



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'nun 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.	Tarakcıoğlu 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. Kalaycıoğlu 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. Kalaycıoğlu 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

# GIDA ÜRETİM TESİSLERİ VE CİHAZLARININ HİJYENİK TASARIMI İLE YAPIMINDA GÖREV ALACAK MİMARLAR, MÜHENDİSLER VE TASARIMCILARIN ÇALIŞTIĞI FİRMALARIN GFSI JI/JII'YE GÖRE BELGELENDİRİLMESİ

*GFSI JI/JII Certification of the Companies Working by Architects, Engineers and Designers to be Participated in the Hygienic Design and Manufacturing of Food Production Facilities and Equipment*

Y. Onur Devres

## ÖZET

Paketlenmiş bir gıdanın ticari olarak değer ifade edilebilmesi için gıda güvenliği ilkelerine uygun olarak üretilmesi ve tüm üretim adımlarının bu şekilde yapıldığının denetlemeler ile ispat edilmesi gerekmektedir. Bunun için GFSI ("Global Food Safety Initiative", Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi) Kıyaslama Gereklilikleri kapsamında, GFSI onaylı kurumlar tarafından yürütülen gıda güvenliği standartları belgelendirme işlemleri devreye girmektedir. Söz konusu belgeler bir anlamda gıda güvenliği pasaportu olup, böylelikle paketlenmiş gıdalar üretim noktaları ile ulusal ve uluslararası perakende zincirleri arasında serbest dolaşım hakkına sahip olurlar.

Gıda tesisleri bina, cihazlar/hatlar ve bunlarla ilgili tesisatlardan oluşmaktadır. Tesis kurulumu sırasında dışarıdan alınan destek ile mimar, inşaat ve tesisat mühendisleri ile çözüm üretilmektedir. Cihaz/hat tasarımları ise makine üretici firmaların tasarım ve imalat ekipleri tarafından, müşteri istekleri de göreceli olarak gözetilerek yapılmaktadır. Tüm çözümler, ilgili kuruluşların mevcut bilgi birikimleri temel alınarak üretilmektedir. Bu sırada ilk amaç fonksiyonel özelliklerin sağlanması olmaktadır.

Tesis devreye alındıktan sonra yapılan GFSI onaylı kurumların denetimleri sırasında ortaya çıkan tasarım ve uygulama kaynaklı gıda güvenliği standartları ile ilgili problemlerin telafisi mümkün değil ya da çok masraflıdır. Tesis kurulumu ve cihaz satın alımı sırasında ortaya çıkan bu tip problemlerin azaltılması; gıda güvenliği tedbirlerinin iyileştirilmesi için, GFSI 2020 Kıyaslama Gereklilikleri kapsamında JI ve JII Hijyenik Tasarım İlkeleri ile ilgili başlıklar tanımlanmıştır.

Çalışma kapsamında hijyenik tasarım konusunda tanımlanan standartlar, GFSI kontrolünde yürütülen çalışmalar ve önümüzdeki yıllarda talep edilebilecek GFSI JI ve JII belgelendirmeleri hakkında bilgi verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Gıda, Hijyen, Gıda üretim tesisi, Gıda işleme cihazı, GFSI, JI, JII, EHEDG, Hijyenik tasarım, Hijyenik mühendislik, Temizlenebilirlik.

## ABSTRACT

In order for packaged food to be of commercial value, it must be produced in accordance with food safety principles, and proven by auditing that all production steps are handled in this way. For this purpose, the food safety standards certification schemes carried GFSI-approved institutions within the scope of GFSI (Global Food Safety Initiative) Benchmarking Requirements come into play. These documents are, in a sense, food safety passports, so that packaged foods have the right of free movement between production points and national and international retail chains.

A food facility consists of a building, devices/lines and their associated installations. With the support received from experts during the installation of the facility, solutions are produced with architects, construction and installation engineers. Device/line designs, on the other hand, are made by the design and manufacturing teams of machine manufacturers, with relative consideration of customer requests. All solutions are produced based on the existing knowledge of the relevant organizations. Meanwhile, the first aim is to provide functional properties.

It is not possible or very costly to compensate for the problems related to design and application-related food safety standards that emerged during the inspections of GFSI-approved institutions after the facility was commissioned. Reducing such problems during plant installation and device purchase; in order to improve food safety measures, titles related to JI and JII Hygienic Design Principles have been defined within the scope of GFSI 2020 Benchmarking Requirements.

Within the scope of the study, information will be given about the standards defined on hygienic design and the studies to be carried out under the control of GFSI and the GFSI JI and JII certifications that may be requested in the coming years.

**Key Words:** Food, Hygiene, Food production facility, Food processing equipment, GFSI, JI, JII, EHEDG, Hygienic design, Hygienic engineering, Cleanability.

## 1. GİRİŞ

Üretilen gıdaların tüketicilerin sağlıklarında kısa ve uzun vadede risk oluşturmaması; söz konusu faaliyetlerin ticari olarak bir değer sağlayabilmesi için tüm tedarik, işleme, paketlenme, sevkiyat ve satış aşamalarında gıda güvenliği ilkelerine uyulmalıdır. Ayrıca söz konusu tüm değer zinciri boyunca sürekli olarak uygun bir şekilde gerçekleştirildiği kayıt altına alınmalı (izlenebilmeli) ve belirli aralıklarla yapılan denetlemeler ile uygunluğu teyit edilmelidir. Bunun için gıda güvenliği konusunda bir anlamda dünya çapında “kanun koyucu” durumunda olan GFSI (“Global Food Safety Initiative”, Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi) [1] Kıyaslama Gereklilikleri (“Benchmarking Requirements”) [2] kapsamında, GFSI onaylı kurumlar (BRCS, FSSC22000, IFS, SQF vb.) tarafından yürütülen gıda güvenliği standartları belgelendirme işlemleri devreye girmektedir. Söz konusu uygunluk belgeleri ticari faaliyetler sırasında referans olarak müşterilere sunulmaktadır.

Zaman içinde ortaya çıkan ihtiyaçlar sonucunda GFSI her iki-üç yılda bir Kıyaslama Gerekliliklerini güncelleştirmektedir. Bunu takip eden iki-üç yıl içinde de onaylı kurumların denetleme koşulları, buna uygun hale getirilmekte ve GFSI’ın onayına sunulmaktadır. 2020 yılında yapılan son düzenlemeler (GFSI 2020) kapsamında [3], önümüzdeki yıllarda gıda güvenliği ile ilgili problemlerin azaltılabilmesi için JI ve JII Hijyenik Tasarım başlıkları ilk defa gündeme alınmıştır [4]. Böylelikle bir gıda tesisinin inşa edilmesi ve burada kullanılacak cihaz ve hatların, GFSI 2020 JI Hijyenik Tasarım İlkeleri kapsamında yetkin firmalarca üretildiği belgelendirilecektir. Bu faaliyetler sırasında çok disiplinli bir yapıda görev alacak mimarlar, mühendisler ve tasarımcılar hijyenik tasarım konusunda eğitim alacaklar; hijyenik tasarım yönetim sistemine uygunlukları firma bazında denetleneceklerdir. Gıda üretim tesisi için mühendislik ve inşaat ihalesine çıkacak firmalar bu belgeyi yüklenicilerden talep edebileceklerdir. Bu şekilde inşa edilmiş binaları kullanan ve işleme hatları üretilmiş olan firmalar ise GFSI 2020 JII kapsamında belgelendirilmeleri için başvuru yapabileceklerdir.

Hazırlanan bu çalışmada, önümüzdeki yıllarda gıda sektörü tarafından talep edilecek GFSI 2020 JI ve JII Hijyenik Tasarım başlıkları hakkında bilgi verilecek, paydaşların mevcut durumu ve yaptırım güçleri hususunda değerlendirmeler yapılacaktır.



