklığının ve konfor beklentilerinin de artması ile, üretilen ısının daha çok soğutmada kullanılması söz konusudur. Ancak, soğutma arz ekserjisinin ısıtmaya göre daha az olması ve süreçte birden fazla cihazı kümeleme gereği en uygun çözümlere ulaşmayı, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları söz konusu olduğunda zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada bir beraber ısı ve güç sisteminin ısı arzının en uygun ve çevreci değerlendirilmesi yapılmak üzere bütüncül bir eniyileme modeli geliştirilmiş ve beş seçenek ekserji tabanlı on ölçütle değerlendirilmiştir. Seçeneklerden birisi yaklaşık sıfır karbon veri merkezi olup diğerlerinde ısı pompası, ORC esaslı elektrik üretici, absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma makineleri değişik bileşmelerde yer almaktadır. Örnek sonuçlar irdelendiğinde ısı çıktısının-yeterli talep varsa- ısı olarak değerlendirilmesinin daha akılcı olacağı, ancak bir veri merkezinin soğutulmasında önerilen bileşmelerin de soğutma taleplerini karşılamada en akılcı yöntem olacağı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beraber ısı ve güç, bölge enerji sistemi, ekserji tabanlı kaynak değerlendirme etkinliği, karbonsuzlaşma

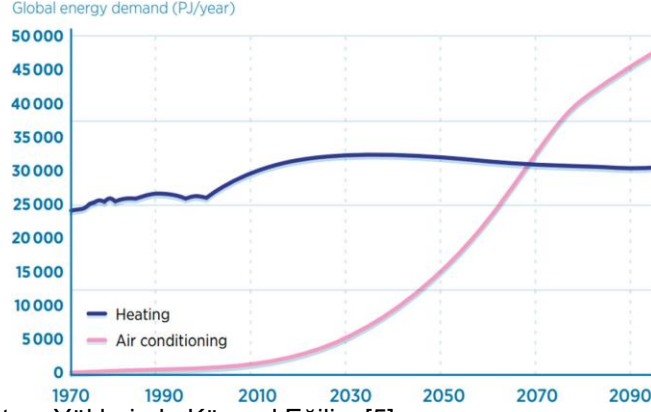
ABSTRACT

Within the scope of the global crisis, the importance of heat and power systems is increasing in a fast and wide manner. With the increase in outdoor temperatures and comfort expectations, the generated heat by the so-called CHP systems is going to be primarily used in cooling. However, the fact that the cooling supply exergy is less than heating and the necessity of clustering multiple devices in the process makes it difficult to explore and find the most appropriate solutions, particularly when renewable energy sources are involved. In this study, a holistic optimization model was developed to achieve the most appropriate and environmentally friendly assessment of the heat supply of a heat and power system, and five cases were evaluated with ten exergy-based criteria. One of the options is the nearly-zero carbon data center, while the others include heat pumps, ORC-based electricity generators, absorption and adsorption cooling machines in different combinations. Results show that it would be more rational to utilize the heat output as heat if there is sufficient demand. Otherwise, an optimally designed data center cooling system would be the most rational method among other cooling options.

Keywords: Combined heat and power, District energy system, Exergy-based resource utilization effectiveness, decarbonization

1. GİRİŞ

Bölge enerji sistemleri ve soğutma hizmeti de verebilen beraber ısı ve güç sistemleri (Cogeneration: CHP), küresel krize karşı bireysel veya bölgesel kapsamda karbonsuzlaşmaya yönelik iki ana anahtar çözüm sunmaktadır. Bu bağlamda, brüt ulusal üretiminin ikiye katlandığı, ısıtılan alanlar ve elektrik tüketimleri de oldukça artan Danimarka, ilk petrol krizinden bu yana birincil enerji talebini sabit tutabilen ender ülkelerden birisidir [1]. Danimarka bu başarıyı yenilenebilir enerji kaynaklarını yapıllı çevre ile bölge enerji sistemleri, ısı pompaları, enerji depolaması ve CHP sistemlerini yaygın biçimde uygulayarak ede etmiştir. CHP sistemleri, fosil yakıt kullansalar bile daha yakıt tasarruflu ve enerji akıllı olabilmektedir [2]. Bu kapsamda, EPA, CHP sistemleri için Excel-tabanlı ve başta CO₂ salım tahmini olmak üzere bir hesaplama aracı geliştirmiştir [3]. Ancak, bu yöntem, diğer hesaplama yöntemleri gibi sadece Termodinamiğin 1.ci yasası ile sınırlı olup tüm enerji dönüşürüm, depolama, nakil ve kullanım aşamalarında oluşan ekserji yıkımlarının neden olduğu neredeyse-önlenebilir ek CO₂ salımlarını ve diğer salımları göz ardı etmektedir. Bu ek salımlar aslında görünür ve ölçülür salımların Dünya ortalamasında en az %80'i kadardır. Bu salım kaynakları göz ardı edildiği sürece de küresel ısınmanın önüne geçilemez ve Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmak mümkün olmaz, çünkü sorunu izlemekte devam edilir ama sorun kaynaklarının ancak yarısı kadarını görüp o oranda çözümleri üretip uygulamaya geçirebiliriz. Bu da amacın gerçekleşmesine yetmez. Nitekim, bir CHP sistemi yakıtın %30` u kadarı ile elektrik gücü, %55 kadarı ile de 95°C da ısı üretiyor olsun. Bu sistemin 1.ci yasa verimi %85`dir. Aynı verimde ancak bu kez %30 ısı %55 elektrik üreten bir CHP sistemi olsun. Doğal olarak bu ikinci sistemin enerji bilançosuna, dolayısı ile çevreye olumlu katkısı daha fazladır zira elektrik gücünün birim ekserji 0.95 kW/kW, ısının ise yaklaşık %20 dolayındadır. Bu bağlamda ısıyı %85 verimle üreten ve %85 elektrik gücü üreten iki ayrı sistemin (SHP: Separate Power and Heat System) ekserji yıkımları ve salım sorumlulukları oldukça farklı olsa da 1.ci yasa açısından bu seçenekler hiç fark etmez. CHP ve bölge enerji sistemlerinin güç ve ısı oranları C_{CHP} , C_{BE} yanı sıra üretilen ve tüketilen ısı sıcaklıkları dinamik anlamda dengelenirken amaç en az salım sorumluluğu olmalı ve mutlaka 2.ci yasa uygulanmalıdır. Isıl güç, günümüzün 5.ci nesil bölge ısıtma ve soğutma sistemlerinde ve %100 yenilenebilir enerji kaynaklı akıllı kentler doğrultusunda en az elektrik gücü kadar önemli bir konuma gelmiştir. Küresel ısınmanın doğal bir sonucu olarak da soğutma yükleri tüm enerji tasarruf önlemlerine karşın Dünyada giderek artmaktadır [4]. Örneğin AB ülkelerinde bugünkü C_{BE} oranı 0.18 iken bu oran hızlı bir biçimde artmaktadır. Bu nedenle yapıllı çevrede ısıdan çok soğuk ön plana geçmektedir. 2070 yılında soğutma yüklerinin ısıtma yükünü geçeceği kestirilmektedir (Şekil 1) [5]. Bu nedenle CHP sistemlerinden CCHP sistemlerine (Üçlü üretim) geçiş kaçınılmaz olmakla birlikte soğutmada ekserji yıkımları daha fazladır ve bu olgu da karbonsuzlaşma yönünde önemli bir çelişkiye ve kısır bir döngüye neden olur. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve atık ısıların bu amaçlarla kullanılması düşük entalpili bölge ısıtma sistemlerinde düşük ekserjili bina tarımlarına gerek duyar [6]. Bu arada ısı depolamasının da önemi göz ardı edilmemelidir [7]. Talep fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından veya jeotermal kaynaklardan ve Karadeniz'den hasat edilecek H₂S gazının ayrışımı ile elde edilecek hidrojenin enerji depolaması ve naklinde kullanılması da giderek ön plana çıkmaktadır. Böylelikle, ekserji yıkımları da (ϵ_{des}) en aza indirilebilecektir. Bunun aksine Danimarka'nın ürettiği rüzgâr enerjisi fazlasını ertesi gün bölge ısıtmada kullanmak üzere elektrik dirençli kazanlarda sıcak suya çevirmesi 2.ci yasaya önem verilmesine olumsuz bir örnektir [8, 9]. Hidrojen ekonomisinde kent atıklarından biyogaz eldesi, hidrojen ve doğal gaz karışımı ile mevcut doğal gaz alt yapısı kullanılabileceği gibi sınıai atıklarda kullanılarak jet yakıtı bile üretmek mümkündür. Bu arada özellikle yenilenebilir enerji kaynaklı CHP ve CCHP sistemleri ön plana çıkmaktadır. Buna en güzel örnek güneş enerjili PVT sistemi ve ADS sistemi gösterilebilir.



Şekil 1. Isıtma ve Soğutma Yüklerinde Küresel Eğilim [5]

2. SOĞUTMA VE KLİMA SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIKLARI ENGELLER

Hava kirliliği nedeni ile pandemi vaka sayılarındaki artış ise günümüzde bu döngünün içinde sıkışmış durumdadır. Bu bağlamda, havaalanı, AVM gibi kapalı alanlarda yaz ve kış %100 taze hava ihtiyacı da ek enerji talepleri oluşturmaktadır. Soğutmada kullanılan elektrik ve/veya ısı gücün birim ekserjileri soğutma gücünün birim ekserjisinden daha yüksek olduğu için bu dönüşümler sırasında ek ekserji yıkımları söz konusudur. Bu yıkımlar ise REMM modelinin işaret ettiği enerji niteliğinin akılcı kullanım ölçütü olan, ψ_R değerinin azalmasına ve buna bağlı olarak neredeyse-önlenebilir, ΔCO_2 salımlarına neden olur [8, 9]. Zira, her yıkılan ekserji kadar başka bir yerde, başka bir uygulamada başka birisi, başka bir yöntemle-büyük ihtimalle fosil yakıt kullanarak- bu yıkıma denk bir enerji üretimine gerek duyacaktır (ofset).

$$\Delta CO_2 \propto (1 - \psi_R) \quad (1)$$

$$CO_2 \propto \frac{1}{COP_c} \quad \{COP_c < COP_H\} \quad (2)$$

3. EKSERJİ TABANLI MODEL

3.1. Ekserjinin Akılcı Yönetimi, $\bar{\psi}_R$

3.1.1. Ana Ekserji Yıkımı Yararlı Uygulamadan Sonra

Herhangi bir (i) uygulamasında ana ekserji yıkımı güç üretimi gibi yararlı bir uygulamayı takip eder bir süreçte, örneğin jeneratör veya PV panelde atılan ısı gibi, oluşuyorsa (Şekil 2):

(3)

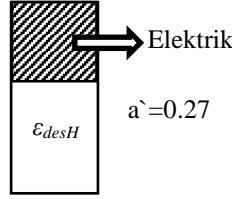
$$\psi_{Ri} = 1 - \frac{\mathcal{E}_{desi}}{\mathcal{E}_{supi}}$$

3.1.2. Ekserji Yıkımı Yararlı Uygulamadan Önce

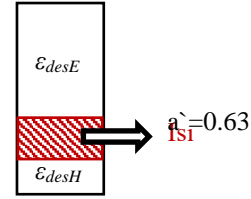
Düzlemsel güneş enerjili sıcak su toplacında olduğu gibi (Şekil 3) eğer ana ekserji yıkımı, önceden meydana geliyorsa Eşitlik 4 kullanılır. Bu iki eşitlik aynı gibi gözükse de temelindeki ideal Carnot çevrim ifadesi doğrusal olmadığından aynı değildir. Talep tarafında bir ısı pompası kullanılıyorsa ($COP > 1$) \mathcal{E}_{dem} COP ile çarpılmalıdır. Ancak, düşük ekserjili (LoWex) binalarda ve çok düşük sıcaklıklı 5.ci nesil (5DE) bölge ısıtma uygulamalarında bu iki eşitlik birbirlerine yakınsar. Bu koşulda Eşitlik 5 geçerli olur [10].

$$\psi_{Ri} = \frac{\mathcal{E}_{demi}}{\mathcal{E}_{supi}} \quad (4)$$

$$\bar{\psi}_R = 1 - \frac{\sum \varepsilon_{des}}{\varepsilon_{sup}} \quad (5)$$



Şekil 2. PV veya Jeneratör



Şekil 3. Düzlemsel Toplaç

Eşitlik 5 kullanıldığında, çoklu ve karmaşık sistemlerdeki ekserji bağlantıları 6-a ve 6-b eşitlikleri aracılığı ile $\bar{\psi}_R$ kolayca tüm aşama ve bağlantılardaki birim ekserji yıkımlarını hesaplayarak bulunur.

$$\varepsilon_{des} = \varepsilon_{sup} (1 - \psi_R) \quad \text{şeklindeki ifade kullanıldığında:} \quad (6-a)$$

$$\Delta CO_2 = a \varepsilon_{des} = a \varepsilon_{sup} (1 - \psi_R) \quad \{a = 0.27 \text{ veya } 0.63\} \quad (6-b)$$

$$\Delta CO_2 = a \left(1 - \sum \varepsilon_{des}\right) (1 - R_{EX}) \equiv a \varepsilon_{sup} (1 - \bar{\psi}_R) (1 - R_{EX}) \quad (6-c)$$

3.2 Beraber Isı ve Güç Sistemlerinde Yakıt Tasarrufu: Ekserji tabanına yükseltilmiş yakıt tasarruf yüzdesi PES_R değeri (PES_R) [11, 12], Eşitlik 7'de verilmiştir:

$$PES_R = \left[1 - \left\{ \left(\frac{CHPE\eta}{0.52} \right) + \left(\frac{CHPH\eta}{0.80} \right) \right\} \left(\frac{1.8}{2 - \bar{\psi}_R} \right) \right]^{-1} \times 100 \quad \{\text{Power and heat}\} \quad (7)$$

Bu eşitlik uyarınca, en fazla ekserji-tabanlı yakıt tasarrufu, $\bar{\psi}_R$ değerinin en yüksek olması ile mümkündür. Bu denklem güç ve ısı üretimi için geçerlidir. Soğutma yüklerinin giderek artması göz önünde alındığında bu eşitliğin bir kademe daha yükseltilerek soğutma ağırlıklı biçime getirilmesi gerekmiştir:

$$PES_R = \left[1 - \left\{ \left(\frac{CHPE\eta}{0.52} \right) + \left(\frac{CHPH\eta}{0.80} \right) + \left(\frac{CHPC\eta}{\left(\frac{1}{PEF} \right) \times COP_c} \right) \right\} \left(\frac{1.8}{2 - \bar{\psi}_R} \right) \right]^{-1} \times 100 \quad (8)$$

Bu eşitlikte, üretilen ısıнын kısmen bir ABS sisteminde soğuğa dönüştürüldüğü düşünölmüş ($CHPC\eta$), ve referans değeri olarak da şebeke elektriği ile çalışan ve COP_c değeri 4 olan bir ısı pompası kabul edilmiştir. PEF katsayısı (=2.5) Avrupa ölkelerinin ortalama yakıttan-prize güç gereksinim katsayısıdır. 0.52 ve 0.80 referans değeri AB genelinde sırası ile kombine güç santral referans verimi ve yoğuşmasız kazan ortalama referans verimidir. Bu değeri EU 2004/8/EC yönergeinin yan standartlarında yer alır. Her ölkenin kendi değeri yerine bu sayılar kullanılır ve böylelikle bir eş baş çalışması mümkün olur Beraber ısı ve güç sistemlerinde yakıtın gizli ısı kullanılmadığından yakıt tasarrufu da yoğuşmasız kazana göre hesap edilmiştir. Referans $\bar{\psi}_R$ değeri küresel enerji sektörünün ortalaması olan 0.2 değeri alınmıştır. Bu durumda Eşitlik 2'ye göre, $\Delta CO_2 = (1-0.2) = 0.8$ olmaktadır. Bu değeri anlamı, şimdiye değeri hiç itibar edilmeyen ekserji yıkımlarının olumsuz çevresel etkisinin CO_2 salım sorumlulukları cinsinden ölçtüğümüz ve izlediğimiz doğrudan CO_2 salımlarının %80'i kadar büyük bir oran teşkil ettiğidir.

Bir örnek olarak, tüm ısı çift etkili bir ABS sistemi ile soğuğa çevrildiğinde (COP_{ABS} 1.25. ve $\bar{\psi}_R$ be 0.65):

$$PES_R = \left[1 - \left\{ \left(\frac{0.4}{0.52} \right) + \left(\frac{0}{0.80} \right) + \left(\frac{1.25}{(1/2.5) \times COP_c} \right) \right\} \left(\frac{1.8}{2 - 0.65} \right) \right]^{-1} \times 100 = \%44.7 \quad \{\text{Güç ve soğuk}\}$$

Bu uygulama yerine üretilen ısı, ısı olarak ve daha yararlı bir uygulama dizininde kullanılsa idi ($\bar{\psi}_R = 0.75$)

$$PES_R = \left[1 - \left(\left(\frac{0.4}{0.52} \right) + \left(\frac{0.45}{0.80} \right) \right) \left(\frac{1.8}{2-0.75} \right) \right]^{-1} \times 100 = \%48$$

Bu iki örnekten de görüleceği üzere ısının -akılcı uygulamalarda kullanmak kaydı ile- ısı olarak değerlendirilmesi daha yakıt tasarrufludur. Öte yandan, $\bar{\psi}_R$ değeri, sadece enerjinin nasıl üretildiği ilgili olmayıp hangi ekserji akılcılığında, nasıl ve nerede değerlendirildiğinin de bir ölçütü olduğu unutulmamalıdır. Aynı soğuk gücünün doğal gaz kazanlı bir ABS sisteminde üretildiği düşünüldüğünde ($\bar{\psi}_R \sim 0.15$) büyük oranda yakıt kaybedildiği görülmektedir.

$$PES_R = \left[1 - \left(\left(\frac{0}{0.52} \right) + \left(\frac{0}{0.80} \right) + \left(\frac{1.25 \times 0.80}{(1/PEF) \times COP_c} \right) \right) \left(\frac{1.8}{2-0.15} \right) \right]^{-1} \times 100 = -64\% \quad \{\text{Doğal gazlı soğutma}\}$$

3.3. Doğrudan ve Neredeyse-Önlenebilir CO₂ Salım Sorumlulukları

Fosil yakıtlara dayalı ve beraber ısı ve güç üretimini içermeyen diğer bir deyişle elektrik enerjisini (E) ve ısıyı (Q) ayrı ayrı üreten uygulamalarda doğrudan salımlar Eşitlik 9-a`da verilmiştir.

$$CO_2 = c_k \left(\left[\frac{E}{\eta_E \eta_{TE}} + \frac{Q}{\eta_H \eta_{TH}} \right] \right) \quad \{\text{kg CO}_2\} \quad (9-a)$$

$$CO_2 = c_k \frac{E}{\eta_{CHPE}} = c_k \frac{Q}{\eta_{CHPH}} \quad \{\text{Beraber ısı ve güç}\} \quad (9-b)$$

Herhangi bir süreçte ise,

$$\overline{\Delta CO_2} = [0.27WR + 0.63(1-WR)](1-R_{EX})\varepsilon_{des} \cdot \quad \{\text{kg CO}_2/\text{kW-h}\} \quad (10)$$

$$R_{EX} = \frac{\sum_{i=5}^7 \varepsilon_i SH_i}{\sum_{j=1}^7 \varepsilon_j SH_j} \quad (11)$$

Burada WR söz konusu süreçte ne kadar ısı ve ne kadar güç üretildiğinin oranıdır. Örneğin, sadece ısı üretiliyorsa WR oranı 1`dir. Eşitlik 11`de 7 adet ulusal enerji kaynağı göz önünde tutulmaktadır.