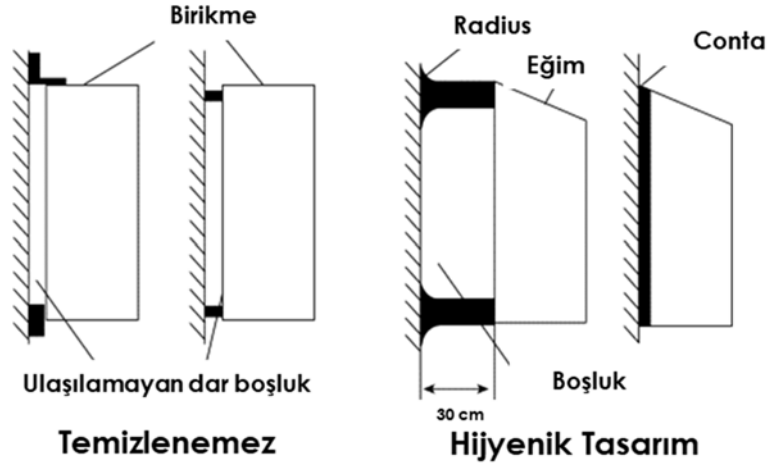
## 2. HİJYENİK TASARIM VE MÜHENDİSLİK

Gıda üretimi hijyenik bir ortamda yapılmalı ve bu sırada fiziksel, kimyasal ve biyolojik bulaşmalar önlenmelidir. Bunlara son yıllarda alerjen bulaşmaları da eklenmiştir. Gıdanın yapısı gereği hammadde temini sırasında (hasat, kesim, ambalaj maddeleri vb.) hijyen sağlanamadığı için söz konusu bulaşmaların tesise girişte temizlik işlemi ile ürünlerden ve devamında işleme ortamından uzaklaştırılması gerekir. İşleme hacmi ile mevcut cihazlar/hatlar temizlenebilir ve dezenfekte edilebilir olarak tasarlanmalıdır. İşleme alanına giren işçilerden ürüne çapraz bulaşma olmaması için gerekli önlemler proje aşamasında iken alınmalıdır.

Hijyenik tasarım ve mühendislik yaklaşımı bir anlamda gıda üretimi altyapısı olup, gıdayı üretmek için gerekli tüm fiziksel gereksinimleri eş zamanlı olarak kapsaması gerekir. Hijyenik tasarım ve mühendislik uygulamasının daha iyi anlaşılabilmesi için her tesiste bulunan bir elektrik panosu üzerindeki gereksinimler aşağıda sunulmuştur:

- a) Üretim alanlarında kullanılan elektrik panoları temizlenebilir olmalıdır [5].
- b) Temizlik yapılırken nelerin, nasıl, ne zaman, kim tarafından temizleneceği ve kimin bu işlemi kontrol edeceği tanımlanmalıdır.
- c) Temizlik işleminin iyi bir şekilde gerçekleşmesi için panolar boşluk kalmaksızın duvara conta kullanılarak sabitlenmeli ya da elle temizlik yapılabilecek şekilde arada boşluk bırakılarak monte edilmelidir (Şekil 1).
- d) Pano malzemesi olarak AISI 304 ya da gerektiği durumlarda AISI 316 kalite paslanmaz kullanılmalıdır.
- e) Yüzey pürüzlülüğü  $R_a$  değeri  $0.8 \mu\text{m}$ 'nin altında olmalıdır.
- f) Kaynaklı birleşim yapılmalı ve kaynak dikişleri standartlara göre çekilmiş olmalıdır [6, 7].
- g) Üzerinde birikim olmaması ve yıkama sırasında suyun tahliyesi için üstü eğimli yapılmalıdır. İçine su girmemesi için kapaklarda gıdaya uygun elastomer sızdırmazlık elemanı kullanılmalıdır. Elemanın rengi gıda ile ayırt edici bir renkte olmalıdır (Şekil 2a) [5].
- h) Pano kilidinde girinti çıkıntı olmamalı, gövde anahtar bağlantısı erkek olarak seçilmelidir (Şekil 2b).
- i) Pano üzerindeki açma düğmeleri hijyenik sınıfta olmalıdır (Şekil 2c).
- j) Panoya kablo girişleri su girişi olmayacak şekilde alt taraftan ve hijyenik kablo bağlantı elemanları ile yapılmalıdır (Şekil 2d).
- k) Kablolar tavandan tel kablo kanalları üzerinde ya da paslanmaz boru içinde panoya uzatılmalıdır.
- l) Kanal üzerinde kablolar birer birer iletilmelidir. Kablolar klipsler ile grup halinde bağlanmamalıdır.
- m) Pano montajı sırasında kullanılacak civata ve somunlar hijyenik sınıfta olmalıdır (Şekil 2e ve 2f).
- n) Pano duvara değil de yere monte edilmesi gerekiyorsa gövde konstrüksiyonunda kaynak bağlantılı boru (○) ya da yatay yüzey oluşturmayacak kare profil (◇) yerleşimi ve hijyenik ayaklar kullanılmalıdır (Şekil 2g).
- o) Yere oturan çözümlerde, yatay eksenlerdeki yatay olmayan profiller yerden en az 30 cm yükseklikte olmalıdır.

Bir pano için tanımlanan bu özellikler tesisin geneli için genişletildiğinde, çok detaylı hijyenik tasarım ve mühendislik uygulamalarının yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Elektrik panolarının duvara montajı [8].



Şekil 2. Hijyenik pano ve elemanları.

Paketlenmiş gıda üretimi yapan bir tesiste gıda güvenliği ilkelerinin sağlanabilmesi için aşağıda verilen alt yapıların en baştan tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir [9, 10, 11, 12]:

- Fabrika sahası, sınır çitleri, kameralar, yollar, giderler, peyzaj ve saha aydınlatma,
- Fabrika binası ve ortamı,
- Gıda işleme alanı ve hijyen zonları,
- Proses hatları,
- Havalandırma, iklimlendirme ve hava akışı,
- Cihazlar,
- Aletler,
- Destek hizmetleri (elektrik, su, buhar, basınçlı hava, proses gazları, temizlik vb. ilgili tesisatlar)
- Atık yönetimi (giderler; gıda ve ambalaj kaynaklı atıklar),
- Personelin tesis içi hijyen yönetimi (giriş-çıkış hijyen bariyerleri, soyunma odaları, kıyafetler, tuvaletler, yemekhane, revir, sigara içme alanı ve tıbbi izleme),
- Zararlılarla mücadele alt yapısı,
- Gıda savunma ve biyoterörizm önlemleri.

Hijyenik uygulamalar kapsamında, güvenli ve sağlıklı gıda üretimi ile ilgili yapılması gereken tüm önlemler sonucu, üretim alt yapısı hijyenik bir şekilde korunur ve gıdaya yabancı madde bulaşmasının önüne geçilir. Buna ek olarak günlük bazda yapılması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır [9, 12]:

- Bakım ve onarım,
- Ortalığın düzenli tutulması,
- Temizlik ve dezenfeksiyon,
- CIP (gerekliyse),
- Zararlı mücadelesi,



- f) Atık yönetimi,
- g) Kişisel hijyen,
- h) Faaliyet ve işlem parametrelerinin kayıt altına alınması.

### 3. GIDA GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMİ PAYDAŞLARI

Gıda tesisinde işleme alınan hammaddenin temininden, gıdanın tüketicinin sofrasına erişmesine kadar yer alan her bir aşamada gıda güvenliği önlemlerinin sağlanmış olması gerekir. Bu sırada farklı kişiler, firmalar, tesisler ve araçlar söz konusu değer zincirinde devreye girerler. Herhangi bir eksiklik değer azalmasına/yok olmasına, daha da kötüsü genelde gıda zehirlenmesi olarak adlandırılan insan sağlığını olumsuz olarak etkileyen hususların ortaya çıkmasına neden olur [13, 14]. Böyle bir durumda ölüme neden olacak mertebede tüketici sağlığı bozulur, sağlık hizmetleri boş yere meşgul edilir; gıda üreticisi ve tüketicisi açısından ekonomik kayıplar ortaya çıkar.

Değer zinciri boyunca gıda ve eş zamanlı olarak besin içeriğinin korunması için alınması gerekli tedbirlerin oluşturulması ve kontrolü önem taşımaktadır. Bu bölümde gıda güvenliğinin sağlanması için oluşturulan mevzuat, görev alan kurumlar ve katkıda bulunan kuruluşlar/yapılar ile ilgili bilgi sunulmuştur.

#### 3.1. Codex Alimentarius

Codex Alimentarius (Latince “Gıda Yasası (“Food Code”)” anlamına gelir), uluslararası kabul görmüş yönergeler, standartlar ve uygulama kuralları ile gıdalar, gıda üretimi ve gıda güvenliği için gerekli diğer tavsiyeleri içeren uluslararası bir mevzuattır. Metinler, Codex Alimentarius Komisyonu (“Codex Alimentarius Commission” – CAC, ülkemizde Kodeks Alimentarius Komisyonu (KAK) olarak bilinmektedir) tarafından geliştirilmekte ve düzenli olarak güncellenmektedir. CAC, 1961 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından kurulmuş ve 1962 yılında Dünya Sağlık Örgütü de (WHO) katılmıştır. İlk oturumu Ekim 1963'te Roma'da yapılmıştır. Bugün 184 ülke ve bir topluluk (Avrupa Birliği) üyesidir. Komisyonun ana hedefleri tüketicilerin sağlığını korumak ve uluslararası gıda ticaretinde adil uygulamaları sağlamaktır. Codex Alimentarius, Dünya Ticaret Örgütü tarafından gıda güvenliği ve tüketicinin korunmasına ilişkin uyuşmazlıkların çözümünde uluslararası bir referans noktası olarak tanınmaktadır [15].

Codex Alimentarius tüm gıdaları (ham, yarı işlenmiş ve işlenmiş) kapsamaktadır. Gıda etiketleme, gıda hijyeni, gıda katkı maddeleri ve pestisit kalıntıları gibi konuları kapsayan genel standartları içermektedir. Belirli gıdalar için standartları da bulunmaktadır. Ayrıca gıdalar için resmi ithalat ile ihracat denetim ve belgelendirme sistemlerinin yönetimine ilişkin yönergeler içermektedir [15].

Gıda güvenliği konusunda referans alınan “CXC 1- 1969 Gıda Hijyeninin Temel İlkeleri”, 1969 yılında ilk yayınlanan ve genel kapsamlı bir standarttır. 1997, 2003 ve 2020 yıllarında gözden geçirilmiştir [16].

Türkiye 1 Ekim 1963'de Codex Alimentarius Komisyonu'na üye olmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından temsil edilmekte olup, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü koordinatör temas noktasıdır. Ülkemizin görüşleri Ulusal Gıda Kodeksi Komisyonu aracılığı ile oluşturulmaktadır [17].

#### 3.2. Yasal Gereklilikler

##### 3.2.1. Ulusal Mevzuat

Ülkemizde gıda güvenliğinin sağlanması ile ilgili alınan tüm tedbirler 13.06.2010 tarih ve 27610 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan 5996 sayılı “Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu” kapsamında yürütülmektedir. Böylelikle tek kanun ile entegre bir yaklaşım sağlanmıştır [18, 19]. 5996 sayılı kanun kapsamında Gıda Kodeksi ile ilişki kurulmaktadır:



- a) Madde 21 (5): Gıda ve yem güvenilirliği şartları  
Gıda kodeksine aykırı gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzeme üretilemez, işleme tabi tutulamaz ve piyasaya arz edilemez.
- b) Madde 23 (1): Gıda kodeksi  
Bakanlık, gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelerle ilgili asgarî teknik ve hijyen kriterleri, bitki koruma ürünü ve veteriner ilaç kalıntıları, katkı maddeleri, bulaşanları, numune alma, ambalajlama, etiketleme, nakliye, depolama esasları ve analiz metotlarını belirleyen gıda kodeksini hazırlar ve yayımlar.

Kanunun yayın tarihini takip eden yıl, Codex Alimentarius temel alınarak oluşturulan Türk Gıda Kodeksi yayınlanmıştır. Genel olarak gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelerin asgarî teknik ve hijyenik şartlarını belirleyen kurallar bütünü olarak ifade edilebilir.

29 Aralık 2011 tarih ve 28157 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği'nin amacı ve kapsamı şu şekilde ifade edilmektedir [20]:

- a) Amaç: Madde 1 – Bu Yönetmeliğin amacı; gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelere ilişkin asgarî teknik ve hijyen kriterleri, pestisit kalıntıları ve veteriner ilaç kalıntıları, gıda katkı maddeleri, aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri, bulaşanlar, ambalajlama, etiketleme, numune alma, analiz metotları, taşıma ve depolama ile ilgili yatay ve dikey gıda kodeksine ilişkin esaslar ile coğrafi işaretle ilgili özel hükümlerin belirlenmesine dair kuralları düzenlemektir.
- b) Kapsam: Madde 2 – Bu Yönetmelik; gıda ve gıda ile temas eden madde ve malzemelere ilişkin asgarî teknik ve hijyen kriterlerinin, pestisit kalıntıları ve veteriner ilaç kalıntıları, gıda katkı maddeleri, aroma vericiler ve aroma verme özelliği taşıyan gıda bileşenleri, bulaşanlar, ambalajlama, etiketleme, numune alma, analiz metotları, taşıma ve depolama ile ilgili yatay ve dikey gıda kodeksine ilişkin esaslar ile coğrafi işaretle ilgili özel hükümlerin belirlenmesine dair kuralları kapsar.

Mevzuat kapsamına Tarım ve Orman Bakanlığı web sayfası üzerinden erişilebilir [21].

### 3.2.2. Uluslararası ve AB Mevzuatı

Her ülkenin Codex Alimentarius uyumlu ulusal yasaları bulunmaktadır. Önde gelen ülkeler ile ilgili bilgi aşağıda sunulmuştur:

- a) Avrupa Birliği'nde üye ülkeler için ortak yasalar hazırlanmış ve her ülke bunları temel alarak kendi dillerinde yayınlamışlardır. 28 Ocak 2002'de Regulation (EC) No 178/2002 ile gıda yasası yayınlanmış ve "European Food Safety Authority (EFSA)" kurulmuştur [22, 23].
- b) ABD'de Gıda ve İlaç Otoritesi (FDA) ile ABD Tarım Dairesi (USDA) üzerinden çalışmalar yürütülmektedir [24, 25, 26].
- c) Çin'de Çin Halk Cumhuriyeti Gıda Güvenliği Yasası (2015) yürürlükte. Çin Gıda ve İlaç Yönetimi ("China Food and Drug Administration - CFDA") yürütme organıdır [27].
- d) Japonya'da gıda kalitesini ve bütünlüğünü yöneten ana yasa, Gıda Sanitasyon Yasası'dır ("Food Sanitation Act - FSA"). Gıda etiketleme yönetmeliğini kapsamlı bir şekilde yöneten yasa ise Gıda Etiketleme Yasası'dır. Yasalar Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı ("Minister of Health, Labor and Welfare - MHLW") görüşü alınarak hazırlanmaktadır [28].