Bunlardan ilk 3`ü (Fosil yakıtlar) sırası ile kömür ve linyit, doğal gaz, fueloil ve nafta türevleri, 4`cüsü hidroelektrik santraller, diğerleri de sırası ile güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji kaynaklarıdır. Yeni inşa edilmiş hidroelektrik santraller gömülü enerji ve CO₂ değerlerinin fazla oluşu nedeni ile yenilenebilir enerji olarak kabul edilmemektedir. Bu günkü enerji stokundaki kırımlar ve kurulu güç kapasiteleri göz önüne alındığında R_{EX} 0.125, c_K ise 0.217 kg CO₂/kW-h olarak bulunur.

3.4. Tümlleşik Değerlendirme Ölçütleri.

1- Akılcı Ekserji Yönetim Verimi, ψ_R

$$\psi_R \geq 0.7 \quad \{\text{Yeşil Uygulama}\} \quad (12)$$

2- Karbon Ayak izi Endeksi, CFI.

$$CFI = \frac{\sum \varepsilon_{des}}{\varepsilon_{sup}} \quad \{CFI \rightarrow 0\} \quad (13)$$

3- Sürdürülebilir Çevre Endeksi, SEI.

$$SEI = \eta_I \psi_R (1-ODI) \quad \text{or} \quad COP \psi_R (1-ODI) \quad (14)$$

4- Komposit Ozon Endeksi, ODI

$$ODI = \frac{0.1GWP^{0.03}}{(1-ODP)} \left(\frac{ALT}{1} \right)^{0.01} \quad (15)$$

5- Çevre Akılcılık Endeksi, CWI

$$CWI = \frac{ODI + 1}{2} \quad (16)$$

6- Önlenebilir, Doğrudan Salım Oranı, R_{CO_2}

$$R_{CO_2} = \frac{\Delta CO_2}{\Pi CO_2} \quad (17)$$

Bu ölçütler kkojenerasyon ısısının verilen taleplere göre en akılcı ve an az salımlı çözüm seçeneklerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

4. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

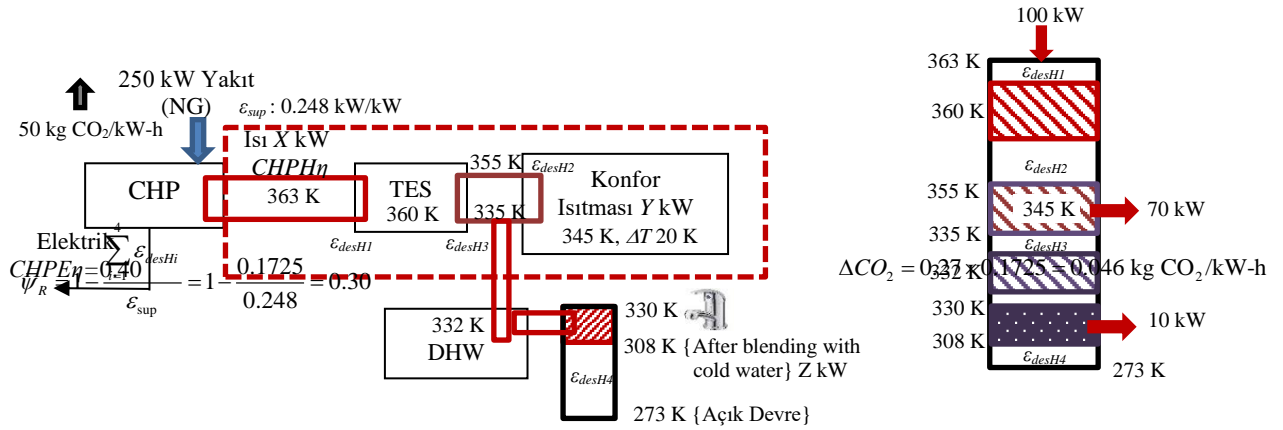
Bu çalışmada aynı kapasitedeki ve doğal gazlı bir beraber ısı ve güç sistemine (CHP) farklı şekillerde bağlanmış ısıtma ve soğutma cihazlarının performansı incelenmiştir. CHP kapasitesi ve işletim koşulları aynıdır: Sıcak su arzı: 363 K (90°C), elektrik üretim gücü: 100 kW. $C_{CHP} = 1$, η_{CHP} is 0.40. Dolayısı ile yakıt güç tüketimi: $100 \text{ kW}/0.40 = 250 \text{ kW}$. Doğal gaz için birim ekserji, $\varepsilon_f = 0.87 \text{ kW/kW}$.

Senaryo 1. Baz Senaryo: Sadece Isıdan-Isıya: Şekil 4`de gösterildiği üzere ekserji yıkımı dört ana noktada yer almaktadır. Baz searyoda *Esneklik Katsayısı*, EK 1 olup N_{CL} ile ilintilidir. $EK = N_{CL}^{1/3}$.

$$\eta_I = \frac{\sum \dot{Q}_{dem}}{\sum \dot{Q}_{sup}} = \frac{70+10}{100} = 0.80 \quad (18)$$

$$\eta_{II} \square COP_{EX} = \frac{\sum \dot{Q}_{dem} \varepsilon_{dem}}{\sum \dot{Q}_{sup} \varepsilon_{sup}} = \frac{70 \times (1 - 335/355) + 10 \times (1 - 308/330)}{100 \times 0.248} = 0.185 \quad (19-a)$$

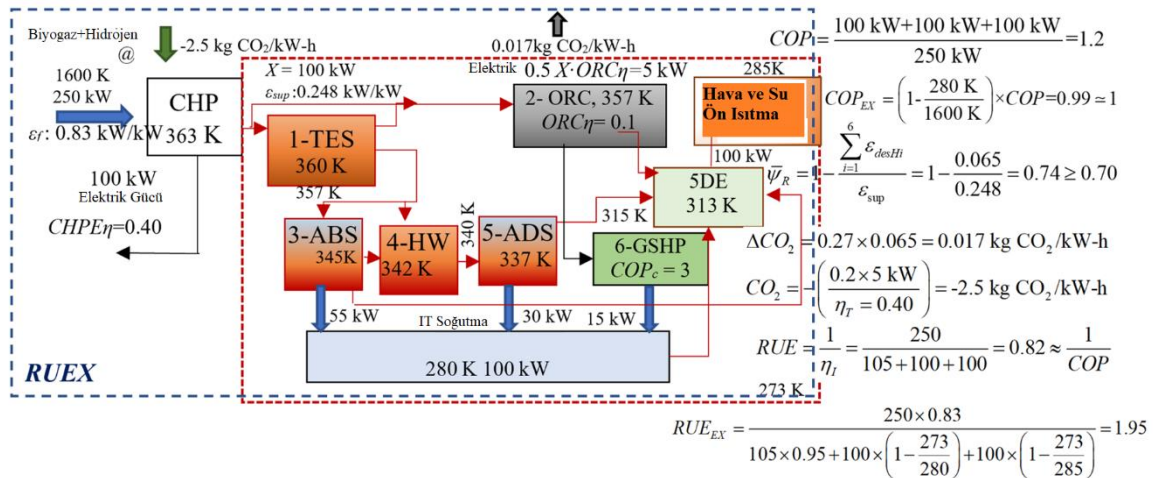
$$RUE_{EX} = \frac{250 \times 0.87}{100 \times 0.95 + 70 \times (1 - 273/355) + 10 \times (1 - 273/308)} = 1.93 \quad (19-b)$$



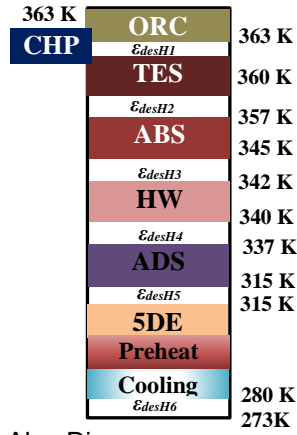
Şekil 4. Senaryo 1: CHP Isısının Bina Isıl Yüklerinin Karşılmasında Kullanımı, $N_{CL} = 2$, $RUE = 1.43$

Senaryo 2. Neredeyse-Sıfır Karbon Salımlı Veri Merkezi. Şekil 5 doğal gazın hidrojen ve biyogaz eklentili yakıtın kullanıldığı bir veri merkezi güç ve soğutma merkezini göstermektedir. Veri merkezlerinde kullanılmakta olan PUE ölçütü bu tür bir uygulamada sistem termodinamiğini tanımakta yetersiz kalmaktadır. Örneğin bu yenilikçi sistemin PUE değeri (1.33) sektör ortalamasının (1.6) altında kalmaktadır.

$$PUE = \frac{100 \text{ kW} + 100 \text{ kW}}{COP_c} = 1.33 \quad \{COP_c = 3\}$$



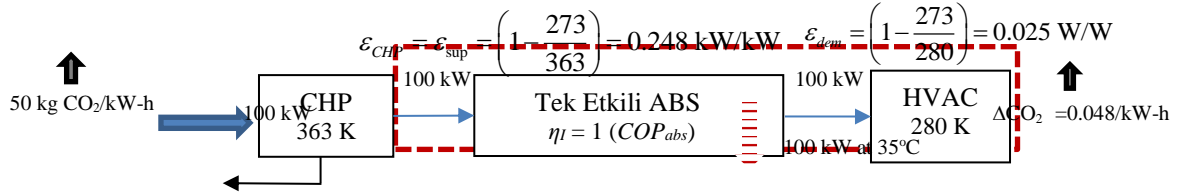
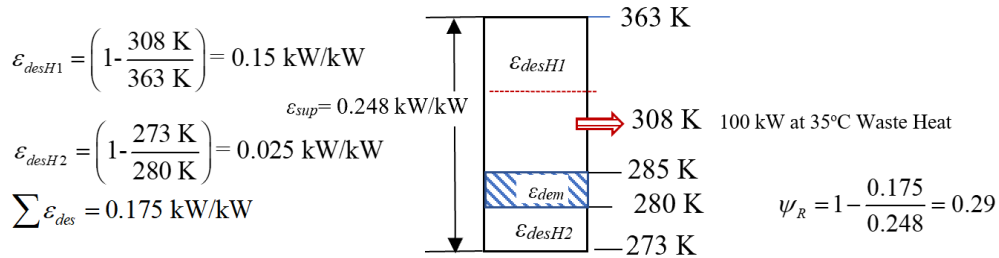
Şekil 5. Senaryo 2. Neredeyse-Sıfır Karbon Salımlı Veri Merkezi, $N_{CL}=6$



Şekil 6. Senaryo 2 (Şekil 5) için Ekserji Akış Diyagramı

$$\Pi CO_2 \square \sum CO_2 = CO_2 + \Delta CO_2 = +c_k RUE + 0.27 \left(1 - \frac{\epsilon_{sup}}{RUE_{EX}} \right) \quad (17)$$

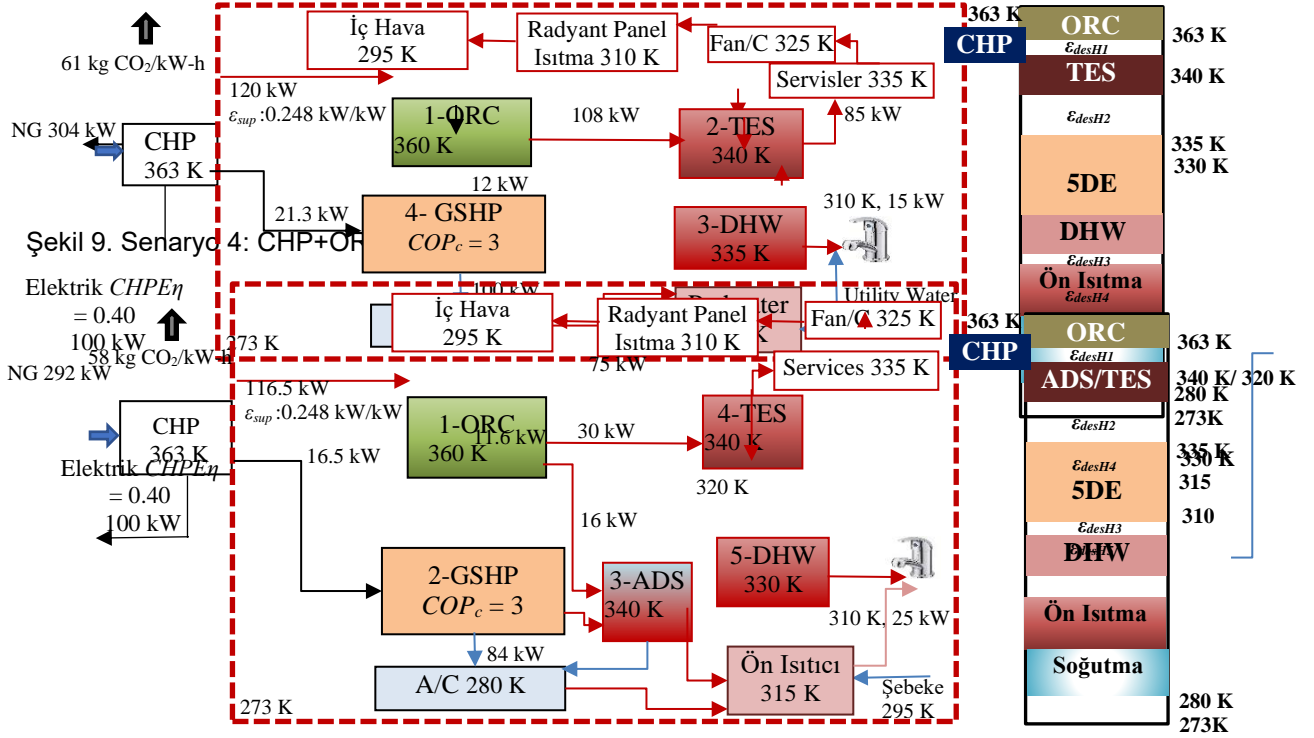
Senaryo 3: Simple CHP+ABS System: Şekil 7, ısının tek-etkili bir absorpsiyon sisteminde doğrudan soğutma gücüne dönüştürüldüğü sistemi göstermektedir.


 Şekil 7. Senaryo 3: Isının Doğrudan ABS Birimde Soğutma Amaçlı Kullanılması Cooling, $N_{CL} = 1$


Şekil 8. Senaryo 3: Şekil 7 için Ekserji Akış Diyagramı

Senaryo 4: CHP+ORC+HP Soğutma (Isıtma Sistemi): $ORC\eta = 0.10$, $COP_c = 3$. Halbuki 1.ci yasa uyarınca Senaryo 3 ile başa baş gelebilmesi için COP değerinin $7.5 (3/0.30 \times 0.60) = 16.7$ olması gerekir ki bu koşul çok kademeli soğutma gruplarında bile Pratik anlamda olanaksızdır.

Senaryo 5: CHP+ADS+ORC+HP Melez Sistem:

Şekil 10. Senaryo 5: CHP+ORC+ADS+GSHP, $N_{CL} = 5$

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makalede beraber ısı, güç ve soğuk sistemleri temelinde en uygun soğutma amaçlı bileşenlerin çözümlenmesine yönelik ekserji tabanlı yöntem geliştirilmiş ve veri merkezi gibi bir örnekte değişik seçenekler incelenmiştir. Bu çerçevede yeni ölçütler uygulanmıştır. Örneğin son günlerde ileri sürülen ve binaların süreç enerjilerini 1.ci yasa uyarınca değerlendiren PEI ölçütü [14] de yetersiz bulunmuş bunun ekserji tabanlı gelişmiş modeli olan RUE_{EX} örneklerle tanıtılmıştır. Bu ölçütün değişik yakıttan soğutmaya olan süreçlerde en az CO_2 salım sorumluluğuna ulaşabilecek çözümlerin bulunabildiği gösterilmiştir. Bu bağlamda alışılmış üçlü üretim sistemleri yerine yenilenebilir enerji kaynaklı veya destekli olmak üzere çoklu sistemlerin sunduğu daha geniş seçenekler yelpazesinde bu makalede gösterilen ölçütler yardımı ile en doğru çözümlerin kolaylıkla ve REMM modeli çerçevesinde bulunabileceği gösterilmiştir [15]. Ayrıca, önceki çalışmalar [16] tekrar yorumlanmış, geliştirilmiş ve sistem esneklik Katsayısı, NK , N_{CL} cinsinden formüle edilmiştir.