Avrupa Birliği'nde gıda güvenliği ile ilişkili yasalar genel olarak cihazlar, gıda işleme ve gıda ile temas eden malzemeler olarak üç başlık altında toplanabilir. Bunlarla ilgili önde gelen düzenlemeler aşağıda sunulmuştur [8]:

- a) Cihazlar için hijyenik tasarım kriterleri:  
Makine Direktifi 2006/42/EC
- b) Hijyenik gıda işleme kriterleri:  
Gıda Hijyeni Yönetmeliği RE (EC) 178/2002

Gıda Hijyeni Yönetmeliği RE (EC) 852/2004  
Hayvansal Kaynaklı Gıdaların Hijyeni Yönetmeliği RE (EC) 853/2004  
Hayvansal Kaynaklı Gıdaların Kontrolü Yönetmeliği RE (EC) 854/2004  
Gıdaların Mikrobiyolojik Kriterleri RE (EC) 2073/2005

- c) Gıda ile temas eden malzemeler ile ilgili kriterler:
- i. Gıda ile Temas Eden Malzemeler RE (EC) 1935/2004
  - ii. Plastik Malzemeler RE (EC) 10/2011
  - iii. Malzemelerin İyi Üretim Uygulamaları RE (EC) 2023/2006

Gıda, eczacılık ürünleri ve tıbbi cihazların üretim ve kalite kontrol süreçlerinin kontrolü ve yönetimine ait kalite güvence sistemleri “İyi Üretim Uygulamaları” (“Good Manufacturing Practice”, GMP) olarak tanımlanmaktadır. İnsan tüketimine yönelik olarak hazırlanan ve insan tüketimine yönelik olarak araştırmaları devam eden tıbbi ürünlerin üretimi ile ilgili İyi GMP ilkeleri Direktif 2003/94/EC ile tanımlanmaktadır.

### 3.3. Zorunlu Olmayan Standartlar

Tedarik zincirleri uluslararası seviyeye taşındığında, yerel ve ulusal kontroller yetersiz kalmaya başlamıştır. Çözüm üretebilmek için, uluslararası örgütlenmeler ile daha geniş kabul gören standartlar geliştirilmiştir. Bunların yetersiz görüldüğü durumlarda Dünya'nın önde gelen üreticileri ve perakendecileri bir araya gelerek kurallar koymuşlar ve bunların üzerinde denetim mekanizmaları oluşturmuşlardır. Bunun zaman, mekân ve kurumlardan bağımsız olarak çalışabilmesi için de uygun koşulları sağlamışlardır. Bu bölümde Dünya'nın herhangi bir yerinde üretilen gıdanın, herhangi bir ülkesindeki herhangi bir bireyin sofrasına güvenli gıda olarak sunulabilmesi için oluşturulan sistemin paydaşları ile ilgili bilgi sunulmuş; mevcut durum ve yaptırım güçleri tartışılmıştır.

#### 3.3.1. Avrupa Standardizasyon Komiteleri (CEN ve CENELEC)

Avrupa Standardizasyon Komitesi CEN (“Comité Européen de Normalisation”), 34 Avrupa ülkesinin (27 AB üye ülkesi, Birleşik Krallık, Kuzey Makedonya Cumhuriyeti, Sırbistan, Türkiye, İzlanda, Norveç ve İsviçre) Ulusal Standart Kuruluşlarını bir araya getiren, çeşitli ürün, malzeme, hizmet ve süreçlerle ilgili Avrupa Standartlarının ve diğer teknik belgelerin geliştirilmesi için bir platform sağlayan bir oluşumdur. Avrupa standartları EN (“Europäische Norm” kaynaklı “European Norm”) olarak bilinir. Amacı tek Avrupa pazarı içinde teknik kural ve yasaları uyumlu hale getirmektir.

Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi (“European Committee for Electrotechnical Standardization” - CENELEC) CEN gibi uluslararası kâr amacı gütmeyen kuruluştur [29]. Türkiye 2012 yılında CEN ve ECELEC'e üye olmuştur. ISO ve IEC ile yakın iş birlikleri bulunmaktadır. Avrupa standardizasyon kurumları içinde Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü de (“European Telecommunications Standards Institute” - ETSI) yer almaktadır [30].

Örnek olarak EN 1672 standardında, insan ve ilgili hallerde hayvan tüketimi için gıdaların hazırlanmasında ve işlenmesinde kullanılan makineler için bu gıdadan kaynaklanan bulaşma, enfeksiyon, hastalık veya yaralanma riskini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için ortak hijyen gereklilikler belirtilmektedir. Bu tür gıda işleme makinelerinin kullanımıyla ilgili tehlikeleri tanımlar ve bu risklerin ortadan kaldırılması veya azaltılması için kullanılacak tasarım yöntemlerini ve bilgileri açıklar. 2006/42/EC – Makine Direktifi refere edilmektedir. Standardın uzun, kısa ve ulusal adlandırılmaları aşağıda verilmiştir [31]:

- a) EN 1672-2:2005+A1:2020 (Main + Amendment) Food Processing Machinery - Basic Concepts - Part 2: Hygiene Requirements
- b) EN 1672-2:2005 A1:2020
- c) TS EN 1672-2:2021 Gıda İşleme Makinaları - Temel Kavramlar - Bölüm 2: Hijyen ve Temizlik Kuralları
- d) DIN EN 1672-2:2021-05 Nahrungsmittelmaschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Teil 2: Anforderungen an Hygiene und Reinigbarkeit

### 3.3.2. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO)

ISO ("International Organization for Standardization", Uluslararası Standardizasyon Örgütü, Yunanca'da ISOs eşit anlamına gelir) 1946 yılında Londra'da 25 ülkenin katılımı ile kurulmuştur. 1949 yılında Cenevre İsviçre'deki ofisine taşınmıştır. Teknik standartların geliştirilmesi için küresel sivil toplum kuruluşudur [32].

İş birliği yaptığı IEC ise ("International Electrotechnical Commission", Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) 1906 yılından bu yana tüm dünyada elektroteknik alanında uluslararası standartları hazırlayan bir organizasyondur. Merkezi ISO gibi Cenevre İsviçre'dir. Strateji Grubu 8 (SG8) 4. Sanayi Devrimi üzerine çalışmalar yürütmektedir [33].

Türkiye'de standardizasyon çalışmaları 1930'da başlamış ve 16 Ekim 1954'de Türk Standartları Enstitüsü (TSE) kurulmuştur. TSE 26 Mayıs 1955'de ISO'ya, 1 Ocak 1956'da IEC'ye üye olarak kabul edilmiştir [34].

IEC ve ISO, tamamen fikir birliğine dayalı uluslararası standartlar geliştiren ve yayınlayan bağımsız, hükümet dışı, kâr amacı gütmeyen kuruluşlardır.

IEC ve ISO standartları, belirli bir sorunun çözümü konusunda küresel fikir birliğini temsil eder. Malzemelerin, ürünlerin, süreçlerin ve hizmetlerin kullanımının güvenli ve amaçlarına uygun olmasını sağlamak için tutarlı bir şekilde kullanılabilirlikleri, gereklilikleri, spesifikasyonları, yönergeleri veya özellikleri sağlarlar.

ISO standartları duruma göre kabul edilir ve Avrupa Birliği'ne (AB) üye ya da herhangi bir ülkenin bir standart benimsemesi zorunlu değildir. Örnek olarak 17025 ya da 14159 standartları ilk olarak ISO/IEC olarak yayınlanmış, sonrasında Avrupa Birliği tarafından kabul edilen ve Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) tarafından kontrol edilen Avrupa Standardı (EN) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından kontrol edilen Ulusal Standartlarını Türk Standardı (TS) olarak benimsenmiştir:

- a) TS EN ISO/IEC 17025:2017 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Gereklilikler
- b) TS EN ISO 14159:2008 Makinalarda Güvenlik- Makinaların Tasarımı için Hijyen Şartları

### 3.3.3. Çin Ulusal Standardizasyon Enstitüsü (CNIS)

Çin Ulusal Standardizasyon Enstitüsü ("China National Institute of Standardization" (CNIS); 1963'te kurulduğunda Devlet Bilim ve Teknoloji Komisyonu Standardizasyon Enstitüsü olarak adlandırılıyordu) doğrudan Devlet Piyasa Düzenleme İdaresi'ne ("State Administration of Market Regulation" - SAMR) bağlıdır. Standardizasyon araştırmalarına yoğunlaşmış bir ulusal sosyal hizmet kurumu olup, bünyesinde Çin'in ulusal ekonomisi ve sosyal kalkınmasındaki küresel, stratejik ve kapsamlı standardizasyon konuları üzerinde faaliyetler yürütülmektedir [35].

### 3.3.4. Japon Endüstriyel Standartları (JIS)

Japonya'nın ulusal standardizasyon kuruluşu olan Japon Endüstriyel Standartlar Komitesi ("Japanese Industrial Standards Committee" - JISC) [36] Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı'na [37] ("Ministry of Economy, Trade and Industry" - METI) bağlı olup, robotlardan piktogramlara (temsili ve grafik semboller) kadar geniş bir ürün ve teknoloji yelpazesini kapsayan Japonya'daki standartların ("Japan Industrial Standards" - JIS) geliştirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır. JISC, Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) ile yaptığı çalışmalarla Japonya'nın uluslararası standartların belirlenmesine artan katkısından da sorumludur.

### 3.3.5. Tüketici Ürünleri Forumu (CGF)

Tüketici Ürünleri Forumu [38] (“The Consumer Goods Forum” - CGF) tüketici güvenini güvence altına almak ve daha verimli operasyonları gerçekleştirecek olumlu değişikliklerin sürekliliğini sağlamak için, tüketici ürünleri perakendecilerini ve üreticilerini küresel olarak bir araya getiren; Dünyadaki perakendecilerin ve tüketim malları üreticilerinin diğer kilit paydaşlarla birlikte iş birliği yapmasına yardımcı olan, şirket CEO’larının öncülüğünde bir kuruluştur. Bünyesinde yer alan tedarik zinciri paydaşlarından gelen geri beslemeler ile sürekli bir iyileşme ve tüm faaliyetler sırasında verimliliğin sağlanması için uygun bir konumdadır. Forum kapsamında yetmişin üzerindeki ülkeden 400+ üye, 1500+ yönetici ve 4.6 trilyon Euro'luk yıllık ciro ile temsil edilmektedir.

Forumda Pozitif Orman, Daha Sağlıklı Yaşamlar, İnsan Hakları, Plastik Atık, Ürün Bilgileri, Gıda Atığı, Sürdürülebilir Tedarik Zinciri İnisiyatifi, Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi gibi eylem koalisyonları da bulunmaktadır. Forum Aralık 2009’da “CIES-The Food Business Forum”, “the Global Commerce Initiative (GCI)” ve “the Global CEO Forum”un birleşmesi ile kurulmuş ve Haziran 2010’den itibaren faaliyet göstermektedir.

Üreticileri ve perakendecileri temsilen iki kişi olmak üzere; bir sonraki dönemin başkanları da mevcut dönemde başkan yardımcıları olarak görev yapmaktadırlar. Tablo 1’de kuruluşundan bugüne eş başkanlar ve görev yaptıkları şirketleri verilmiştir.

Forum bünyesinde yer alan küresel şirketler ise Tablo 2’de sunulmuştur. Dünyanın önde gelen şirketlerinin yer aldığı böyle bir organizasyonun ortaya koyduğu kuralları ve yaptırım gücünü tartışmanın gereksiz olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Kuruluşundan günümüze Tüketici Ürünleri Forumu başkanları [38].

Dönem Başlangıcı	Üreticilerin Temsilcisi	Perakendecilerin Temsilcisi
Haziran 2010	Muhtar Kent (Coca Cola)	Lars Olofsson (Carrefour)
Haziran 2013	Paul Bulcke (Nestle)	Dick Boer (Ahold)
Haziran 2015	Denise Morrison (Campbell Soup Company)	Gareth Ackerman (Pick n Pay)
Haziran 2017	Ian Cook (Colgate-Palmolive)	Olaf Koch (Metro Group)
Haziran 2019	Emmanuel Faber (Danone)	Özgür Tort (Migros Ticaret)
Haziran 2021	James Quincey (Coca-Cola)	Daniel Zhang (Alibaba Group)

**Tablo 2.** Tüketici Ürünleri Forumu yönetim kadrosu [38].

Unilever, Hollanda/Birleşik Krallık	Ahold Delhaize, Hollanda	Savencia, Fransa
Carrefour, Fransa	L'Oréal, Fransa	New Hope Liuhe, Çin
Danone, Fransa	Target, ABD	Haleon, Birleşik Krallık
Grupo Exito, Kolombiya	Henkel, Almanya	Barilla, Italy
Grupo Bimbo, Meksika	Wegman's, ABD	Mondelēz International, ABD
Heineken, Hollanda	Walmart, ABD	Loblaw, Kanada
Mars, Incorporated, ABD	SC Johnson, ABD	Dairy Farm, Hong Kong, Çin
General Mills, ABD	Mengniu Group, Çin	IGA, ABD
Procter & Gamble, ABD	Tesco, Birleşik Krallık	Dohle Handelsgruppe, Almanya
McCormick & Company, ABD	REWE Group, Almanya	Essity, İsveç
AS Watson, Hong Kong, Çin	Nestlé, İsviçre	McCain Foods, Kanada
Aeon, Japonya	Colgate Palmolive, ABD	Migros Ticaret, Türkiye
JMR, Portugal	ICA, İsveç	Pick'n'Pay, Güney Afrika
PepsiCo, ABD	J.M. Smucker, ABD	Lawson, Japonya
NTUC Fairprice, Singapur	Sainsbury's, Birleşik Krallık	METRO AG, Almanya
Kellogg, ABD	Marks & Spencer, Birleşik Krallık	Ajinomoto, Japonya
Johnson & Johnson, ABD	Douglas, Almanya	Beijing Hualian, Çin
KAO Corporation, Japonya	Kirin, Japonya	Auchan Retail, Fransa

### 3.3.6. Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi (GFSI)

Dünya çapında üreticiler ve perakendecilerin bir araya geldiği Tüketici Ürünleri Forumu (CGF) organizasyonu [38] kapsamında, her yerde güvenilir gıdanın sağlanması için gıda güvenliği standartlarının tek bir elden kontrol edilmesi herkesin çıkarına olmaktadır. Bu amaçla 2000 yılında kurulan GFSI [39], Tüketici Ürünleri Forumu'nun bir "Eylem Koalisyonu" olup, işletmelerin gıda güvenliği standartlarına uygunluklarını denetlemek için CGF üyeliğinde 45 perakendeci ile üreticiyi ve genişletilmiş bir gıda güvenliği topluluğunu bir araya getirmektedir (Şekil 3). Dünyanın önde gelen tüketim malları şirketlerinin koalisyonu olarak amacı, herkesin güvenli gıda erişimine yardımcı olmak için sınırların ve bürokratik engellerin ötesinde iş birliği yapılması şeklinde ifade edilmektedir. Bu amaçla tüketicilere güvenli gıda sağlamak için gıda güvenliği yönetim sistemlerinde sürekli iyileştirmeler yapılmaktadır.

GFSI hedefleri kısaca aşağıda özetlenmiştir:

- Etkin gıda güvenliği yönetim sistemleri arasında eşdeğerlilik ve yakınsama sağlayarak gıda güvenliği risklerinin azaltılması,
- Fazladan yapılan harcamaları ortadan kaldırarak ve operasyonel verimliliği artırarak küresel gıda sistemindeki maliyetin yönetilmesi,
- Sürdürülebilir ve etkili küresel gıda sistemleri oluşturmak için gıda güvenliğinde yetkinliklerin ve kapasitenin iyileştirilmesi,
- İş birliği, bilgi alışverişi ve ağ oluşturma için özel bir uluslararası paydaş platformunun sağlanması,

GFSI bünyesinde yer alan çalışma grupları altında, dünyanın dört bir yanından gönüllü gıda endüstrisi uzmanları, GFSI Yönlendirme Komitesi ("Steering Committee") tarafından önceliklendirilmiş bir dizi konu üzerinde çalışmak üzere bir araya getirilmektedir (Tablo 3). Amaçları kısaca, güvenilir ve pratik yönergeler ile stratejik gıda güvenliği konularına ilişkin içgörüler sunarak GFSI'nın uyum ve yetenek geliştirme temel hedeflerini gerçekleştirmesine yardımcı olmak şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 3. Küresel Gıda Güvenliği İnisiyatifi (GFSI) yönetimi [40].