Tablo 1. Çevresel Etki be Ekserji Tabanlı Performans Mukayesesi

ISIL UYGULAMA	SENARYO ϵ_{sup} :0.248 kW/kW	1 st Yasa	EKSERJİ-TABANLI ÖLÇÜTLER									
		η_i or COP CO ₂	<i>i</i>									
		η_{II}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			η_{II}	$1/\sum \epsilon_{des}$	$\bar{\nu}_R$	1/CFI	1/RUE	0.1/ Δ CO ₂	$\frac{1}{ODI+1}$	SEI	COP _{EX}	1/CWI
Isı	1 (Referans) (N _{CL} = 2)	0.80	0.185	5.8	0.3 0	1.4	0.70	2.2	1	0.2 4	0.18 5	0.30
		50										
Soğuk (veya ısı ve soğuk)	2 (Veri Merkezi) (N _{CL} = 6)	1.2	0.5 1	3.8	0.7 4	3.8	1.2	5.9	0.97	0.86	1	0.76
		-2.5										
	3 (CHP+ABS) (N _{CL} = 1)	$\frac{1.2}{50}$	0.5 6	5.7	0.2 9	1.4	0.80	2.1	0.98	0.2 4	0.90	0.30
		50										
	4 (CHP+ORC+HP) (N _{CL} = 4)	1.1	0.5 2	4.5	0.5 5	2.1	1	3.5	0.97	0.5 5	0.93	0.57
61												
5 (Case 4+ADS) (N _{CL} = 5)	$\frac{1.1}{58}$	0.5 3	4.4	0.6 5	2.5	1.1	3.1	0.96	0.7 1	0.95	0.68	
58												

*Hidrojen Sızıntısı İçin

6. SİMGELER

a'	$a'_H=0.27, a'_E=0.63$ (Türkiye için), (Eşitlik 10)
c_{av}	Enerji stokunun birim salım değeri, kg CO ₂ /kW-h
c_k	Yakıtın birim salım değeri, kg CO ₂ /kW-h
CFI	Karbon ayak izi endeksi
CHPC η	Soğutma gücü üretiminde kısmi verim
CHPE η	Elektrik üretiminde kısmi verim
CHPH η	Isıtma gücü üretiminde kısmi verim
C_{CHP}	Güç-ısı oranı
C_{BE}	Talep tarafında güç-ısı oranı
CO ₂	Doğrudan CO ₂ salımı, kg CO ₂ /kW-h
COP _c	Soğutma grubunun tesir katsayısı
EK	Esneklik Katsayısı
H	Isıl güç arzı, kW
N _{CL}	CHP etrafında gruplandırılan cihaz sayısı
OM	İşletim karı, kg CO ₂ /kW-h
P	Pompa veya fan güç talebi, kW
PEF	Birincil Enerji Faktörü
PEI	Süreç enerjisi endeksi
PER	Birinci enerji oranı, η_T COP
PES	Birincil enerji tasarruf Oranı, %
PES _R	Ekserji tabanlı birincil enerji tasarruf Oranı, %
PUE	Güç değerlendirme etkinliği
Q, \dot{Q} (veya H)	Isıl güç arzı, kW-h
R	Enerji kaynak harmanında kaynak karışım oranı (nükleer ve yeni büyük



R_{CO_2}	hidroelektrik santraller hariç)
R_{EX}	Neredeyse-önlenebilir salım/toplam salım
RUE	Enerji kaynak harmanında ekserji-tabanlı oran
RUE_{EX}	Kaynak değerlendirme etkinliği
R_{CO_2}	Ekserji-tabanlı kaynak değerlendirme etkinliği
S	Neredeyse-önlenebilir ekserji yıkım oranı
SEI	Soğuk üretim kapasitesi, kW
SH	Sürdürülebilir Çevre Endeksi
T	Enerji Stokundaki kurulu güç payı, %
t	Sıcaklık, K
WR	Sıcaklık, °C
durum	Bir süreç zincirinde esas ekserji yıkımının yararlı iş üretiminden sonra olan sayısının esas ekserji yıkımının yararlı iş üretiminden önceki duruma oranı
ε	Birim ekserji, kW/kW
ψ_R	Akılcı Ekserji Yönetim (REMM) Verimi
$\bar{\psi}_R$	Çoklu sistemlerin toplam ψ_R değeri
η_I	1.ci Yasa verimi
ΔCO_2	Ekserji yıkımlarının neden olduğu salım, kg CO ₂ /kW-h
ΣCO_2	Toplam salım (Doğrudan ve neredeyse-önlenebilir), kg CO ₂ /kW-h
ΠCO_2	Sağlık boyutu dahil toplam salım, kg CO ₂ /kW-h
ΔT	Sıcaklık farkı, K
<u>Alt Simgeler</u>	
a	İç (hava)
act	Gerçek
av	Ortalama
B	Bina
BE	Bölge enerji sistemi
c	Soğutma, çiller
D	Bölge
dem	Talep
des	Yıkım
E	Elektrik
H	Isı
HP	Isı pompası
I	1.ci Kanun ile ilişkili
II	2.ci Kanun ile ilişkili
max	Maksimum
opt	Optimum
ref	Referans
ret	Dönüş
sup	Arz
<u>Kısaltmalar</u>	
AB	Avrupa Birliği
A/C	Klima
ABS	Absorpsiyon
ADS	Adsorpsiyon
CCHP	Üçlü Üretim, Trijenerasyon
CHP	Beraber Üretim, Kojenerasyon
5DE	5.ci Nesil Bölge Enerji Sistemi
DHW	Sıcak Servis Suyu
EPA	Environmental Protection Agency
GSHP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
HP	Isı Pompası
HT	Sıcak Su Arzı
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve Klima
LowEx	Düşük Ekserji



ORC	Organik Rankin Çevrimi
PVT	Foto-Voltaik-Isıl
REMM	Akılcı Ekserji Yönetim Modeli
PV	Foto-Göze
PVT	Foto-Voltaik ve Isı
RHC	Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Isıtma ve Soğutma
WPH	Su Ön Isıtıcı

7. KAYNAKÇA

- [1] Lund, H. (Ed). 2014. Renewable Energy Systems, Elsevier, ISBN:978-0-12-410423-5
- [2] EPA. 2015. Fuel and Carbon Dioxide Emissions Savings Calculation Methodology for Combined Heat and Power Systems, Combined Heat and Power Partnership, 27 pages, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/fuel_and_carbon_dioxide_emissions_savings_calculation_methodology_for_combined_heat_and_power_systems.pdf>
- [3] EPA. CHP Energy and Emissions Savings Calculator, Version 3.2, June 22, 2020, <<https://www.epa.gov/chp/chp-energy-and-emissions-savings-calculator>>
- [4] Ecoheatcool, 2006. The European Cold Market, Final Report, 45 pages, Belgium. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/ecoheatcool_the_european_cold_market_final_report.pdf
- [5] 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.
- [6] Kilkis, B. 2020. An Exergy-Rational District Energy Model for 100% Renewable Cities with Distance Limitations, *Thermal Science*, Vol. 24, No. 6A, pp: 1-21.
- [7] van den Heuvel, M. 2020. Peak Buffering by the Ecovat Thermal Energy Storage System, M.Sc. Thesis, 85 pages, Eindhoven University of Technology, the Netherlands,
- [8] Kilkis, B., and Kilkis, S. 2015. *Combined Heat and Power with Renewable Energy Sources* (in Turkish), Publication no: 32, 371 pages, Turkish Society of HVAC and Sanitary Engineers, Doga Publication Co. ISBN: 978-975-6263-25-9.
- [9] Kilkış, Ş, Kilkış, B. 2019. An Urbanization Algorithm for Districts with Minimized Emissions Based on Urban Planning and Embodied Energy Towards Net-Zero Exergy Targets, *Energy*, 179 (2019) 392-406.
- [10] Kilkis, S., Wang, C., Bjork, F., and Ivo Martinac, I. 2016. Cleaner Energy Scenarios for Building Clusters in Campus Areas Based on The Rational Exergy Management Model, *Journal of Cleaner Production*, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.126/
- [11] Kilkis, S., Kilkis, B. A New Metric for Net Zero Exergy Building, Proceedings of ES2007, *Energy Sustainability*, Paper No: ES 2007-36263, June 27-30, Long Beach, California, 2007.
- [12] EU. 2004. Directive 2004/8/EC of The European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on The Promotion of Cogeneration Based on a Useful Heat Demand in the Internal Energy Market and Amending Directive 92/42/EEC, L 52/50, 21.02.2004. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0008&from=EN>>
- [13] Avgerinou, M., Bertoldi, P., and Castellazzi, L. 2017. Trends in Data Centre Energy Consumption under the European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency, *Energies*, 2017, 10, 1470; doi:10.3390/en10101470.
- [14] Chang, R. 2019. A Metric to Characterize Commercial Building Process Loads Energy Use, *ASHRAE Journal*, November 2019 Issue pp: 12-21.
- [15] B. Kilkış ve Ş. Kilkış. 2018. Utilization of Cogeneration Heat in Hot and Humid Mediterranean Climates: Exergetic Change of the Game by Solar Cooling Versus Absorption Cooling, Paper No: SDEWES2018.0533, Palermo, 30.9.-4.10.2018.



[16] Kilkis, B. 2018. Best Method to Utilize Heat of Trigenation: Exergy Transfer Issues in Absorption Cooling, Seminar 41: The Future of Thermal Cooling to Support Resilient CHP Systems, ASHRAE Annual Conference, June 23-27, 2018, Houston, TX.

8. TEŞEKKÜR

Bu araştırmada öncelikle veri merkezleri özelinde birlikte çalışmakta olduğum Hacettepe Teknokent Polar Teknoloji yöneticileri Sayın Koray Kentli ve Berkay Kentli'ye uzun süredir göstermekte oldukları yoğun ilgi, destek ve verdikleri motivasyon için çok teşekkür ederim.

Ayrıca Doç. Dr. Şiir Kılış'ın geliştirmiş olduğu REMM modelinin bu çalışmanın temelinde çok yararlı olduğunu belirtir kendisine çok teşekkür ederim.

9. 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 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.

EKSERJİ-AKILCI EN UYGUN JEOTERMAL KUYU DERİNLİĞİNİ ÇÖZÜMLEME MODELİ

Exergy-Rational Analysis Model For Optimum Geothermal Well Depth

Nil Özsancak
Biol Kılış

ÖZET

Bu çalışmada CO₂ salımlarının ekserji tabanında incelendiği, iç içe geçmiş iki eniyileme döngüsünden oluşan en uygun kuyu derinliği hesap modeli geliştirilmiştir. Bu model kullanılarak kuyunun derinliğine bağlı kuyu açma, bakım ve onarım faaliyetlerinin tümünün bugünkü gömülü CO₂ değerleri (CO₂ yatırımı) ile işletme sırasında kuyu derinleştirildikçe sağlanan jeotermal akışkan sıcaklık farkından doğan ekserji kazancından artan pompa gücü ekserji giderinden arta kalan, yıllara sâri CO₂ salım tasarrufunun (CO₂ geliri) karşılaştırmasından en uygun kuyu derinliği hesaplanabilmektedir. Bu hesabın kuyu derinliğine bağlı iki amacı sırası ile, CO₂ salımlarında en hızlı geri dönüş süresi (yıl olarak) ve en az karbon ayak izidir. Bu model çerçevesinde salt ekonomik öngörüler yerine özellikle Ülkemiz açısından düşük entalpili jeotermal kaynaklarımızın en akılcı biçimde değerlendirilmesinde termodinamiğin 2. yasasının ön plana çıkarılmasının gereği tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Enerji, Organik Rankin Çevrimi, CO₂ Salımları, Jeotermal Bölge Isıtması, Ekserji Tabanlı Model, En Uygun Kuyu Derinliği.

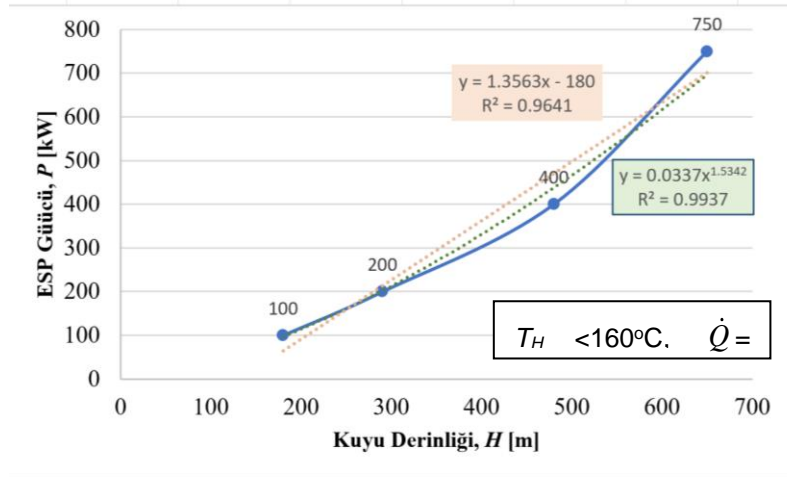
ABSTRACT

In this study, the most exergy-rational geothermal well depth calculation model has been developed. This model is composed of two nested optimization loops, with the objective of minimizing CO₂ emissions based on exergy mismatches and destructions in processes. Using this model, CO₂ embodiments (CO₂ investment) regarding well drilling, maintenance, and repair activities depending on the depth of the well are compared with the corresponding CO₂ savings from thermal exergy gain during operation due to geothermal fluid temperature increase with the geothermal well depth, subtracted by the increase of the ESP pump electrical exergy demand. CO₂ emission savings (CO₂ emissions savings in years). The optimal well depth can therefore be determined by comparing CO₂ cost and savings. The dual objective is to minimize the return of the CO₂ costs and the least amount of CO₂ emissions during operation. Within the framework of this model, the essence of bringing the 2nd Law of thermodynamics to the forefront is discussed for targeting the most rational and environmentally safe utilization of low-enthalpy geothermal resources, rather than purely economic expectations.

Keywords: Geothermal Energy, Organic Rankine Cycle, CO₂ Emissions, Geothermal District Heating, Exergy-Based Modeling, Optimum Well Depth.

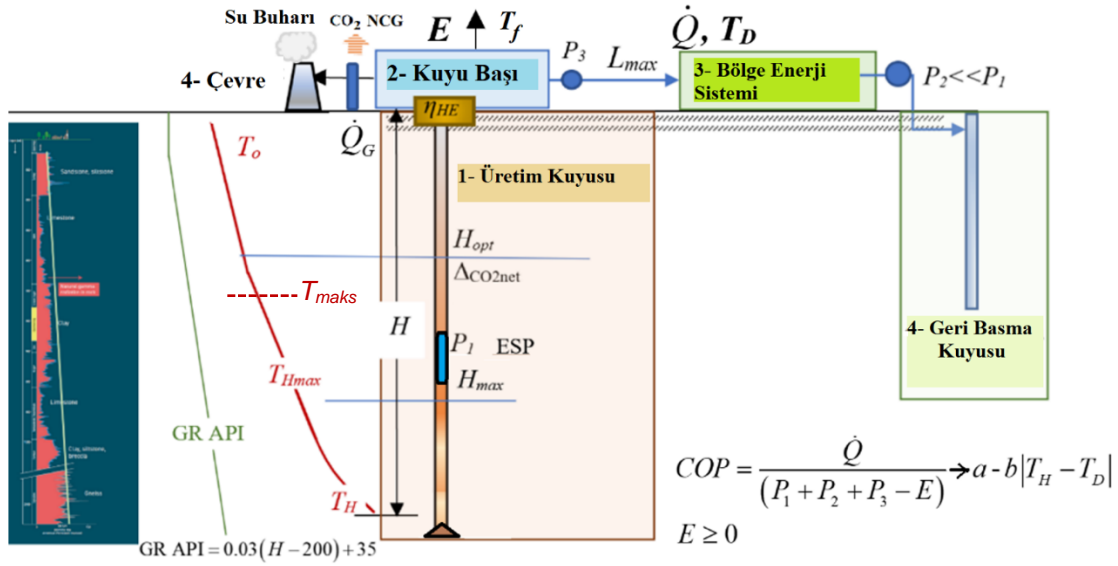
1. GİRİŞ

Günümüzün iklimsel acil durumu karşısında ülkeler bir yandan doğada bol miktarda bulunan fakat entalpileri düşük oldukları için bugüne değin yeterince değerlendiremedikleri düşük sıcaklıklardaki jeotermal enerji kaynaklarını ve atık ısıları, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik gücü ile çalıştırılan ısı pompaları kullanarak tam elektrifikasyona yönelirken bir yandan da çok düşük sıcaklıkta (35°C) bölge ısıtması ve alışılandan oldukça yüksek sıcaklıkta (19°C) bölge soğutmasına öncelik vermektedirler. Bunun ana nedeni ısı pompalarının küçük sıcaklık yükseltmelerinde (Isıtma) veya düşürmelerinde (Soğutma) performans katsayılarının daha yüksek olması ve bu nedenle de daha az elektrik enerjisi tüketmeleridir. Bu yaklaşım ancak düşük ekserjili binalarla mümkündür (EBC, 2018; Tanay, 2019; Kılış, Ş. 2011). Çözümün bu yönü başka bir makaleye atfedildiğinde (Kilkis, 20121) Ülkemizde çok yaygın ve bol miktarlarda bulunan düşük entalpili jeotermal enerji kaynaklarımızın potansiyel katkıları gündeme gelmektedir. Düşük entalpili jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ORC teknolojisi olası bir seçenektir ve atık ısıları da düşük sıcaklık-bölge ısıtmasına tamamen uygun olsa da verimliliği ve ekserji akılcılığını arttıracak kaynak sıcaklığını yükseltecek en uygun kuyu derinliklerinin hesaplanması önem kazanmıştır. Bu bağlamda, Avrupa Birliğinin iklimsel acil duruma karşı yapıllı çevrenin karbonsuzlaştırılması için toptan elektrifikasyon gibi yönelimlerinin sonucunda önceden pek ekonomik görülmeyen derin jeotermal kuyulara ilgi artmış ve Avrupa Birliği bünyesinde 2016 yılında *Deep Geothermal European Technology and Innovation Platform* (ETIP-DG, 2016) kurulmuştur. Ayrıca üretim kuyularında seviye azalması da bu yönelimi tetiklemektedir. Kuyular derinleştikçe (H) yer kabuğu ve jeotermal kaynak sıcaklığı (T_H) artmakta, dolayısı ile düşük ve çok düşük entalpili jeotermal kuyular veya yeni kuyular derinleştirilerek kısmen de olsa ORC teknolojisi ile elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Ancak kuyu derinliği arttıkça ESP pompa güç talebi de (P) artmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. ESP Pompanın Kuyu Derinliğine Bağlı Örnek Eğrisi. Dik, Sabit Çaplı Düz Kuyu

Bu güç talebi işletme maliyetlerinden de daha önemlisi olarak yüksek kaliteli enerji (Elektrik) kullanmakta, buna karşın her bir metre daha derin kuyu için elde edilecek sıcaklık artışının potansiyel katma değeri (Birim Ekserji) elektrik gücüne oranla (0.95 kW/kW) çok daha az olacaktır. Örneğin jeotermal akışkanın sıcaklığı 2°C artarsa birim ekserji kazancı sadece 0.006 kW/kW olur. Görüldüğü üzere, bu fark ancak ekserji (Termodinamiğin 2. Yasası) ile incelenebilir. Salt ekonomik analizler bu nedenle çoğu kez yanıltıcı olabilmektedir ve artık günümüzde çevresel karbon ayak izi çözümlenmeleri ekonomik çözümlenmelerin önüne geçmiş bulunmaktadır. Amaç, sektörü ve yapıllı çevreyi karbonsuzlaştırma ve küresel ısınmayı azaltma ise, amaç fonksiyonu da en az CO_2 salımına eşlenik optimum kuyu derinliği H_{opt} olmalıdır sorusunu cevaplamalıdır. Cevabın ekserjiye dayalı ve çevre bağlantılı dört çelişkisi Şekil 2 de gösterilmektedir. H_{max} değeri sınır derinliktir ve CO_2 salımında sıfır azaltımı gösterir. Daha derin kuyularda CO_2 salımları artar ve mevcut kuyu pompaları belirli bir sıcaklık üzerinde (T_{maks}) kısa sürede arıza yapmaktadır. Örneğin, 180°C giriş sıcaklığında arızasız çalışma süresi genelde 1500 saati geçmez. Bu nedenle, optimizasyonda $T_{op} < T_{maks}$ kısıtı geçerlidir.

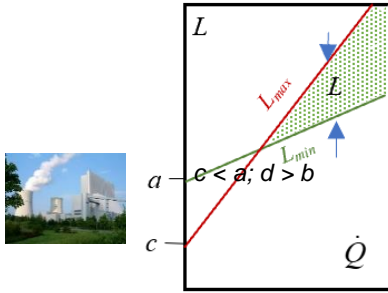


Şekil 2. Derin Jeotermal Kuyuların Dört Çelişki Boyutu © 2019 B. Kılış

1- Üretim Kuyusu: Kuyu derinliği arttıkça ısıl güç ekserji (Sıcaklık) kazanır fakat gerekli pompa gücü dolayısı ile elektrik güç ekserji talebi de artar. Her ikisi de kuyu derinliğine bağlıdır.

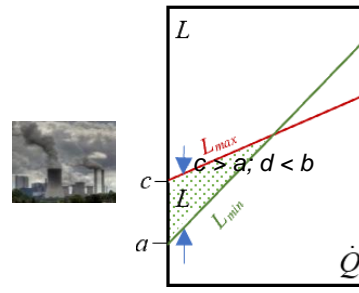
2- Kuyu Başı Tesis: Kuyu derinliği arttıkça kuyu başında en uygun ısı ve veya ısı ve güç ekserjilerinin arz potansiyeli artar. Örneğin, ORC tesisi kurulacaksa ısı ve elektrik çıktıları artar (Verim ve çevre).

3- Bölgede Değerlendirme: Jeotermal kaynaklı ısının ve veya ORC atık ısısının yakın çevrede değerlendirilmesinde kuyu başında elde edilen ekserjinin en akılcı ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi gerekir. Bu sırada ısının götürüleceği 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} o denli kısalmış (Şekil 3 ve 4).


 Şekil 3. Çevre Duyarlı Tesiste L_{max} ve L_{min}

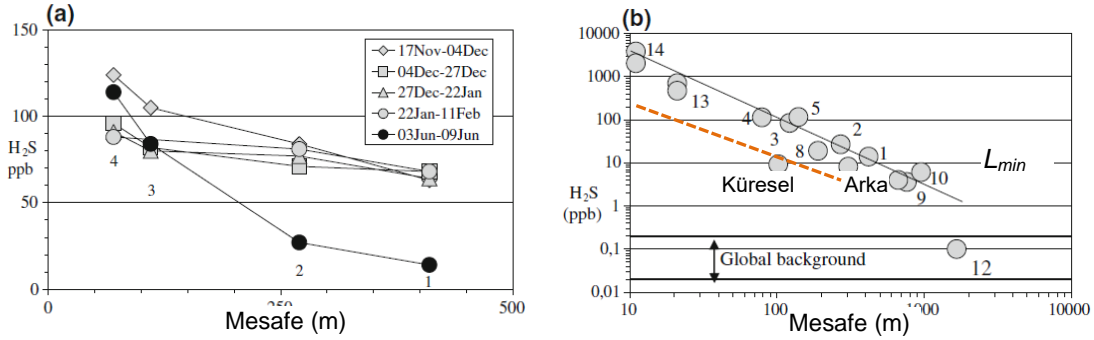
$$L_{min} \geq a + b\dot{Q}$$

$$L_{max} \leq c + d\dot{Q}$$

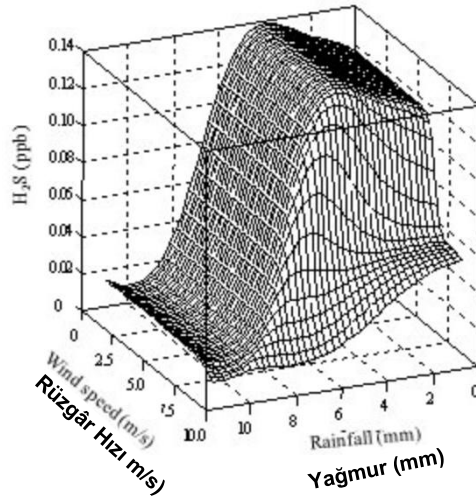

 Şekil 4. Çevre Duyarsız Tesiste L_{max} ve L_{min}

4- Çevre: Tüm sistem tamamen kapalı tutulsa bile kuyu derinliği arttıkça değişik zararlı parçacıklar ve radyoaktif elementler (Gama ışınım eşdeğeri) dışarı hiç sızmadığı kabul edilse bile daha sığ açılacak bir geri basma kuyusunda bu maddeler yüzeye daha yakın bir seviyeye taşınmış olacak ve uzun vadede yüzeye doğal erişimleri daha yaygın ve hızlı olacaktır. Ayrıca yoğunlaştırılmayan zararlı gazlar eğer tekno-ekonomik biçimde değerlendirilmez ve tutulup ekolojik biçimde depolanmazsa bu çevre zararları önemli boyutlara ulaşır ve jeotermal tesislerin çok yakınında yaşamsal, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin asla kurulamamasına ve değerli arazi kaybına neden olur. Minimum emniyetli mesafe, L_{min} mevsime, havanın bağıl nemine, ortam sıcaklığına, basıncına, rüzgâr şiddetine, kuyu derinliğine ve anlık üretim kapasitesine bağlı şekilde değişebilmektedir (Örnekler: Şekil 5 ve 6). Diğer bir olumsuzluk da yukarıdaki şekillerde gösterildiği üzere atık ısının değerlendirilmesinde L_{max} değerinin çok kısa olması sonucu çevre ve katma değer kısıt ve beklentilerinde önemli bir ikilem ortaya çıkarmasıdır. Ayrıca çevresel ayak izinde soğutma kulelerinde atılan su buharının sera etkisi, soğutmada kullanılan fanların çektiği elektrik gücünün sağlandığı santrallerdeki CO₂ salımlarının

sorumluluğu yoğunlaşmayan gazlar ve diğer parçacıklar yanı sıra radyoaktif maddeler önemli sorunlardır. Jeotermal santral merkezinden belirli bir emniyet çemberi ile tarif edilen bir sahayı boş bırakmak gerekir. Çember yarıçapı, L_{min} zararlı gaz ve parçacıkların etkin tutumu, depolanması ve değerlendirilmesi ile kısıtlanabilir. Örneğin, H_2S gazından hidrojen gazı ve sanayide talebi olan sülfür ayrıştırılarak değerlendirilebilir. Şekil 5a, H_2S gaz atımının yoğunluğuna bağlı olarak merkezden olan mesafeye bağlı değişimini farklı gün ve mevsimlerde göstermektedir. Şekil 5b 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 yakının tutulması gerekmektedir (Kesikli çizgi, L_{min} : 300 m). Şekil 6 da ise H_2S gazının çevreye yayılımının bahar aylarında yağmur yağışına ve rüzgâr hızına olan bağı görülmektedir. Dolayısı ile, herhangi bir yörede zararlı gaz ölçümleri yapılarak veya modellenerek yıl boyu değişimlerinin ağırlıklı ortalamasına göre L_{min} tespit edilmelidir.



Şekil 5. H_2S Yoğunluğunun Değişik Mevsim ve Günlerde Mesafeye Göre Örnek Değişimi (D'Alessandro, W., Brusca, K., 2009)

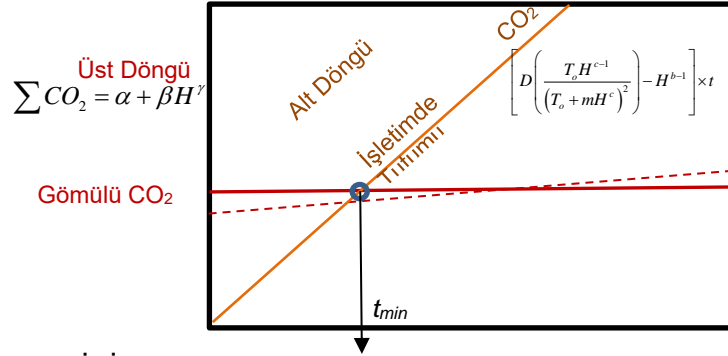


Şekil 6. Bahar Aylarında H_2S Gazının Çevreye Yayılımının Yağışa ve Rüzgâr Hızına Bağı (Olafsdottir, S., and Gardarsson, S., 2013.)

2. EN UYGUN KUYU DERİNLİĞİ HESAP MODELİ

2.1. Üst Döngü: Gömülü CO₂ Eniyilemesi

Bu döngüde H derinliği ne kadar kısa olursa gömülü CO₂ salım sorumlulukları o denli azalır ancak bu kez kaynak sıcaklığı azalacağından kuyunun yararlı iş potansiyeli azalır ve bu arada EPS pompa gideri de azalır. Bu üç değişken H değerine bağlıdır. Alt döngüde (Şekil 1) H eniyilenirken (H_{opt}) üst döngüde de en iyi H değeri gömülü değerlerle düzeltilir.



Şekil 7. CO₂ Tabanlı, İç İççe Eniyileme Döngülerinde Ekserji Çözümü

Aslen kuyu derinliğine bağlı olarak zamanla az da olsa artan (bakım, onarım) gömülü CO₂ salım sorumlulukları (noktalı çizgi) şekil 7'de sabit kabul edildiğinde, CO₂ geri dönüş süresi, t_{min} işletim sırasındaki salım potansiyelinin değişimi göz önünde bulundurularak Eşitlik 1 aracılığı ile çözülebilir. Eşitliğin payında gömülü CO₂ değerinin H ile ilişkisi, paydasında ise kuyunun en uygunu H_{opt} değerinin alt döngü ile bulunmasını simgeler (Eşitlikler 2'den 7'ye kadar). Diğer bir deyişle, paydanın maksimum olması (alt döngü) payın ise minimum olması (üst döngü) amaçlanmaktadır.

$$t_{min} = \frac{(\alpha + \beta H_{opt}^{\gamma})_{min}}{\left[D \left(\frac{T_o H_{opt}^{c-1}}{(T_o + m H_{opt}^c)^2} \right) - H_{opt}^{b-1} \right]_{max}} \quad (1)$$

2.2. Alt Döngü: İşletimsel Eniyileme

$$T_H(H) = T_o + mH^c \quad ; \quad \Delta T(H) = T_H(H) - T_o = mH^c \quad (2)$$

Kuyu derinleştikçe artan jeotermal akışkan sıcaklığının (Eşitlik 2) doğal gazlı bir kazandan tasarruf edeceği ve kuyu derinliğine bağlı salım sorumluluğu, $\Delta CO_{2G}(H)$ Eşitlik 3'de verilmiştir:

$$\Delta CO_{2G}(H) = -0.63 \times \left(1 - \frac{T_o}{T_o + mH^c} \right) \quad (3)$$

Buna karşın kuyu derinleştikçe ESP pompanın elektrik güç talebi de artacaktır. Artan güç talebinin yerinde kurulu dökme doğal gazlı bir jeneratörden karşılandığı kabul edildiğinde oluşan $\Delta CO_{2P}(H)$ bu tasarruftan çıkarılmalıdır.

$$\Delta CO_{2P}(H) = +(0.27 \times 0.95) P_1 + |2.3 - R_{CO_2}| \{ \text{Pompa elektriğine bağlı salım} \} \quad (4)$$

P1'e, a ve b'nin ESP özelliklerini temsil ettiği aHb adlı bir güç fonksiyonu ile yaklaşılmaktadır. P1 değeri, daha az pompa işletme ve CO₂ maliyeti bileşenleri göz önüne alındığında, sondaj kuyu çapının artırılması pahasına arttırılabilir. ΔCO 'deki net azalma, yani ESP'nin her kW'ı için ΔCO_{2net} , Denklem 9-b ve 10 arasındaki farktır ve maksimize edilmelidir.

$$D \left(\frac{T_o H_{opt}^{c-1}}{(T_o + m H_{opt}^c)^2} \right) = H_{opt}^{b-1} \quad \{ R_{CO_2} = \dot{Q} / \Delta P = 2.3 \text{ için} \} \quad (5)$$

$$D \left(\frac{T_o}{(T_o + mH_{opt})^2} \right) = H_{opt}^{b-1} \{ \text{Doğrusal Profil, } c = 1 \} \quad (6)$$

$$D = \frac{0.63c \times m}{(0.26 \times a \times b)} = \frac{2.42c \times m}{a \times b}; R_{CO_2} = 0.2 \left(\frac{1}{0.35} - \frac{1}{0.85} \frac{\dot{Q}}{P_1} \right) \quad (7)$$

$\Delta CO_{2net} = 0$ koşulunda ise müsaade edilebilen fazla kuyu derinliği Eşitlik 8 aracılığı ile sınama yanılma yöntemi ile bulunabilir.

$$\Delta CO_{2net} = 0 = 0.26aH_{max}^b - 0.63 \left(1 - \frac{T_o}{T_o + mH_{max}^c} \right) \{ H_{max} > H_{opt} \} \quad (8)$$

(Kilkis, B., 2020-d; Kentli, K., Kentli; B. ve Kilkis. B., 2021). Bir ORC sistemi önce güç üretip sonra da atık ısısını yararlı bir işe sağlayabilir. Ancak iyi bir ORC işletme sıcaklığına ulaşmak için kuyu derinliğinin artırılması gerekiyorsa ve sadece ısıdan-ısıya bir işletme öngörülüyorsa T_o sıcaklığını piklemek üzere bir ısı pompası kuyu derinliğini arttırmaya gerek olmaksızın ısıtma veya soğutma amaçlarında yeterli olabilir. Ancak bunun ekserji tabanlı koşulları (Eşitlik 9 ve 10) sağlanmalıdır.

$$COP = d + e\Delta T_{max} = d + mH_{max}^c \quad (9)$$

$$0.95aH_{max}^b - emH_{max}^c > d \quad (10)$$

Sığ jeotermal kuyularda pompa sarfiyatının azaltılmasının yanı sıra, radyoaktif elementlerin yoğunluğu azalır ve aynı zamanda derin kuyuların gömülü CO_2 salım sorumlulukları ve enerji maliyetleri de büyük ölçüde bertaraf edilmiş olur. Bunun yerine kullanılacak olan ısı pompalarının ise soğutucu akışkan sızıntıları nedeni ile ozon katmanına zararı vardır ve kendileri elektrik tükettiklerinden işletme sırasında CO_2 salım sorumlulukları da vardır. Toplam ısı pompası COP değerini yükseltmek üzere iki adet daha küçük ve ardışık ısı pompası kullanılarak her ısı pompasının sıcaklık pikleme kademesinin azaltılması daha akılcıdır (Kilkis, B., 2021). Özellikle derin kuyulardan lityumun daha temiz ve ekonomik olarak teminine başlandığı da hatırdan çıkarılmamalıdır (İngiltere, Fransa, ABD). Bu bağlamda, en çok Li_2CO_3 derinliğine ulaşacak kuyu derinliği de ek bir alt eniyileme girdisi olmalıdır (EGEC, 2021).

2.3. ORC Teknolojisinde Ekserji Kısıtları

CO_2 salımlarının gömülü ve işletimsel boyutlarda en aza indirmesi ile bulunan H_{opt} değeri bize aynı zamanda jeotermalden elde edilebilecek en yüksek jeotermal kaynak sıcaklığı T_f değerini de verir (Eşitlik 2). Bu sıcaklık yukarıdaki bölümde tespit edildiğine göre ikinci tasarım aşaması bu sıcaklıktaki kaynağın ne tür bir üretimde yararlı işe dönüştürülmesinin eniyilemesini kapsar. Örneğin, bu sıcaklıkta ORC sistemi ile önce elektrik gücü üretilip atık ısının değerlendirilmesi mi yoksa elektrik üretmeyip ısının doğrudan ısı olarak kullanılması mı daha ekserji- akılcıdır. Bu noktanın titizlikle belirlenmesi gerekir ki bu ancak 2. Yasa ile mümkündür. Eşitlik 11` de bir ORC verim eşitliği doğrusal biçimde verilmiştir.

$$\eta_{ORC} = a + bT_f, \quad (11)$$

Eşitlik 12`de ise ısıyı ısı olarak kullanmak karşısında ısıyı öncelikle elektrik üretiminde kullanmanın gene CO_2 salım sorumluluğu tabanında özdeş noktası verilmiştir. Bu eşitliğin sol tarafında ısının sadece ısı olarak değerlendirilmesi yer almaktadır. Bu seçenekte elektrik gücü üretilmediğinden dolayı CO_2 salım sorumluluğu vardır. ORC ile elektrik gücü üretiminde ise bu kez ısının önemli bölümü değerlendirilmemekte ve gene bu orantıda CO_2 salım sorumluluğu bulunmaktadır (Cologne ve Polar)

$$\Delta CO_2 = 0.63 \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_E} \right) = 0.27 \left[\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f} \right) - 0.95 \left(\eta_{ORC} - \frac{P+F}{E} \right) \right] \quad (12)$$

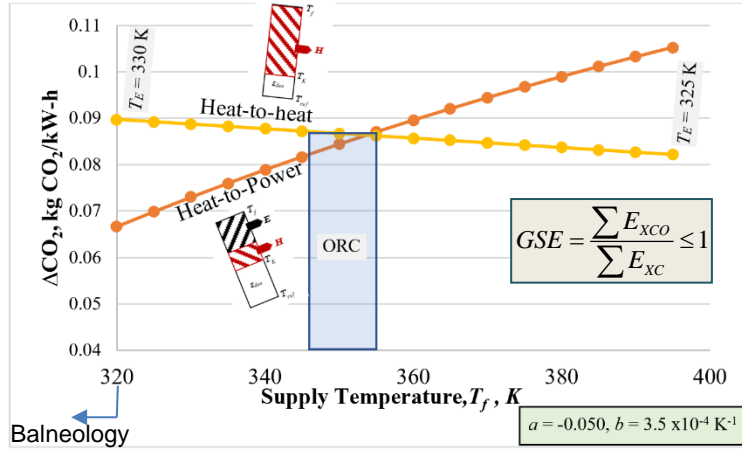
Şekil 8`de, özellikle düşük sıcaklıklarda ORC teknolojisinin ne kadar küçük bir alanda akılcı olabildiği görülmektedir. Bu örnek çözümde üst sınır 355 K, (82°C), alt sınır 345 K (72°C) değerlerindedir. Bu sınır ise bugünün ORC teknolojisini tekno-ekonomik yönlerden oldukça sınırlamaktadır. Bu tür ısıdan

güç üretiminde ekserji tabanlı COP değerinin (COP_{EX}) 1`den fazla olması olağandır. Halbuki güçten ısıya sistemlerde (Isı pompası) COP_{EX} değeri her zaman 1`den azdır. Bu olgu da ORC hanesine ek bir avantaj olarak yazılmalıdır. Sonuç olarak ORC uygulamasında COP_{EX} katsayısını en az 1 olması gerektiğinden T_f değeri için burada da bir kısıt ortaya çıkmaktadır.