**Tablo 3.** GFSI Yönlendirme Komitesi'nde yer alan firmalar [40].

Tyson Foods, ABD	Dole Food Company, ABD
Pick n Pay, Güney Afrika	Nestlé, İsviçre
PepsiCo, ABD	Auchan, Fransa
Restaurant Brands Int., Kanada	Musgrave, İrlanda
The Kroger Co., ABD	Mondelez International Inc.(2), ABD
Aeon, Japonya	Walmart, ABD
General Mills, ABD	Cargill, ABD
YUM! Brands, ABD	Starbucks, ABD
Mars Incorporate, ABD	Unilever, Hollanda/Birleşik Krallık
Danone, Fransa	Loblaw Companies Limited, Kanada
The Coca-Cola Company, ABD	

GFSI'in ortaya koyduğu standartların denetlenmesi ve takibi için GFSI'dan bağımsız farklı kuruluşlara yetki verilmiştir. Bu kuruluşlar Sertifikasyon Programı Sahipleri ("Certification Programme Owners", CPO) olarak adlandırılmaktadırlar [41]. GFSI tarafından tanınma hem tanınmış CPO'lar hem de onayladıkları şirketler için küresel gıda pazarı için bir vizesiz pasaport imkânını sunmaktadır (Şekil 4). Bunun için CPO'ların gıda güvenliği programlarının dünyanın en yaygın kabul gören kıyaslama belgelerinden biri olan GFSI Kıyaslama Gereksinimlerini karşıladıklarının GFSI tarafından doğrulanması gerekmektedir. Ek olarak CPO personeli ISO/IEC 17065 ya da ISO/IEC 17021-1 ile ISO/TS 22003 ve IAF MD4 standartları gereksinimlerini sağlamalı ve firma bazında söz konusu tüm bilgiler kayıt altına alınmalıdır.

Küresel Gıda Güvenliği Girişimi (GFSI), Gıda Güvenliği Sertifikasyon Programlarının, önceden tanımladığı "Kıyaslama Gereksinimleri" ("Benchmarking Requirements") istemlerine bağlı olarak tanınmasını, bir anlamda akredite edilmesini sağlar. Gıda ve tarım ürünlerinin güvenliğinin sağlanmasında, bir anlamda sınır aşırı kanun koyucu durumundadır.

GFSI Kıyaslama Gereksinimleri ilk olarak 2001 yılında, küresel tedarik zinciri boyunca gıda güvenliği standartlarının uyumlu hale getirilmesi gerekliliğiyle motive edilen bir grup perakendeci tarafından oluşturulmuştur. Söz konusu gereksinimler, gıda güvenliği trendlerine ayak uydurmak için dünya çapındaki gıda güvenliği uzmanlarının katkılarıyla sık sık güncellenmektedir. GFSI'in güncel kıyaslama gereksinimleri kendi başlarına bir gıda güvenliği standardını oluşturmazlar ve gıda işletmeleri bunlarla denetlenemezler ya da onaylanamazlar. Sertifikasyon işleminin tamamlanması için GFSI onaylı bir CPO'nun mutlaka devrede olması gerekir. Onaylanmış CPO'lardan önde gelenleri BRCGS, FSSC22000, IFS, SQF sıralanabilir (Şekil 4).

GFSI Kıyaslama Gereksinimleri'nin son sürümü olan 2020.1 için onaylanmış gıda ve tarım konularında çalışan CPO'lar aşağıda verilmiştir. BRCGS Gıda Güvenliği için Küresel Standart ("Global Standard for Food Safety") Issue 8, FSSC 22000 V5.1, IFS Food V7.0 ve SQF Gıda Güvenliği Standardı V9 halen mevcut durumdadırlar.

**Şekil 4.** GFSI tarafından tanınan Sertifikasyon Programı Sahipleri (Mart 2023) [41].

### 3.3.7. EHEDG

1989 yılında kurulan Avrupa Hijyenik Mühendislik ve Tasarım Grubu (“European Hygienic Engineering and Design Group”, EHEDG) [42], gıda tedarik zincirindeki farklı paydaş gruplarının üyelerini bünyesinde barındıran, merkezi Hollanda’da bulunan vakıf statüsünde bir kurumdur. Başta Avrupa olmak üzere dünyanın farklı ülkelerinde 40’den fazla yerel bölümü (“Regional Section”) vardır. Ana hedefleri, gıda üretiminin tüm aşamalarında hijyenik tasarım ve mühendislik çözümlerinin teşvik edilmesi ve geliştirilmesi olarak ifade edilebilir. EHEDG yönergeler geliştirmek ve yayınlamak için aktif çalışma gruplarına sahiptir. Eğitim malzemeleri geliştirmekte ve eğitimler düzenlemektedir. Üçüncü taraf test laboratuvarları aracılığıyla işleme hatları üzerindeki bileşenlerin, 3-A’dan farklı olarak deneysel ağırlıklı temizlenebilirlik incelemelerini yürütmekte ve sertifikalandırmaktadır.

EHEDG Türkiye’de 2012 yılından itibaren Gıda Güvenliği Derneği (<http://www.ggd.org.tr/>) tarafından temsil edilmekte; EHEDG onaylı ortaklaşa hijyenik tasarım eğitimleri düzenlemektedirler. Yoğun bir şekilde üyelik faaliyetleri yürütülerek, hijyenik tasarımın ülkemizde tanınmasına öncülük edilmektedir. Önde gelen EHEDG küresel (Şekil 5) ve Türk şirket üyeleri (Şekil 6) aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. İlk 500’deki EHEDG şirket üyeleri [42].



Şekil 6. EHEDG Türk şirket üyeleri.

EHEDG kuruluşundan itibaren hijyenik tasarım yönergelerini yayınlamaya başlamıştır. Sektör açısından öncelikli olan konu belirlendikten sonra, konunun uzmanı özel sektör temsilcilerinin ağırlıklı olduğu bir çalışma grubu oluşturulmakta ve en az iki-üç yıl süren değerlendirmeler sonucunda konu ile ilgili yayın yapılmaktadır. Tamamen uygulamaya yöneliktir. Zaman zaman geçmişte yapılan yönergeler elden geçirilmekte ve güncelleştirilerek tekrar yayınlanmaktadır. Bugün itibarı ile 55 yönerge (“guideline”) sektörün hizmetine sunulmuştur. İki hariç tümü dış kullanıma kapalı olup, yalnızca üye hesaplar üzerinden erişilebilmektedir [43].

### 3.3.8. 3-A SSI

“3-A” olarak bilinen ilk standartlar 1920’lerde süt sanayii için geliştirilmiş olup, 3-A SSI (“Sanitary Standards, Inc.”) bugün ABD’deki hijyenik koşulları tanımlayan kuruluşlar ile gıda işleyici ve cihaz üreticilerini temsil eden kurumlardan oluşmaktadır [44]. 3-A SSI bünyesinde, hemen hemen her çeşit önde gelen gıda işleme cihazı için hem USDA (“United States Department of Agriculture”, ABD Tarım Bakanlığı) hem de FDA (“Food and Drug Administration”, ABD Gıda ve İlaç İdaresi) tarafından kabul edilmiş geniş bir standart envanteri (86 adet) ve işleme sistemleri için onaylı çözümleri bulundurmaktadır. 3-A SSI, inceleme ve denetlemeler sonucunda uygun bulunan cihaz üzerinde 3-A Sembolü’nün kullanımı için gönüllülük ilkesine dayalı bir programı da yürütmektedir.