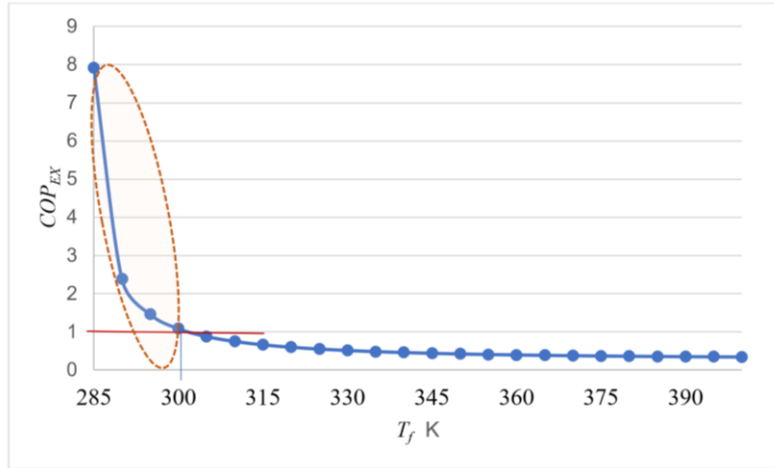
$$COP_{EX} = 1 = \frac{(a + bT_f)0.95\dot{Q}_G}{\eta_{IHE}\dot{Q}_G \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)} \quad \{T_f > T_{ref} > -a/b\} \quad (13)$$

Diğer yandan, T_f değeri bölge enerji sistemi için arttırıldıkça Şekil 2`de gösterilen 4 konumundaki ısı uygulamalarda cihaz büyümeye sistem değiştirmeye pek gerek kalmaz. Bu değerlendirme, GSE tanımı ile yapılmıştır (Kilkis, I. B. 1996). GSE , T_f sıcaklığı optimum değerinden uzaklaştırılmadan, bölgedeki cihazlar büyütülmeden ve sıcaklık piklemesi yapılmadan jeotermal enerjinin beslediği bölge enerji sisteminde oluşabilecek toplam talep kapasitesinin (E_{XCO}) aynı jeotermal enerji koşullarında fakat bu kez cihaz büyütmesi ve sıcaklık piklemesi yapılarak arttırılan talep kapasitesine (E_{XC}) oranıdır. İdeal çözüm GSE ölçütünün 1 olmasıdır. Mutlaka sıcaklık piklemesi gerekiyorsa bu kez ısı pompası performansının da eniyileme algoritmasına dahil edilmesi gerekir. Eşitlik 14, Eşitlik 13 ün gösterdiği COP_{EX} değerinin 1 olması koşulundaki T_f çözümüdür. Bu eşitlikte ORC seçeneğinde güç üretimin ardından atık ısının da değerlendirildiği varsayılmıştır.

$$bT_f^2 + (a - \frac{\eta_{IHE}}{0.95})T_f + (\frac{\eta_{IH}}{0.95})T_{ref} = 0 \quad \{COP_{EX} = 1\} \quad (14)$$



Şekil 8. Isıdan-Isıya ve Isıdan-Güce Seçeneklerinde ΔCO_2 ve T_f Seçenekleri



Şekil 9. COP_{EX} Değerinin T_f ile Değişimi.

Eğer $a = -0.050$, $b = 3.5 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$, $T_{ref} = 283 \text{ K}$ ve $\eta_{HE} = 0.85$ ise bu eşitliğin T_H için çözüm kökleri 303 K ve 2506 K dir. 2506 K gerçekçi bir çözüm değildir. İlk kök ise oldukça düşük bir sıcaklıktır ve bu sıcaklıkta ORC verimi sadece 0.056 olup ekonomik değildir. Bu nedenle her ne kadar ısıdan güce öncelikli bir uygulamada COP_{EX} , $T_{ref} < T_f < 303 \text{ K}$ aralığında birden fazla bile olsa bu aralık eksergo-ekonomik anlamda uygun değildir ve COP_{EX} her zaman bir değerinden az olacaktır (Şekil 9).

2.4. Ekserji Tabanlı Isı Pompası Kısıtları

Jeotermal tesiste mutlaka bir sıcaklık pikleme ısı pompası gerekiyorsa performans ölçütü için HPF tanımı geliştirilmiştir. (Kilkis, B. 2021).

$$HPF = \frac{COP \cdot \varepsilon_{dem}}{0.95} = \left(\frac{d + e|T_f - T_{sup}|}{0.95} \right) (1 - X_{HP}) \quad \{\text{Maksimum, } HPF \geq 1\} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{dem} = \left(1 - \frac{T_{ret}}{T_{sup}} \right) = (1 - X_{HP}) \quad \{0 < X_{HP} < 1\} \quad (16)$$

Belli bir jeotermal kaynak sıcaklığında (T_f) için of minimum X_{HP} , (T_{ret}/T_{sup}) oranı, Eşitlik 17'de $HPF = 1$ koşulunda verilmiş olup ayrıca Eşitlik 18 koşuna tabidir. Örnek sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir.

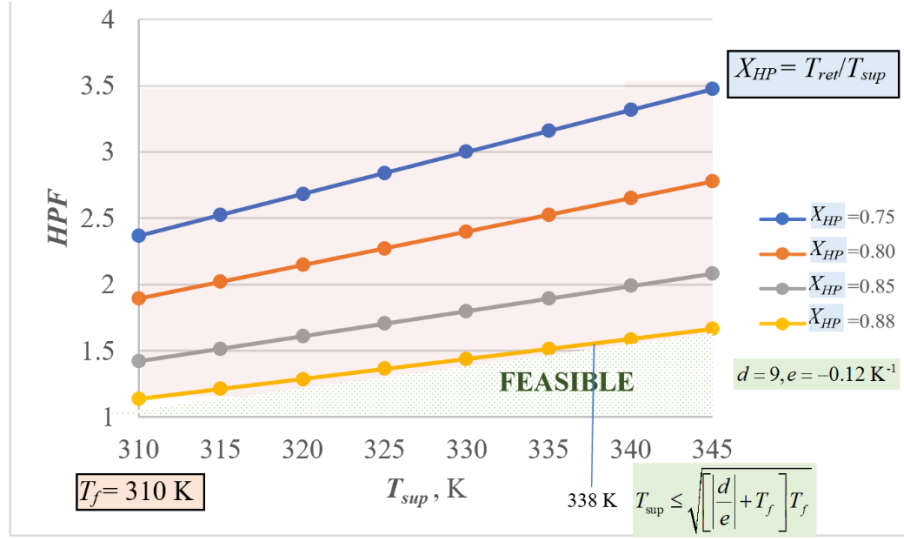
$$X_{HP} \geq 1 - \frac{1 \times 0.95}{\left(\frac{d + e|T_f - T_{sup}|}{0.95} \right)} \quad \{COP = d + e|T_f - T_{sup}|\} \quad (17)$$

$$T_{sup \max} \leq \sqrt{\left[\frac{d}{e} + T_f \right] T_f} \quad \{\text{En az } \Delta CO_2 \text{ için}\} \quad (18)$$

$$\Delta CO_2 = 0.63(0.95 - [1 - X_{HP}]) < 0.63X_{HP} - 0.0315 \quad \{\text{Minimum}\} \quad (19)$$

X_{HP} bir olduğu zaman ekserji yıkımlarının neden olduğu ΔCO_2 en fazladır. Eşitlik 19'a göre ise ideal olarak ΔCO_2 $X_{HP} = 0.05$ koşulunda sıfırdır. Ancak bu değer uygulanabilir değildir. Bunun nedenleri ya ekserji talebi çok düşüktür ya da akışkan debisi çok fazladır. Dolayısı ile X_{HP} için de çok dar bir uygulanabilir alan kalmaktadır ($X_{HP} \geq 0.88$ ve $HPF \leq 1.5$, $T_f = 338 \text{ K}$). Bu koşullarda ısı pompası COP değerinin de en az 8.3 olması gerekir ki bu değer de çok pratik değildir.

$$X_{HP} = 1 - \frac{\Delta T}{T_{sup}} \geq 1 - \frac{10}{T_{sup}} \quad (20)$$



Şekil 10. HPF Değerinin T_{sup} ile Değişimi. $T_f = 310$ K. En fazla T_{sup} 345 K dir

2.5. Ekserji Tabanlı Bölge Enerji Sistem Kısıtları

Bir jeotermal tesisten T_{sup} sıcaklığında çıkan ısı gücü \dot{Q} 'nin [kW] taşınabileceği en uzak mesafe, L_{max} için Eşitlik 21 geliştirilmiştir (Kılış, Şiir ve Kılış, B., 2019). Bu eşitlik bölge soğutma sistemi için de geçerli olmakla birlikte ΔT daha küçük ve eksi değerdedir. Eşitlik 21'de ΔT teriminin karesi alındığı için sorun yoktur. Bu eşitliğin ilk örnekleri Denizli kentinin Kızıldere santral atık ısısından (750 ton/saat, 147°C) yararlanma projesinde kullanılmıştır (Kilkis, I. B., 1996; Kilkis, I. B., 2000).

$$L_{max} \leq w \left(\frac{ID}{V^2} \right) \left(\frac{\Delta T^2}{T_{sup}} \right) \quad [m] \quad \{COP_{EX} = 1\} \quad (21)$$

$$V = \frac{4\dot{Q}}{\pi \rho C_p \Delta T \times ID^2} \quad [ms^{-1}] \quad (22)$$

$$w = \left(\frac{2\rho C_p \eta_p \eta_m}{0.95} \right) \cdot \left(\frac{1}{f} \right) \quad [kJm^{-3}K^{-1}] \quad \{f(Re)\} \quad (23)$$

Isıtma rejiminde en uygun ΔT Eşitlik 24 de verilmiştir (Kilkis, 2020-c): $330 K < T_f < 360 K$.

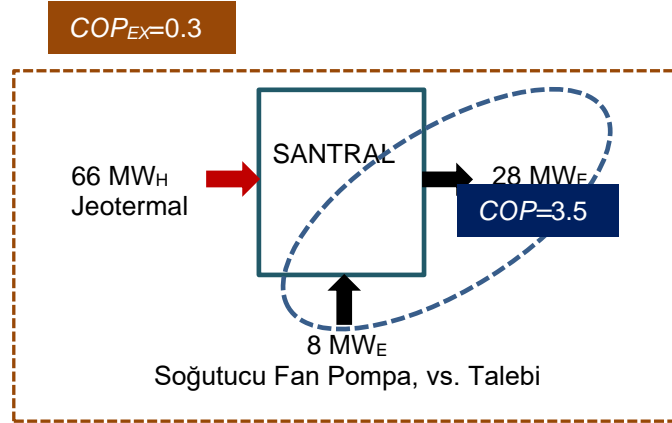
$$\Delta T = 0.273T_{sup} - 79 K \quad (24)$$

Örneğin, borularda çalkantılı akışı sürdürmek üzere V hızının en az $2 m s^{-1}$ ve boru iç çapı ID 'nin de $0.1 m$ olduğu koşulda $1000 kW$ ısının $345 K$ sıcaklıkta taşınabileceği en uzak mesafe $6 km$ 'dir. $ID=0.125 m$ ise bu mesafe $4 km$ kadardır ve boru çapının bu karmaşık ilişkiler arasında arttırılmasının en uzak mesafeye olumlu etkisinin olmayabileceği görülmektedir. Daha büyük boru çaplarına ise gerek kalmamaktadır ve en uzak mesafe, L_{min} değerinin altına inmektedir (Şekil 3). Halbuki, yanıtıcı biçimde sadece 1. Yasa uygulansa idi en uzak mesafe $ID = 0.10 m$ koşulunda $14 km$ olarak bulunacak ve COP değeri de oldukça yüksek (3) gözükcekti. Halbuki bu durumda COP_{EX} değeri sadece 0.03 olup yüklü bir ΔCO_2 sorumluluğu olacaktır.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Son yıllarda tümüden elektrik gücüne geçiş planlamaları başta olmak üzere, Ülkemizde de yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarından elektrik gücü üretimine büyük ve belki de yersiz öncelik verilmektedir. Ancak bu tekil yaklaşımda atık ısının da değerlendirilmesi kaçınılmazdır ve örneğin ORC sistemlerinin kullanılmasında karar vericilerin önüne hiçte azımsanmayacak boyut ve çeşitte ekserji-tabanlı kısıtlar ve koşullar çıkmaktadır. Bu olgular göz ardı edildiği sürece Paris antlaşmasında olduğu gibi CO₂ salımlarını azaltma yükümlülüklerimizi yerine getirmemiz mümkün olmayacaktır. YEKDEM kapsamında ise jeotermal enerjiden elektrik gücü üretimine tek bir kalemde tek bir satın alım fiyatı verilmiştir. Demek oluyor ki çevreye saygı gösteren, atık ısısının en akılcı biçimde L_{min} ve L_{max} sınırları içerisinde kalmak kaydı ile çevresinde değerlendirilmesini gerçekleştiren, sistemi her yönü ile eniyileyen ve sifıra yakın CO₂ salım sorumluluğu olan, kuyusunu bu makalede gösterildiği gibi en akılcı derinlikte açan ve işleten bir jeotermal tesisle çevresini hiç umursamayan, atık ısısını değerlendirmeyip havaya atan bir de bunun için elektrik enerjisi harcayan bir tesisin ürettiği elektriğe aynı birim fiyat uygulanacaktır. Bu çevreye, doğaya ve topluma tam bir haksızlıktır. Halbuki bu tekil fiyatın çevre, enerjinin akılcı değerlendirilmesi, CO₂ salım sorumlulukları, en uygun kuyu derinliğinin hesap edilmiş olup olmadığı, elektrik üretiminde akılcılık ve verim, elektrik gücünün nerede ve nasıl kullandırıldığına göre fiyat puanlama kırılımları olmalıdır. Bu noktada EPIAŞ'ın da gün öncesi fiyatlandırma yönteminin devreye sokularak bu açılardan da revize edilip yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirme kırılımları ile çeşitlendirilmesi ve revize edilmesi gerekmektedir. Şekil 11 de olası bir jeotermal santralin ekserji giriş ve çıkışları özetlenmiştir. Eğer 90°C (363 K), T_f sıcaklığındaki jeotermal akışkanın sağlayacağı 66 MW_H ısı gücü ekserjisi ($T_{ref} = 283$ K) kullanılarak 28 MW_E güç ekserjisi elde ediliyor ise ve fan ve pompaların güç talebi de ayrıca 8 MW_E ise, COP_{EX} değeri sadece $28/(66+8) = 0.38$ eder. Bunun ekserji yıkımları karşılığında CO₂ salım sorumluluğu da saatte 26 ton olur. Bu değere, elektrik güç talebini jeotermal santralden karşılanırsa da veya şebekeden sağlanırsa da fark etmez, şebekedeki doğrudan salım sorumlulukları dahil edilmemiştir.

$$\Delta CO_2 = 0.63 \times \dot{Q} \left(1 - \frac{283 \text{ K}}{363 \text{ K}} \right) (1 - COP_{EX}) = 0.63 \times 66000 \text{ kW} \times (1 - 0.38) = 26 \text{ ton CO}_2/\text{h}$$



Şekil 11. Örnek bir Jeotermal Santralin Ekserji Dengesindeki COP ve COP_{EX} tanımları

Bu tür bir hesap yapılmaksızın sadece COP değerine önem verilse idi, $COP=28/8= 3.5$ (Elektrikten-elektriğe) değerine bakılarak, 1.Yasa uyarınca bu sistem sıfır karbon salımlı ve oldukça verimli bir

sistem olarak kabul edilecekti. Bu olumsuzluğun bir diğer nedeni ise ısı piyasasının hala yasallaşamamasıdır. Ancak bu piyasa açılrsa bile yeterli olmayacaktır. Gene bu makalede gösterildiği gibi, jeotermal enerjinin hangi güç ve ısı oranında değerlendirilmesinin projeye özel olmak üzere uygun bir değeri bulunmaktadır ve bu konu sorgulanmadığı sürece sonuçlar tatminkâr ve çevreci olmayacaktır. Herhangi bir tesis bu oranın ne kadar yakınında veya uzağında bir bunun da sorgulanması ve bu bağlamda ayrı ısı ve elektrik piyasası mevzuatları yerine ortak bir *Berber Isı ve Güç Piyasa Yönetmeliği* (BIG) çıkarılmalıdır. Tüm bu tartışmaların ışığı altında bu makalede yer alan bilgilerin bir an önce uygulamaya sokularak akılcı projelerin geliştirilmesi kaçınılmaz gözükmektedir.

01/07/2021 TARİHİNDEN 31/12/2025 TARİHİNE KADAR İŞLETMEYE GİRECEK YEK BELGELİ ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN GÜNCELLEMeye ESAS YEK DESTEKLEME MEKANİZMASI İLE YERLİ KATKI FİYATLARI VE UYGULAMA SÜRELERİ

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	YEK Destekleme Mekanizması Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)	Yerli Katkı Fiyatı (Türk Lirası kuruş/kWh)	Yerli Katkı Fiyatı Uygulama Süresi (yıl)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	40,00	10	8,00	5
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	32,00	10	8,00	5
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	54,00	10	8,00	5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi	Çöp Gazı / Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	32,00	8,00	5
	Biyometanizasyon	54,00	8,00	5
	Termal Bertaraf (Belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları)	50,00	8,00	5
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	32,00	10	8,00	5

Şekil 12. YEKDEM Jeotermal Üretimi Elektrik Enerjisi Alım Fiyatı (54 Türk Lirası kuruş/kW-h)

4. KAYNAKÇA

- EBC. 2018. EBC ANNEX 64 LowEx Communities-Optimized Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles, Completed in 2018, Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology Kassel, <<https://iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=64>>
- EGEC. 2021. Time to Invest in Clean Geothermal Lithium Made in Europe, Published May 12, 2020. <<https://www.egec.org/time-to-invest-in-clean-geothermal-lithium-made-in-europe/>>
- ETIP-DG. 2016. Accelerating The Development of Deep Geothermal Technology In Europe <<https://www.egec.org/deep-geothermal-etip/>>
- Kentli, K., Kentli, B., and Kilkis, B. 2021. Exergy-Rationality of Cogeneration with Renewable Energy Sources, Polar Technology, 61 pages, Ankara, Turkey.
- 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.
- Kilkis, I. B. 1996. Closed-Loop Versus Open-Loop Geothermal Energy System, a Techno-Economical Assessment, Geothermal Development in the Pacific Rim, Transactions, Vol. 20, pp:95-102, GRC 1996 Annual Meeting, 29 September, 2 October, 1996, Portland, OR.
- Kilkis, I. B. 2000. Rationalization and Optimization of Heating Systems Coupled to Ground Source Heat Pumps, *ASHRAE Transactions*, Vol. 106, Pt. 2, pp: 817-822, 2000, MN-00-13-1.
- Kılış, Şiir. 2011. A Rational Exergy Management Model to Curb CO₂ Emissions in the Exergy Aware Built Environments of the Future, Doctoral Thesis, Division of Building Technology School of Architecture and the Built Environment KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Kılış, Şiir, and Kılış, B. 2019. An Urbanization Algorithm for Districts with Minimized Emissions Based on Urban Planning and Embodied Energy Towards Net-Zero Exergy Targets, *Energy*, 179 (2019) 392-406.
- Olafsdottir, S., and Gardarsson, S. 2013. Impacts of Meteorological Factors on Hydrogen Sulfide Concentration Downwind of Geothermal Power Plants, October 2013, Atmospheric Environment 77, pp:185-192.
- Tanay, S. U. (Ed). 2019 Accelerating the Transition to a 100% Renewable Energy Era, Lecture Notes on Energy, Vol. 74, Springer. <<https://doi.org/10.1007/978-3-030-40738-4>>



W. D'Alessandro, L. Brusca, K. 2009. Hydrogen Sulphide As A Natural Air Contaminant in Volcanic/Geothermal Areas: The Case of Sousaki, Corinthia (Greece), Environ Geol. 57, pp:1723–1728, DOI 10.1007/s00254-008-1453-3.

5. SİMGELER

a, b, c, d	L_{max} ve L_{min} eşitlikleri için katsayılar (Şekil 3 ve 4) Ayrıca, a ve b : Pompa gücü katsayıları (Eşitlik 4)
C_p	Özgül Isı, kJ/kgK
COP	Isı Pompasının Tesir Katsayısı
d, e	Isı Pompası Performans Katsayıları (Eşitlik 9)
E	Jeotermal Enerjiden Üretilen Elektrik Gücü, kW
E_{XCO}	Bölgede Sıcaklık Piklemesi ve Cihaz Büyütmesi Olmadan Jeotermal Ekserji Talebi, kW
E_{XC}	Bölgede Sıcaklık Piklemesi ve Cihaz Büyütmesi Yapılarak Arttırılabilen Jeotermal Ekserji Talebi, kW
f	Boru Pürüzlülük Katsayısı
GSE	Jeotermal Kaynak Etkinliği
HPF	Sıcaklık Pikleyen Isı Pompasının Performans Ölçütü (Eşitlik 15)
H	Jeotermal Kuyu Derinliği, m
ID	Kuyu İç Çapı, m
L	Jeotermal Tesis ile Isının Değerlendirildiği Yer Arasındaki Mesafe, m
m, c	Kuyu Derinliğine Bağlı Sıcaklık Eğrisinin Katsayıları (Eşitlik 2)
P	Pompa (Fan) Gücü, kW
\dot{Q}	Jeotermal Isıl Gücü, kW
T	Sıcaklık, K
t	Zaman Ekseni (Şekil 7), yıl
T_o	Sığ Jeotermal Kuyudaki Sıcaklık, K
V	Akışkan Hızı, m/s
w	Boruda Basınç Kayıp Katsayısı (Eşitlik 23), $\text{kJm}^{-3}\text{K}^{-1}$
X_{HP}	Dönüş ve Gidiş Su Sıcaklık Oranı
<u>Yunan Simgeleri</u>	
α, β, γ	Gömülü CO ₂ Katsayıları (Şekil 7)
η	1. Yasa Verimi
ρ	Akışkan Yoğunluğu, kg/m^3
Δ	Fark
<u>Alt Simgeler</u>	
D	Bölge Enerji Sistemi (District)
E	Elektrik Gücü
EX	Ekserji
f	Santral Çıkışı
H	Isıl Güç
HE	Isı Değiştirici
m	Motor
max	En Fazla
min	En Az
net	Net
opt	Optimum (En iyi) Değer
orc	Organik Rankin Çevrimi
p	Pompa
ref	Referans Çevre
sup	Arz Edilen Isı Sıcaklığı, K
<u>Kısaltmalar</u>	
API	American Petroleum Institute



BIG	Beraber Isı ve Güç Piyasa Yönetmeliği
ESP	Electric Submersible Pump
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETIP-DG	European Technology and Innovation Platform-Deep Geothermal
GR	Gama Işını
LowEx	Düşük Ekserjili (Bina)
NCG	Yoğuşturulamayan Gaz
ORC	Organik Rankin Çevrimi

ÖZGEÇMİŞLER

Nil ÖZSANCAK

1982 yılında Ankara da doğdu. Ankara Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2006-2015 yılları arasında Gürış İnşaat ve Mühendislik A.Ş. bünyesinde yenilenebilir enerji tesisleri ile ilgili jeotermal, rüzgar ve hidroelektrik enerji üretim tesislerinin teknik, finansal ve izinlendirme süreçlerinin koordinasyonunda görev aldı. Bu süre içerisinde Anadolu Üniversitesi İşletme Lisans eğitimini tamamladı. Başkent Üniversitesi Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programında eğitim almış olup jeotermal enerjinin etkin kullanımı üzerine lisansüstü çalışmalarına devam etmektedir. 2016 yılından bu yana Zorlu Holding çatısı altındaki Zorlu Enerji bünyesinde yer alan enerji projelerinde kıdemli yönetici olarak görevini sürdürmektedir. Uzmanlık konuları yenilenir enerji projelerinde lisans ve izinlendirme süreçleri ile proje finansmanı için teknik danışmanlık konuları olup son dönemlerde ağırlıklı olarak yenilenebilir enerji tesislerinin çevresel etkileri ve emisyon azaltım konularında çalışmaktadır. Women in Geothermal (WING) ve Jeoloji Mühendisleri Odası üyesidir.

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 çözümlenmeleri 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.

BORU HATTI PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNE BAĞLI SEVİYE KONTROLÜNÜN DİNAMİĞİ VE KARARLILIĞI

Dynamic Analysis And Stability Assessment Of Liquid Level Control Due To Pipeline Parameters

Erol Uyar
Mücahid Candan

ÖZET

Bu çalışmada, bir su deposunun giriş ve çıkış borularındaki parametreleri olan giriş boru hattı uzunluğuna ve çıkış boru hattı yük değişimlerine bağlı, seviye kontrolü üzerindeki etki ve dinamiği modellenerek incelenmiştir. Depodaki seviyeye göre değişen debi ile beslenen giriş boru hattının uzunluğunun yarattığı ölü zaman etkisi ile çıkış boru hattındaki debi değişimleri, seviye kontrolünün iki temel bozucu faktörünü oluşturmaktadır. Bu faktörlere bağlı olarak farklı algoritmalarla kontrol edilmesi durumunda depo seviyesinin değişimi teorik olarak ele alınmış, sayısal sonuçlar, MATLAB-Simulink ortamında ve CC benzetim programı ile elde edilen eğrilerle gösterilmiştir. Değişen süreç parametrelerinin yanı sıra uygulanan sürekli ve süreksiz kontrol algoritmalarının sistem kararlılığına etkileri irdelenerek en iyi kontrol koşulları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru Hattı, Kontrol, Süreç, Kontrol Parametreleri, Debi, Simulink, Ölü zaman, Kararlılık

ABSTRACT

In this study, the effects and dynamics of level control in the inlet and outlet pipes of a water tank as a function of the length of the inlet pipe and the load changes in the outlet pipe are investigated by modelling. The dead time caused by the length of the inlet pipe, which is fed by the flow rate bound to the tank level, and the flow rate changes in the outlet pipe are two main disturbances of the level control. The tank level variation is treated theoretically depending on these parameters controlled by different algorithms, and the numerical results are demonstrated in MATLAB-Simulink and CC simulation program. By studying the effects of the applied continuous and discontinuous control algorithms as well as varying process parameters on the system stability, the best control conditions are obtained.

Key Words: Pipeline, Control, Process, Control Parameters, Flow Rate, Simulink, Dead Time, Stability.

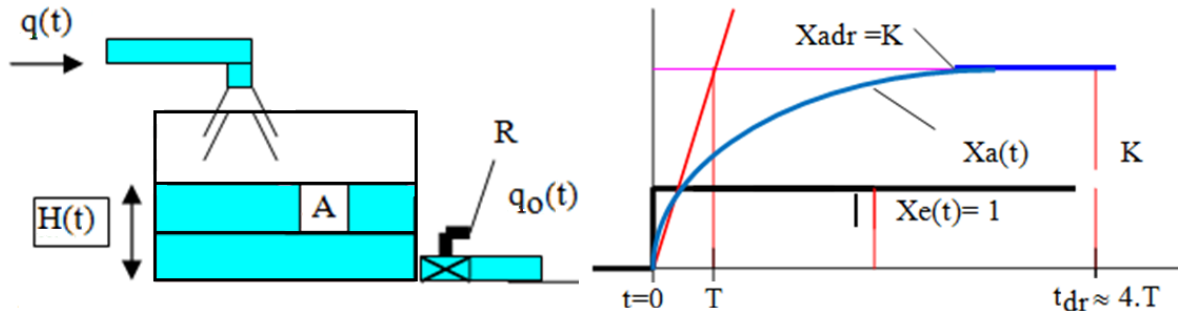
1. GİRİŞ

Su depoları kesintisiz ve güvenli su temini amacı ile değişik büyüklüklerde ve şekillerde kullanılmaktadır. Özellikle şehir şebekelerinde basınç yetersizliği nedeni ile normal zamanlarda yüksek yerleşim yerlerine su teminin mümkün olmadığı durumlarda, bu depolar tedarikte büyük önem arz etmektedir. Genelde su tüketiminin en aza düştüğü saatlerde mevcut yeterli şebeke basıncı ile dolumu sağlanan depoların uygun seviye kontrolü sayesinde en yoğun saatlerde güvenli su temini açısından önemi büyüktür.

Bu depolar aynı zamanda şebekelerde basınç dalgalanmalarının önlenmesinde de rol oynamaktadır. Örneğin; kendisinden daha yüksek seviyedeki bir depoya su basan pompa-boru hattı sisteminde, depo seviye kontrolüne bağlı durma-çalışma durumlarından kaynaklanan basınç dalgalanmaları, gerekli önlemler alınmaması durumunda rezonans oluşumu ile boruların patlamasına yol açmaktadır.

2. MATEMATİK MODEL

Şekil 1'de seviye kontrolüne girmeden önce depo-boru hattı sistemin basit matematik modellenmesi ele alınmıştır. Modelin girdileri depo su giriş debisi (Q_e) ile su çıkış debisi (Q_a), çıktısı ise depo su seviye değişimleri olarak alınmıştır.



Şekil 1. Depo seviye kontrolü şeması ve birim basamak yanıtı

Örnek olarak Şekil 1'de görülen bir $q(t)$ debisiyle dolup, $q_0(t)$ debisiyle boşalan A kesitli bir deponun $H(t)$ seviyesinin debilere bağlı olarak değişimi incelendiğinde, hidrolikteki süreklilik denklemi depo sistemi için (1)'deki gibi yazılabilir.

$$A \cdot \frac{dH(t)}{dt} = q(t) - q_0(t) \quad (1)$$

Laminar bir akış kabul edilmesi halinde depo çıkışındaki vananın hidrolik direnci R (2)'deki gibi olur. (2)'deki q_0 çekilip, (1)'de yerine yazılırsa (3) elde edilir.

$$R = \frac{\Delta P}{q_0} = \frac{(P_0 + \gamma H) - P_0}{q_0} = \frac{\gamma H}{q_0} \quad (2)$$

$$\frac{AR}{\gamma} \frac{dH(t)}{dt} + H(t) = \frac{R}{\gamma} q(t) \quad (3)$$

(3)'te görüldüğü gibi depo-boru hattı hidrolik sistemi birinci mertebeden gecikmeli (BMG) bir dinamik davranışa sahiptir. Burada $T = \frac{AR}{\gamma}$ zaman sabiti, sistemin düzenli rejime geçiş sürecini tanımlayan zaman sabiti; vana direnci katsayısı R , suyun özkütlesi ρ ve A kesiti ile değişmektedir.

R ve ρ değerlerinin sabit olduğu kabul edilirse T sabiti A kesiti ile değişir. Depo kesiti arttıkça zaman sabiti, dolayısıyla da düzenli rejime geçiş süresi, yani deponun aynı seviyeye dolması için geçecek süre BMG sistemlerin genel özelliğinden düzenli rejim süresi $t_{dr} = 4T$ ile değişmektedir.

3. BİRİNCİ MERTEBEDEN GECİKMELİ SİSTEMLERİN DİNAMİĞİ

Zamana bağlı dinamik davranışları (4) diferansiyel denklemiyle tanımlanan sistemlere, BMG sistemler adı verilir.

$$T \frac{dx_a(t)}{dt} + x_a(t) = Kx_e(t) \quad (4)$$

(4) denkleminde görüldüğü gibi, bu sistemler oransal davranışlı sistemlerin birinci mertebeden gecikmeli olarak da tanımlanabilir. Genel olarak enerji depolama özelliği taşıyan elemanlar (Kondansatör, yay, depo, kütle ataleti vb.) içeren sistemler, gecikmeli sistemlerdir. Fiziksel yapıları farklı olmasına rağmen pek çok teknolojik sistem BGM sistem davranışına sahiptir. Bu tür sistemlerin transfer fonksiyonu (4) denkleminde Laplace dönüşümü uygulanarak, (5) ifadesindeki gibi bulunur.

$$G(s) = \frac{X_a(s)}{X_e(s)} = \frac{K}{1+Ts} \quad (5)$$

(5)'te bu sistemlere has iki temel faktör olan **K** sistem kazanç faktörü, **T** sistem zaman sabiti olarak tanımlanır.

BGM bir sisteme **u(t)** ile temsil edilen *Heaviside* birim basamak fonksiyonu girdi olarak uygulanırsa, (5) ifadesine göre girdinin Laplace dönüşümü $L\{x_e(t)\} = X_e(s) = \frac{1}{s}$ yazılarak (6) ifadesi elde edilir.

$$X_a(s) = X_e(s)G(s) = \frac{1}{s} \frac{K}{1+Ts} \quad (6)$$

(6) ifadesine ters Laplace dönüşümü uygulanırsa, zaman yanıtı (7) ifadesindeki gibi elde edilir.

$$x_a(t) = K(1 - e^{-t/T}) \quad (7)$$

(7) ifadesinde elde edilen BGM sistemin birim basamak yanıtı eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

4. KONTROL TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Bir otomatik kontrol devresinde kontrol elemanı (düzenleyici), kontrol edilmesi istenen sistem veya süreçteki fiziksel büyüklüğün (veya büyüklüklerin) istenen şartlarda veya değerlerde tutulması görevini yerine getirir. Genelde sistem parametrelerinin tasarım ve imalatla belirlenmiş değiştirilemeyen sabit parametreler olmasına karşın, değişken parametreleri sayesinde kontrol elemanına belirli dinamik davranışlar kazandırılarak sistemin en iyi kontrolü sağlanabilir. Kontrol elemanının girdisini, referans değerle, ölçülen değer farkı olan hata işareti, çıktısını ise bir kumanda (eyleyici) organını harekete geçiren (süren) kumanda işareti oluşturur. Örneğin, bir depoda seviye kontrol devresinde girdi; uygun veya istenen bir referans seviye ile depoda ölçülen gerçek seviye arasındaki fark olan hata değeri, çıktı ise depoya su yolunu açıp kapatan kontrol vanasının motoruna gönderilen kumanda işaretidir.

Kontrol elemanları veya düzenleyiciler; Sürekli (Doğrusal) ve Süreksiz (Doğrusal olmayan) düzenleyiciler olarak genellenebilir.

4.1 Sürekli Düzenleyiciler

Sürekli düzenleyicide, düzenleyici çıkışı, girdi değişikliklerine göre zamana bağlı sürekli ve çeşitli değerler alabilir. Bunun aksine süreksiz düzenleyicilerin çıktısı, girdiye bağlı ancak belirli değerleri alabilir.

Sürekli düzenleyiciler, dinamik veya zaman davranışları oransal (P), toplamsal (I) veya farksal (I) karakteristikli veya bunların birleşimi olan PI, PD, PID şeklindeki birleşimlerinden oluşan doğrusal kontrol elemanlarıdır. Genelde doğrusal ve analog olarak çalışan sürekli düzenleyicilerin dinamik davranışları transfer fonksiyonları ile tanımlanır.

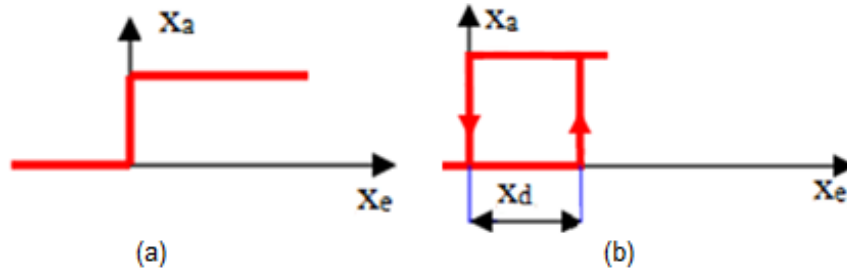
Sürekli düzenleyicilerin avantajları parametre ayar imkanları sayesinde en uygun kontrole imkan tanınması, hata ile orantılı olarak kumanda elemanının sürekli ve bütün ara değerleri alabilecek şekilde

ayarlanabilmesi, en uygun kontrol sayesinde enerji tasarrufu sağlaması ve beslendiği enerji şebekesini ve kumanda elemanlarını ani yüklemelere maruz bırakmamasıdır, böylece emniyetli uzun çalışma sağlatmasıdır. Sürekli düzenleyicilerin dezavantajları, süreksiz düzenleyicilere göre daha karmaşık ve pahalı olmaları, parametre ayarları nedeniyle daha bilgili işletmecilere ihtiyaç duyulması ve daha sık ve dikkatli bakım gereksinimleridir.