### 3.3.9. BRCS

İngiliz perakende zincirleri 1990’lara kadar tedarikçi denetimlerini bireysel bazda yürütmekteydiler. Tekdüzen oluşturulması, maliyetlerin azaltılması ve ortak kontrolün sağlanabilmesi için, İngiliz Perakende Konsorsiyumu (“British Retail Consortium” - BRC) tedarik zinciri boyunca gıda güvenliği standartlarını uyumlu hale getirmek isteyen İngiliz perakendeciler tarafından 1996 yılında kurulmuştur [45]. Ancak faaliyetler Ocak 1992’ye dek uzanmaktadır. Uluslararası Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri standardıdır.

1998 yılında BRC Gıda Güvenliği için Küresel Standart ilk defa yayınlanmıştır. Bunu 2001’de Paketleme ve Paketleme Malzemeleri, 2003’de Tüketici Ürünleri, 2006’da Depo ve Dağıtım; 2014’de Acenteler ve Araçlar; 2016’de Perakende standartları takip etmiştir [45]. Günümüzde toplam dokuz adede ulaşmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. BRCGS standartları.

Kasım 2016'da kurum, 1842 yılında kurulmuş olan LGC Group tarafından satın alınmıştır [46]. Şubat 2019'da BRC, BRCGS ("Brand Reputation through Compliance Global Standards" - Küresel Standartlara Uygunluk Yoluyla Marka İtibarı) olarak yeniden markalaşmış ve yeni logosunu kullanmaya başlamıştır [47].

1 Ağustos 2022'de BRCGS Gıda Güvenliği Standardı'nın 9. Versiyonu yayınlanmış ve 1 Şubat 2023'den itibaren devreye girmiştir.

BRCGS kendi adına denetimleri yapmak üzere Belgelendirme Kuruluş'larını ("Certification Body") görevlendirir ve belirli aralıklar ile yaptıkları işlemleri örnekleme usulü ile kontrol eder. Söz konusu uygunluk değerlendirme kuruluşlarının aynı zamanda Türkiye Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) gibi kuruluşlarca da akreditasyonu yapılmış olmalıdır.

### 3.3.10. FSSC 22000

FSSC 22000, ISO Yönetim Sistemi yaklaşımı ve ISO uyumlaştırılmış yapısı ile Gıda Güvenliği Yönetim Sistemleri için tamamlayıcı bir belgelendirme planı içermektedir.

2004 yılında Gıda Güvenliği Sertifikasyonu Vakfı, FSSC 22000 standardını geliştirmiştir. Merkezi Hollanda'da olup, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Hindistan, Japonya, Türkiye ve Orta Doğu'da bölgesel temsilcileri ve Çin'de irtibat ofisi bulunmaktadır.

FSSC 22000, tamamen uluslararası bağımsız standartlara dayanmaktadır. Bunlar arasında ISO 22000, ISO 22003 ile birlikte Ön Gereksinim Programları (ÖGP'ler) için sektörlere özgü teknik şartnameler ve ilave program gereksinimler bulunmaktadır.

FSSC 22000 Belgelendirme Programı, gıda güvenliği konusundaki duyarlılığı cevaplamak üzere, dünyada söz sahibi olan ilgili birçok kuruluş ve organizasyonun geniş katılımıyla oluşturulmuştur. GFSI Direktörler Kurulu tarafından tam olarak tanınmış ve EA ("European Cooperation for Accreditation", Avrupa Akreditasyon İşbirliği) tarafından da kabul görmüş bir programdır.

FSSC 22000, eldeki ISO 22000, ISO 22002 serisi/PAS 220 standartlarının şartlarını ve HACCP ilkelerini de içerdiğinden, gıda riskine karşı kapsamlı yönlendirici ve düzenleyici bir kaynaktır. Bundan dolayı gıda güvenliği konusunda yaygın standartlardan birisidir.

FSSC 22000 alt yapısı, yasal şartlara uyulmasını, kuruluşlar arasında iş birliğini ve gelecekteki gelişmelere uyum sağlanmasını kolaylaştırmaktadır. ISO 22000 belgesine sahip kuruluşlar, aşırı külfet gerektirmeksizin FSSC 22000 belgesine de sahip olabilmektedirler.

Aynı organizasyonun FSSC 24000 olarak Sosyal Yönetim Sistemi de bulunmaktadır.

### 3.3.11. SQF

SQF ("Safe Quality Food", Güvenli Kalite Gıda) Enstitüsü, küresel bir gıda güvenliği ve kalite belgelendirme ve yönetim sistemi olan SQF Programını yönetmek için kurulan Gıda Endüstrisi Birliği ("The Food Industry Association") FMI'nin bir bölümüdür [49].

SQF Programı başlangıçta Avustralya'da 1994'de geliştirilmiş ve ilk olarak 2004 yılında GFSI tarafından kıyaslama gereksinimlerini karşılayan bir standart olarak kabul edilmiştir.

FMI tarafından 2003 yılında satın alınan SQF Programı, gıda üretimi ve üretim şirketlerinin en yüksek seviyede gıda güvenliği standartlarını karşılamalarına yardımcı olmak için doğrudan perakende paydaş girdilerinden yararlanmaktadır.

SQF Gıda Güvenliği Kurallarının en son sürümü, 23 Ekim 2020'de yayınlanan SQF Standartları Sürüm 9'dur. 24 Mayıs 2021 tarihinden itibaren yürürlüktedir. SQF Kodları Sürüm 9, üretim ve üretim tesislerinin SQF sertifikası alması için adım adım talimat sağlayan sektöre özel 13 koddan oluşmaktadır.

SQF gıda güvenliği standardı ABD merkezli olduğu için belge sahiplerinin yaklaşık %85'i ABD, Kanada ve Meksika'da faaliyet göstermektedirler.

### 3.3.12. IFS

IFS, 2003 yılında Uluslararası Gıda Standardı ("International Food Standard") adı altında Berlin Almanya'da kurulmuştur. Daha sonraki yıllarda "International Featured Standards" olarak adını değiştirmiştir. Bugün altı standart ile dünya çapında faaliyet göstermektedir [50].

## 3.4. ABD Uygulamaları

ABD'nin gayrisafi milli hasılasının Dünya'nın yaklaşık %20'sini oluşturması, ABD'ye ihracat yapacak firmaların ABD gıda güvenliği ile ilgili mevzuatı ve standartları dolaylı olarak kabul etme ve farklı ülkelerde olmalarına rağmen ticari olarak uygulama durumuna getirmiştir. Bu bölümde mevcut yapılar ile ilgili genel bilgi sunulmuştur.

### 3.4.1. ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA)

FDA ("Food and Drug Administration"), Sağlık ve İnsan Hizmetleri Departmanı ("Department of Health and Human Services") bünyesinde bir kurumdur [51]. İnsan ve veteriner ilaçları, biyolojik ürünler ve tıbbi cihazların güvenliğini, etkinliğini ve güvenliğini sağlayarak halk sağlığını korumak; aynı zamanda gıda tedarik zincirinin, kozmetik ürünlerinin ve radyasyon yayan ürünlerin güvenliğini sağlamaktan sorumludur. Ek olarak halk sağlığını korumak ve reşit olmayanların tütün kullanımını azaltmak için tütün ürünlerinin üretimini, pazarlamasını ve dağıtımını düzenleme sorumluluğuna da sahiptir.

FDA, doktor muayenehaneleri veya laboratuvarlar dahil olmak üzere sağlık hizmeti sağlayıcılarını "onaylamaz". FDA'nın, mevcut iyi üretim uygulamalarına uyduklarını doğrulamak için denetime tabi tesisleri denetleme yetkisi vardır.