4.2. Süreksiz Düzenleyiciler

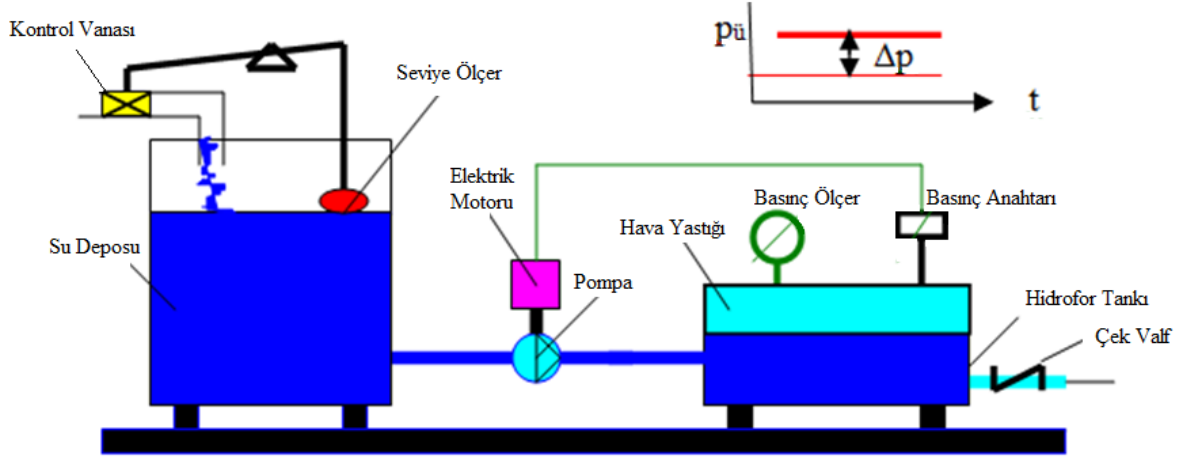
Süreksiz düzenleyicilerde kumanda işareti, sürekli düzenleyicilerin aksine sadece belirli değerleri alabilir. Bunların en yaygın kullanılan tipi olan Aç-Kapa veya iki nokta düzenleyiciler, kumanda birimine yalnızca pozitif veya negatif bir kumanda dürtüsü yollarlar. Örneğin bir vanayı tam açık veya tam kapalı konumlarına getirirler. Bu durumda kontrol büyüklüğü, iki sınır değer arasında sürekli değişir.

Aç-Kapa veya iki nokta kontrol, pratik uygulamalarda ve günlük yaşamda birçok alette kullanılan en basit kontrol türüdür. Tüm geleneksel ve yerel ısıtma-soğutma sistemlerinde (buzdolapları, bulaşık-çamaşır makineleri, fırınlar, ütüler, su ısıtıcıları vs.) kullanılan termostatlar ile klasik basınç kontrollerinde (pompa-hidrofor ve kompresör sistemlerinde) kullanılan basınç anahtarları “aç-kapa” türü kontrol elemanlarıdır. Şekil 2.a’da statik davranışı gösterilmiş olan aç-kapa bir kontrol elemanı yerine genelde belirli bir x_d anahtarlama aralığına (histeresizli) (Şekil 2.b) sahip olan aç-kapa düzenleyiciler kullanılır. Bu sayede kontrol elemanının çok sık devreye girip çıkmasından kaynaklanan sürücü kumanda elemanının (örneğin: motorun, kontaktörün, selenoidin) ömrünün kısılması ve arıza ihtimali azaltılmış olur.



Şekil 2.a İki noktalı düzenleyici elemanın statik karakteristiği ve b. Anahtarlama aralıklı karakteristik

Anahtarlama aralıklı kontrole örnek olarak Şekil 3’te görülen bir hidrofor deposunun basınç kontrolü verilebilir. Burada seviye kontrollü bir su deposunun bir pompa ile çekilen suyunun, hidrofor tankının üzerinde oluşan ve kontrol edilen basınçlı hava yastığı ile bir binanın üst katlarına basılması öngörülmektedir. Hava yastığının basıncı anahtarlama aralıklı bir basınç anahtarı ile kontrol edilmektedir. Basınç anahtarının üst basınç seviyesi p_u ’dür. Belirli bir basınç farkı Δp kadar farkla alt seviye basıncı p_a ayarlanmaktadır. Basınç $p_a = p_u - \Delta p$ alt değerine ulaştığında, basınç anahtarı elektrik motoruna bağlı pompayı çalıştırarak, hidrofor tankına su basılmasını ve hava yastığının sıkıştırılarak basıncının yükselmesini sağlamaktadır. Basınç p_u değerine ulaştığında ise basınç anahtarı pompayı durdurmaktadır. Bu durum basınç p_a değerine düşüncüye dek devam etmektedir.



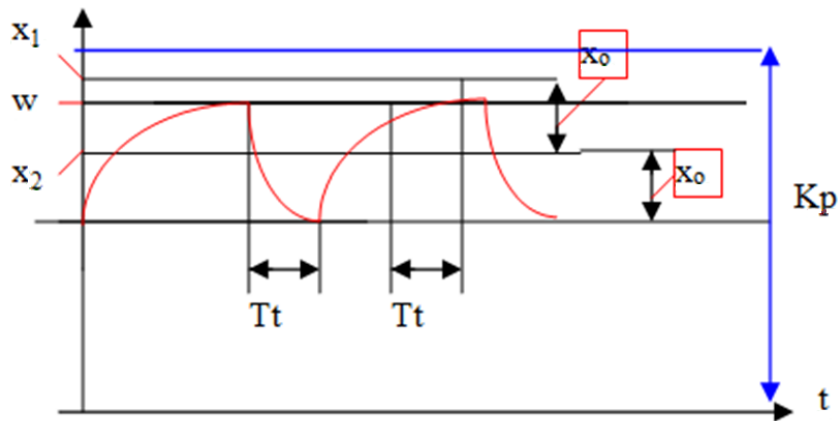
Şekil 3. Hidrofor basınç kontrol sistemi

Sürekli düzenleyicilerin avantajları basit yapıları nedeniyle ucuz olmaları, kullanım kolaylığı ve daha az bakım gereksinimidir. Sürekli düzenleyicilerin dezavantajları ise hatanın sürekli değişimine karşılık, kumanda elemanına ancak belirli konum alırdabilmeleri yarı-açık yani ara değerleri alırdamamaları, kontrol hassasiyetinin kötülüğü, hataya bağlı sürücü elemanın ancak belirli konumları ayarlayabilmesi, enerji akışındaki darbeleri değişimleri nedeniyle kaynak şebekelerinin olumsuz yüklenmesi, kumanda elemanlarının aşırı ve hızlı yıpranması ve en uygun ayar imkanı olmadığından daha büyük enerji kayıplarına yol açmasıdır.

5. SEVİYE KONTROL MODELİ

5.1 Birinci Mertebeden Gecikmeli (Ölü Zamanlı) Bir Sistemin Anahtarlama Aralıklı Bir Aç-Kapa Düzenleyiciyle Kontrolü

Anahtarlama aralığı x_d olan anahtarlama aralıklı bir düzenleyiciyle, ölü zamanlı ve BMG bir sistemin kontrolü durumunda, kumanda elemanı (örneğin kontrol vanasının bobini) referans seviyesinin belirli bir miktar üstüne çıktığında veya altına indiğinde kapalı veya açık duruma geçer. Ancak Şekil 2.b'de x_d ile belirtilen bu tolerans sınırlarından itibaren T_t ölü zamanı süresince seviye değişimi devam eder (Şekil 4).



Şekil 4. Titreşim genliği ve anahtarlama frekansı elde etme

Genellikle ölü zamansız ve gecikmesiz (veya çok küçük gecikmeli) sistemlerde, çıkışın referans değerine her ulaşılmasında, vanayı sık sık devreye sokup çıkarmasının önlenmesi ve anahtarlanan elemanın (örneğin vana bobini veya kontaktörün) kontaklarının erken aşınmasını önlenmesini

sağlamak için anahtarlama aralıklı düzenleyiciler kullanılır. Kalıcı hatanın tam olarak yok edilmesinin mümkün olmadığı ikili kontrolün en büyük dezavantajlarından birisi de, regülatörün devreyi her kapatışında (örneğin vananın her devreye girişi sırasında) sistemin tüm enerjisinin darbeler şeklinde şebekede yüklenmelere neden olmasıdır.

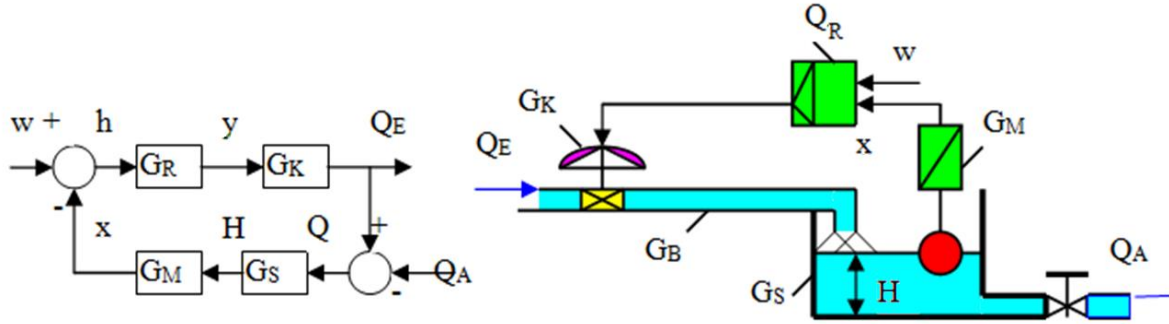
Anahtarlama aralığı x_d değerinin küçültülmesi ile w referansı etrafındaki salınım aralığı da küçültülebilir. Fakat bu durumda sistemin anahtarlama frekansı f_T yani devreye girip-çıkma sıklığı artar ve anahtar kontaklarının ömrü kısalır. T_p arka arkaya gelen iki anahtarlamanın anahtarlama periyodu ise frekansı $f_p=1/T_p$ olur.

Referans değerinin değişmesi anahtarlama frekansını ve genliklerini aynı anahtarlama düzenleyicide olduğu gibi etkiler. Referansın düşürülmesi ile anahtarlama frekansının azaldığı, yükseltilmesi ile ise arttığı görülür. Örneğin, referansın tam orta ayarında ($0.5w$) 1 olan anahtar kontaklarının KAPALI/AÇIK oranının da küçüldüğü gözlenmektedir. Bu durum aynı hacimi daha düşük seviyede tutmak için, sabit debiyle ve daha uzun aralıklarla ancak daha kısa doldurma süreleri ile devreye girmesinden kaynaklanmaktadır. Referans ayarının %50'nin daha üstüne çıkması halinde, anahtarlama frekansının $0.5w$ ayarına göre azalığı, fakat bu durumda KAPALI/AÇIK oranının 1'den büyük değerler aldığı gözlenir.

Bu incelemeler genel olarak iki konumlu kontrolde T_s/T_t oranının küçüldüğü durumda kontrolün zorlaştığını, büyük ölü zamanlar ile küçük sistem zaman sabitlerinin, salınım aralığı ile kalıcı hatayı büyüttüğünü göstermektedir.

5.2. Sürekli Kontrol

Şekil 5'da sürekli düzenleyicilerin özellikleri ve dinamik davranışlarına örnek olarak oransal kontrollü bir devre ele alınarak incelenmiştir. Blok diyagramı ve prensip şemasına ait sistemin transfer fonksiyonları (8,9,10 ve 11) ifadelerinde gösterilmiştir.



Şekil 5. Sürekli seviye kontrol devresi

Düzenleyicinin transfer fonksiyonu (8), kontrol vanasının transfer fonksiyonu (9), deponun transfer fonksiyonu (10) ve seviye ölçerin transfer fonksiyonu (11) ile gösterilmiştir.

$$G_R(s) = \frac{y(s)}{h(s)} \quad (8)$$

$$G_K(s) = \frac{Q_E(s)}{y(s)} = K_K \quad (9)$$

$$G_S(s) = \frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{K_s}{1+T_s s} \quad (10)$$

$$G_M(s) = \frac{x(s)}{H(s)} = K_M \quad (11)$$

Boru hattının ölü zaman etkisi formüllerde 0 alınmıştır. Bu devrenin Q_A bozucu girdisinin birim basamak şeklinde değişimlerine karşılık, değişik tip düzenleyicilerle kontrolü halinde, devre hatasının zamana bağlı geçici durum davranışı, teorik olarak ele alınarak sonuçlar MATLAB ortamında simülasyonla gösterilmiştir.

Önce referans seviyenin sabit tutulduğu ($w=0$) devrenin h hatasının Q_A 'ya bağlı değişimini veren transfer fonksiyonu (12)'deki gibi olur.

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q_A(s)} = \frac{G_M G_S}{1 + G_M G_S G_R G_R} \quad (12)$$

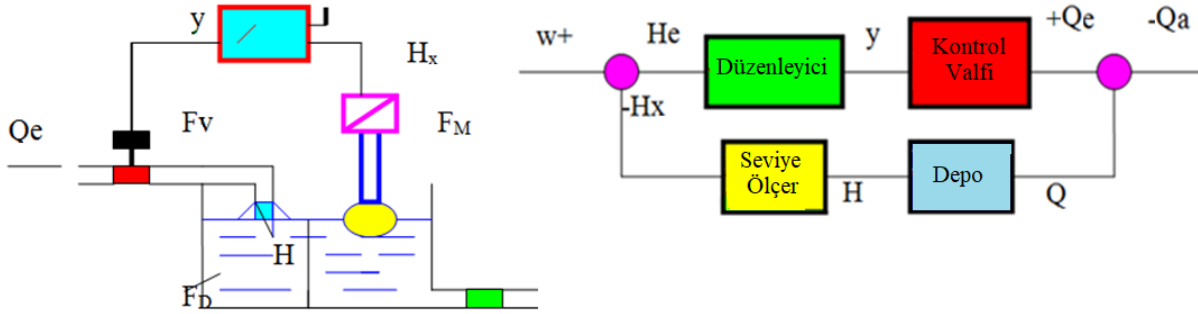
P kontrollü durumda transfer fonksiyonunda $Q_A=1/s$ konulup, $k=K_M K_S K_K$ yerine yazılırsa ve $a = \frac{1+kK}{T}$ olarak kısaltıldığında hata fonksiyonu (13)'deki gibi elde edilir. Zaman sabiti $T_p=1/a$ olmak üzere ters Laplace dönüşümü alınırsa (14) ifadesi elde edilir.

$$H(s) = \frac{a}{s(s+a)} \frac{K_M K_S}{1+kK} \quad (13)$$

$$h(t) = \frac{K_M K_S}{1+kK} (1 - e^{-at}) \quad (14)$$

6. KARARLILIK KAVRAMI

Otomatik kontrol devrelerinde ve sistemlerde kararlılık çok önemli bir kavramdır. Belirli bir fiziksel büyüklüğü kontrol etmek için oluşturulan devrenin, özellikle bozucu girdi değişimlerine karşılık her zaman öngörülen bir performansa göre (belirli bir sönümle, belirli bir süre içinde, belirli bir tepe değeri aşmadan belirli bir düzenli rejim hatası ile... gibi) referansla belirlenen bir denge konumuna ulaşması gerekir. Her dış girdi zamana bağlı dinamik bir olayı başlatıp genlik değişimlerine yol açtığından kararlı bir sistemin zamanla kendi içinde bu değişimleri sönümleyerek bir denge konumuna ulaşması beklenir.



Şekil 6. Seviye kontrol devresi ve blok diyagramı

Örnek olarak Şekil 6'de görülen seviye kontrol devresinde H depo seviyesi, giren Q_e ve çekilen Q_a debilerine bağlı olarak değişmektedir. Burada amaç; özellikle bozucu etki yaratan Q_a debisine göre referans seviye w değerini sabit tutmaktır. Bunun içinde belirli bir Q_{a0} tüketiminde referans seviyeyi tutmak için giren debi Q_{e0} ise; Q_a 'da meydana gelecek bir azalma durumunda denetleyicinin de vanayı aynı oranda kısması ve referans seviyeyi istenen bir performansla tekrar dengeye getirmesi kararlı bir devrenin gereğidir.

Q_a debisinin azalması halinde vana kısalmazsa veya tam tersi artması durumunda girişi açamazsa depo taşar veya boşalır. Bu durumda referans hiçbir şekilde tutulmadığı gibi sistem kararsız hale gelmiş olur. Şekil 6'daki devrede değişik nedenlerle devre kazancının artması (yanlış düzenleyici kazancı gibi), sistemdeki gecikmeli elemanların katacağı negatif faz veya ölü zaman etkileri (örneğin su girişi

debisini kontrol eden valf ile depo arasındaki aşırı uzun boru hattı gibi) devrenin kararlılığını bozan başlıca unsurlardır. Bu konular aşağıda detaylı olarak ele alınarak, teorik olarak incelenmiştir.

Girdisi X_e çıktısı da X_a değişkenleri olan ve bunlar arasındaki dinamik ilişki (15) diferansiyel denklemiyle tanımlanan bir kontrol devresi; girdisinin basamak veya dürtü şeklindeki değişimlerine karşılık çıktısının belirli bir geçici durum davranışından sonra düzenli rejimde değişmeyen kalıcı bir denge durumuna ulaşması halinde kararlıdır denir. Diğer bir deyişle; serbest harekete zorlanan dinamik bir sistem zamanla bir denge konumuna ulaşabilir ise bu sistem kararlıdır.

$$A_n X_a^{(n)}(t) + \dots + A_2 X_a''(t) + A_1 X_a'(t) + A_0 X_a(t) = B_m X_e^{(m)}(t) + \dots + B_2 X_e''(t) + B_1 X_e'(t) + B_0 X_e(t) \quad (14)$$

Kararlılık tanımına göre (14)'teki gibi bir diferansiyel denklemle tanımlanan doğrusal bir sistemin serbest hareketini tanımlayan homojen çözümü sönmülenen bir fonksiyon şeklinde ise sistem kararlıdır. Bu durum ise ancak diferansiyel denkleminin homojen çözümünü belirleyen karakteristik polinomunun tüm köklerinin gerçekte kısımlarının negatif olması ile mümkündür. Tüm bu açıklamalardan sonra kararlılığın tamamen sistemin yapısına bağlı olduğu ve girdi ile çıktılardan, bunların değişim şekillerinden bağımsız olduğu anlaşılabilir. Bu durum sistemin birim dürtü yanıtına bakarak da görülebilir. Durgun durumda olan sistemin *Laplace* dönüşümü alınıp, transfer fonksiyonu yazılırsa (15) ifadesi elde edilir. Ters *Laplace* dönüşümü ile zaman yanıtı (16) ifadesindeki gibi bulunur .

$$G(s) = \frac{x_a(s)}{x_e(s)} = \frac{A_n s^n + A_{n-1} s^{n-1} + A_2 s^2 + A_1 s + A_0}{B_m s^m + B_{m-1} s^{m-1} + B_1 s + B_0} \quad (15)$$

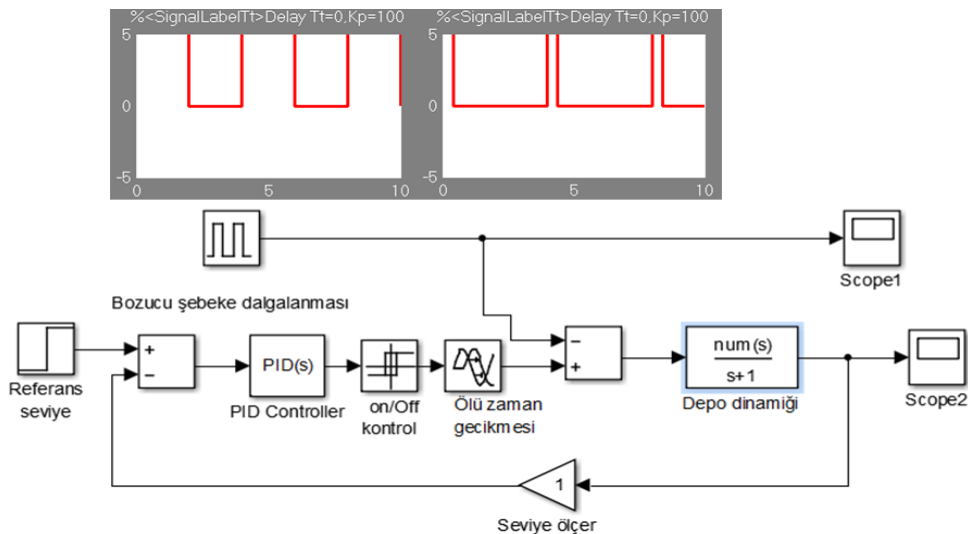
$$x_a(t) = A_1 e^{-s_1 t} + A_2 e^{-s_2 t} + \dots + A_n e^{-s_n t} = \sum_{i=1}^n A_i e^{-s_i t} \quad (15)$$

(15)teki ifadede karakteristik polinomun köklerine eşdeğer olan üstel terimlerin negatif olması durumunda sönmülenen kararlı bir durum elde edilir.

7. MATLAB SİMÜLASYONU

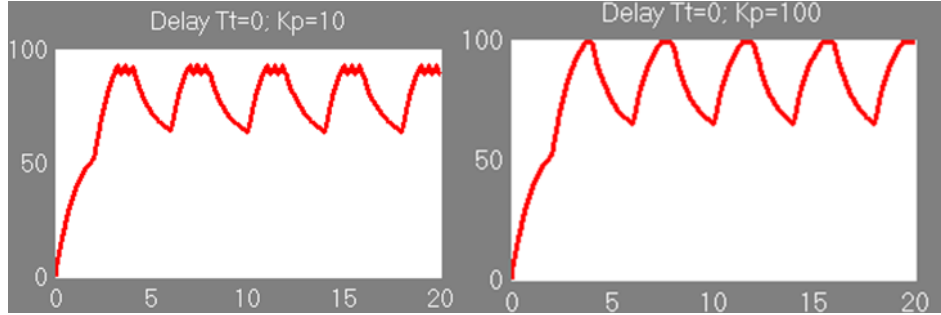
7.1. Doğrusal Olmayan Kontrol Uygulaması

Şekil 7'de önce oransal kazanç ile desteklenen anahtarlama aralıklı aç/kapa kontrol uygulanan seviye kontrolünün simülasyon blok diyagramı görülmektedir. Burada şebekede oluşan ve frekansı ile genliği ve etki süresi değişen bozucu girdi etkisi yaratan dalgalanmalar uygun sinyal kaynağı ile simüle edilmiştir.

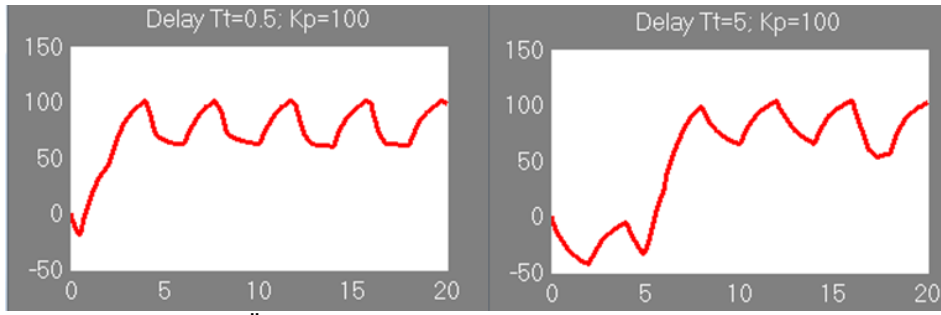


Şekil 7. Simulink şeması ve girdiler

Diğer bozucu girdi etkisi giriş boru hattının uzunluğu ve suyun akış hızına bağlı değişen gecikme elemanı ile, depo ise BMG bir sistem transfer fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Sistem özellikle ölü zaman ile şebeke dalgalanmalarının genlik ve frekansına bağlı kararlılığı incelenmiş ve sonuçlar Şekil 8 ve 10'daki simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir. Düşük kazançta ($K_p=20$) bozulmalar gösteren geçici durum davranışının artan kazançla ($K_p=100$) düzeldiği; aynı kazançta ölü zamanın artması ile bozulduğu gözlenmektedir.



Şekil 8. Kazançla geçici durum davranışının değişimi

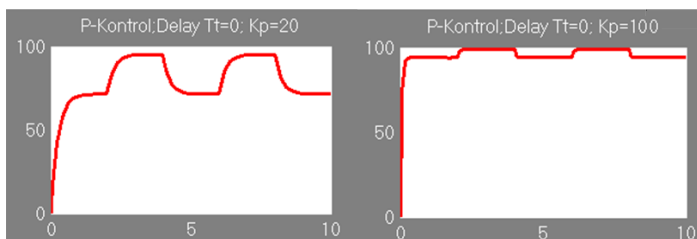
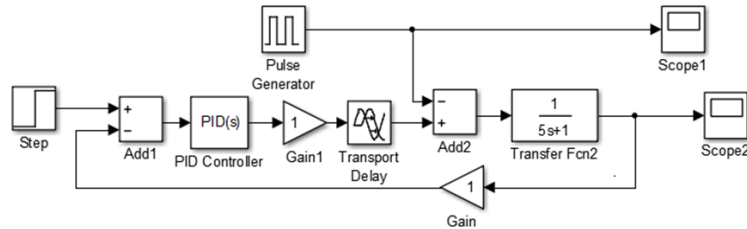


Şekil 9. Ölü zamanla geçici durum davranışının değişimi

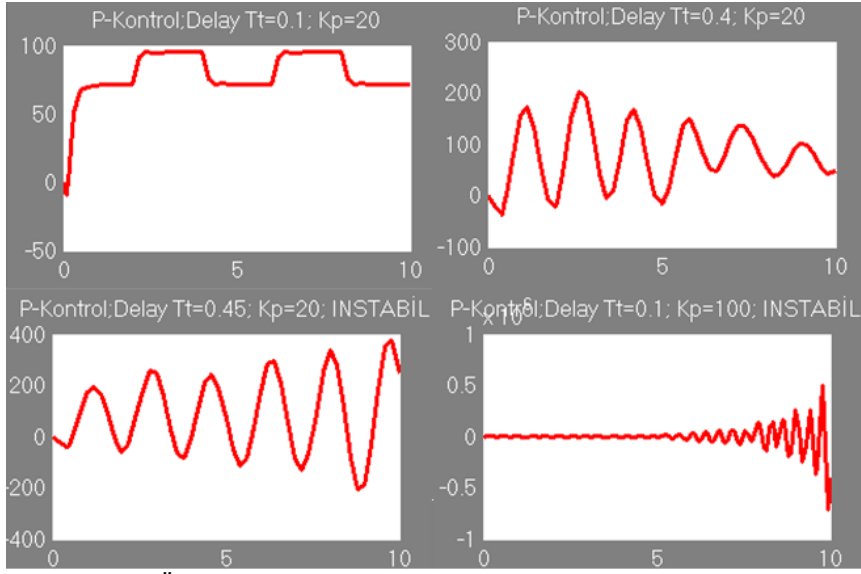
Doğrusal olmayan kontrol elemanının üst ve alt seviye sınırları 100 ve 80 olarak seçilmiştir. Bu değerlerin hafifçe alt ve üstüne çıkılması borularda su dolmu ve kesilmesindeki gecikmeden kaynaklanmaktadır.

7.2. Sürekli Kontrol Uygulaması

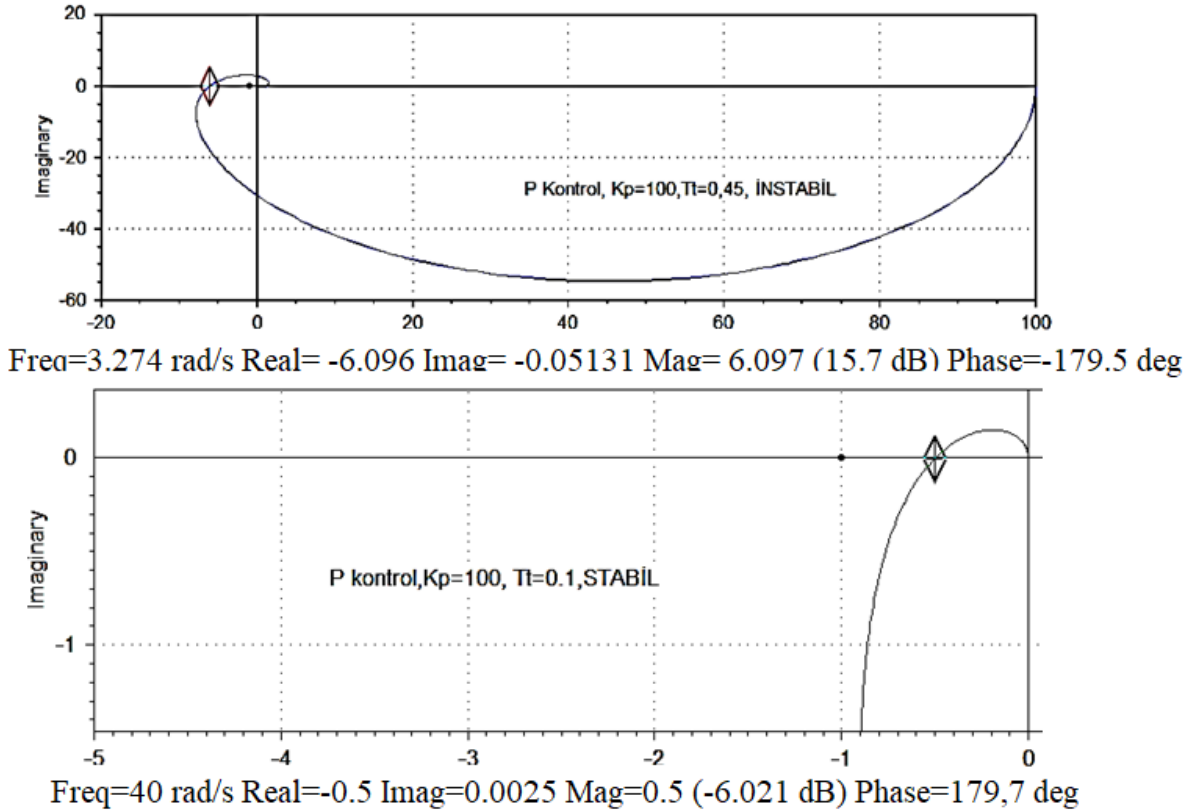
Şekil 10'de blok diyagramı görülen simülasyon devresine ait kazanç ve ölü zamana bağlı geçici durum eğrileri verilmiştir. Şekil 11 ve Şekil 12'te artan kazançla borulardaki basınç dalgalanmalarının azaldığı, artan ölü zamanla seviye dalgalanmalarının giderek arttığı ve belirli bir değerden sonra ($T_t=0.45$) kararsızlık yani rezonans oluştuğu, depo seviyesinin zamanla taşma konumuna yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 10. Blok diyagramı ve kazançla geçici durum değişimi



Şekil 11. Ölü zamanla geçici durum değişimi (Rezonans oluşumu)

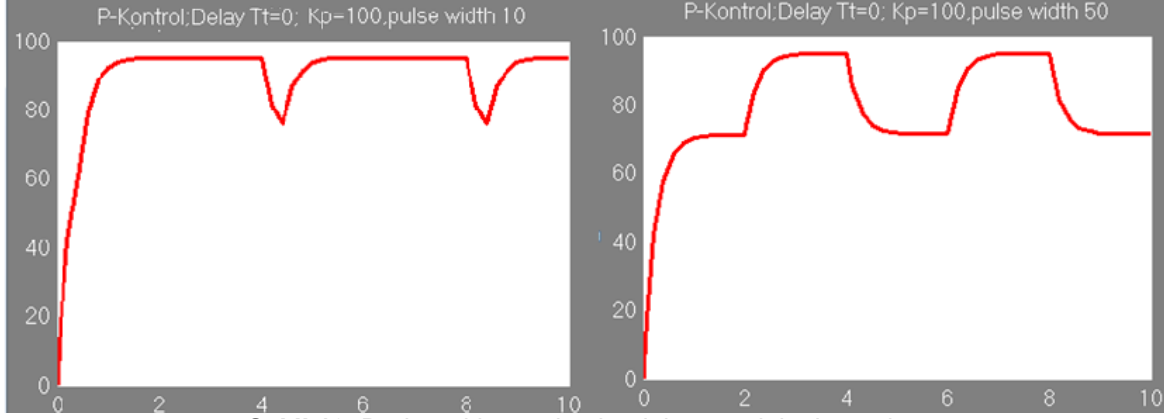


Şekil 12. Ölü zamana bağlı oransal kontrol Nyquist eğrileri (kararsız ve kararlı)

8. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu çalışmada oransal ve doğrusal olmayan elemanlarla seviye kontrolü uygulanan bir depo-boru hattı hidrolik sisteminde ölü zaman, kazanç ve şebeke basınç dalgalanmalarına bağlı dinamik değişimleri, zaman ve frekans davranışı olarak MATLAB ve CC simülasyon ortamında incelenmiş sonuçlar

eğrilerle gösterilmiştir. Teorik bilgilerin simülasyonla sayısal olarak değerlendirilmesi sonucu kontrol türlerinin uygulamaya yönelik karşılaştırılması yapılmıştır. Darbe etki sürecine bağlı basınç dalgalanmaları özel bir sinyal kaynağı ile simüle edilerek (Şekil 13) kontrol dinamiğine etkisi incelenmiştir.



Şekil 13. Darbe etki sürecine bağlı basınç dalgalanmaları

KAYNAKLAR

- [1] UYAR E., "Sistem Dinamiği ve Otomatik Kontrol", DEÜ Ders Kitabı . Yayın No:118, 1986.
- [2] UYAR. E ., "Vanalar,Flanşlar ve Armatürler", Anagold Eğitimi. 2018 İliç - Erzincan.
- [3] RTK, REGELTECHNIK , "Absperrventile und Regelventile", Produkte .Kornwestheim-Deutschland
- [4] ASCO, "Einführung in die Ventiltechnik. Vo20.
- [5] DIN EN 60534-8-3:2011-10,"Stellventile für die Prozessregelung "
- [6] UYAR.E, MUTLU. L, CANDAN M., "Bir Kontrol Vanasının Dinamik Modellemesi ve Simulasyonu." Teskon 2018
- [7] R.Dorf-Bishop.Modern Control Systems.5.th edition.
- [8] Ogata K.Modern control engineering. 3.th edition
- [9] Raven F. Automatic control engineering.2.th edition
- [10] Cuo B. Automatic control systems.J.Wiley Book Inc.

ÖZGEÇMİŞ

Erol UYAR

1945 yılı İzmir doğumludur. 1970 yılında Stuttgart Üniversitesi Makine Mühendisliğinden mezun olmuştur. 1976 yılında Ege Üniversitesi Makine Mühendislik Bilimleri Fakültesi'nden doktor mühendis ünvanını almıştır. 1981 yılında Ege Üniversitesi Makine Fakültesi'nden doçentlik, 1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi – Müh. Mim. Fakültesi'nden profesörlük ünvanını almıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği – Makine Teorisi ve Dinamiği Ana Bilim Dalında Otomatik Kontrol, Sistem Dinamiği, Elektriksel Otomasyon ve Mekatronik derslerini vermiştir, emekliye ayrılmıştır. Halen Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mekatronik Laboratuvarında öğrencileriyle çalışmalarına devam etmektedir.

Mücahid CANDAN

1989 yılı Bursa doğumludur. 2007 yılında UÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir, çift anadal yaparak devam ettiği Makine Mühendisliği bölümünü terk etmiştir.



2014 yılında Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünün Elektronik Anabilim dalından Yüksek Mühendis olarak mezun olmuştur, 2015 yılında aynı üniversitenin aynı bölüm ve anabilim dalında Doktora başlamış, 2019'da bırakmıştır. Ardından aynı üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsünde doktora başlamıştır, tez aşamasındadır. 2011-2013 yılları arasında aynı üniversitede gönüllü olarak Laboratuvar Araştırmacısı olarak görev yapmıştır. Aynı zamanda FESTO İzmir şubesinde 6 ay boyunca kısmi zamanlı olarak sektör araştırmacısı olarak çalışmıştır. 2013-2015 yılları arasında TÜBİTAK projesinde araştırmacı bursiyer olarak görev almıştır. 2015'te DEU Park'ta Innolife firmasında da 7 ay boyunca araştırma-geliştirme yöneticisi olarak görev yapmıştır. 2016 yılından beri Ege Üniversitesi Ege MYO Mekatronik Programında Öğretim Görevlisi Uzman olarak görev yapmaktadır. Akıllı sistemler, görüntü işleme, yenilenebilir enerji teknolojileri, mekanik ve kontrol sistemleri alanında çalışmaktadır. Çalışmalarına Ege MYO Mekatronik Laboratuvarında devam etmektedir. Önümüzdeki yıl doktora çalışmaları için Fraunhofer ISE / Almanya'da bulunacaktır.