FDA'nın gıda ürünleri için pazar öncesi onayı bulunmamasıyla birlikte, gıdada kullanılmadan veya gıda ile temas etmesi amaçlanmadan önce belirli bileşenleri onaylama yetkisi vardır [52]. Bunlar, gıda katkı maddelerini (gıdaya kasıtlı olarak eklenen maddelerin yanı sıra gıda ambalajı gibi gıda ile temas eden ürünlerden gıdaya geçen maddeler) ve renk katkı maddelerini içermektedir.

### 3.4.2. USDA

ABD Tarım Bakanlığı ("United States Department of Agriculture" - USDA), ülke genelinde ve yurt dışında 4.500'den fazla noktada ABD'de hizmet veren yaklaşık 100.000 çalışanı olan 29 ajans ve ofisten oluşmaktadır. Kuruluşu 15 Mayıs 1862'de Başkan Abraham Lincoln'un, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı'nı kurulması için imzaladığı yasaya dayanır [53].

USDA'nın Gıda Güvenliği ve Denetim Hizmeti ("Food Safety and Inspection Service" - FSIS), ABD'de et, kümes hayvanları ve işlenmiş yumurta tedarikinin sağlıklı, güvenli ve uygun şekilde etiketlenmiş olmasının takibini sağlamaktadır [54]. Organik gıdaların sertifikalandırılması için düzenlemeler yapmaktadır [55]. ABD'de "Codex Alimentarius Commission" ile ilişkiler USDA bünyesinde ABD Kodeks Bürosu ("U.S. Codex Office") tarafından yürütülmektedir [56].

Altı adımlı başvuru sonrası USDA tarafından denetlenip, USDA onaylı satıcı olunabilmektedir [57]. Satıcıların başvuru öncesi belirli koşulları sağlamaları gerekmektedir [58].

### 3.4.3. Ulusal Sanitasyon Vakfı (NSF)

NSF ("National Sanitation Foundation"), merkezi Ann Arbor, Michigan ABD'de bulunan bir ürün testi, inceleme ve belgelendirme kuruluşudur. NSF ayrıca dünya çapında danışmanlık ve eğitim hizmetleri de sunmaktadır [59].

Sanayi grubu altında gıda, su, otomotiv ve havacılık, bina ve inşaa ile sağlık bölümleri; hizmet sektöründe ise sürdürülebilirlik, yönetim sistemleri, bilgi güvenliği, laboratuvar ve test bölümleri bulunmaktadır.

NSF'nin Gıda Bölümü, tarım, gıda işleme, gıda işleme cihazı, restoran ve perakende sektörlerindeki işletmelere yardımcı olan, ABD'de önde gelen bir gıda güvenliği ve güvence hizmeti sağlayıcısıdır. Hizmetleri arasında ürün belgelendirme, danışmanlık, eğitim ve teknik hizmetler, tedarik zinciri gıda güvenliği ile perakende ve mağaza güvenliği de yer alır.

## 4. GFSI 2020 JI ve JII Hijyenik Tasarım Başlıkları

Herning-Danimarka'da 2-3 Kasım 2016 tarihleri arasında yapılan EHEDG Dünya Kongresi'nde GFSI ile EHEDG ve 3-A arasındaki ilişkilerin sınırlı olduğu, gıda güvenliği konusunda küresel bazda çalışan bu önemli kurumların işbirliği yapması gerektiği gündeme gelmiştir [60]. 2018 yılının başlarında GFSI, 3-A ve EHEDG ile ortak hijyenik tasarım çalışma grubu oluşturulmuştur. EHEDG, 3-A, Cargill, Bühler AG, Nestle, Tetra Pak ; Holchem Laboratories Ltd, Coca Cola, Neumann Risk Services, Flavor Food Consulting, Commercial Food Consulting, Hygienicon Consultancy, Fromageries Bel, University of Tennessee, Mawarid Food Company, Ecollab, Metro, Gray Architects and Engineers, Marks and Spencer ve IFS firmalarından ilgili kişilerin katılımı ile yaklaşık iki yıl çalışılmış [61] ve sonucunda 26 Şubat 2020'de GFSI 2020.1 Kıyaslama Gereksinimleri içinde Kapsam JI ile Kapsam JII Hijyenik Tasarım yayınları yapılmıştır [63, 64].

JI ve JII başlıkları binaların ve cihazların tasarım aşamasında planlanıp, temizlenebilirlik ile ilgili önlemlerin en baştan alınması amaçlanmaktadır. Bunun sağlanması için çok disiplinli yetkin bir çalışma grubu oluşturulması hem JI'nin hem de JII'nin ilk maddesini oluşturmaktadır. Yayının hazırlandığı güne kadar JI ve JII denetimi için herhangi bir CPO, GFSI tarafından yetkilendirilmemiştir.

Yeni yatırım yapacak firmaların, bina ve cihaz ömürleri dikkate alınarak JI ve JII tedbirlerini bugünden almaları uygun olacaktır.

### 4.1. GFSI 2020 JI Hijyenik Tasarım Başlığı

GFSI 2020 JI dokuz sayfa ve üç bölümden oluşmaktadır [64]. Tam olarak yayın başlığı aşağıdaki şekildedir (Şekil 8):

"Kısım III, Standartların İçeriğine İlişkin Gereklilikler, JI Gıda Tesisleri ve İşleme Cihazlarının Hijyenik Tasarımı (inşaat müteahhitleri ve cihaz üreticileri için)"



**Şekil 8.** JI Gıda tesisleri ve işleme cihazlarının hijyenik tasarımı (inşaat müteahhitleri ve cihaz üreticileri için).

#### 4.1.1. Bölüm 1: Tehlike ve Risk Yönetimi Sistem Gereksinimleri

GFSI Teknik Denklik Gereklilikleri (“GFSI Technical Equivalence Requirements”) kapsamında Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP, “Hazard Analysis and Critical Control Point”) ile ilgili ana hususları kapsamaktadır. HACCP 1.5, 1.6, 1.7, 1.9.1, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15 olarak sıralanan 10 başlığa referans verilmektedir.

HACCP 1.5 referansı ile “Yetkin çok disiplinli bir takım, yeni binaların/cihazların hijyenik tasarımını ve risk değerlendirmesini değerlendirecek” koşulunu yerine getirmesini gerekli görmektedir. Bu kapsama gıda tesislerini inşa ve bu tesislere cihaz sağlayan firmalar ile burada görev alan mimarlar, mühendisler ve tasarımcılar girmektedirler. Hijyenik tasarım çözümleri tek bir uzmanlığın altında yer almadığı için çok disiplinli bir çözüm üretilmesi özellikle vurgulanmaktadır. HACCP 1.6 referansında söz konusu çok disiplinli takımın, binalar ve cihazların yapım, satın alma, ömrünün sonuna kadar kullanımı sırasında uygunluklarının hijyenik tasarım açısından değerlendirmesini yapmaları gerektiği bildirilmektedir.

HACCP 1.10 referansında uygun bina/cihaz hijyenik tasarım ilkeleri, belirlenen risk değerlendirmesi temel alınarak, kullanım amaçlarına ve kullanıcının ihtiyaçlarına bağlı olarak benimsenecektir ifadesi mevcuttur. Bunun sağlanması için EHEDG’nin yayınladığı kılavuzların göz önüne alınması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Bunu takip eden HACCP 1.11’de binaların ve cihazların temizlenir olması gerektiği; HACCP 1.13’de bina ve cihazların mikroorganizmalar ve zararlıların yuvalanmaları ve gelişmelerine engel olacak şekilde tasarlanması ve yapılması gerektiği; HACCP 1.14’de güvenilir hijyenik tasarım standartları/kılavuzlarının, binalar ve cihazların tasarımı ve yapımı sırasında dikkate alınması gerektiği; HACCP 1.15’de ise yeni yapılacak bina ve cihazlarda uygun hijyenik tasarım ilkelerinin benimsenmesi gerektiği ifade edilmektedir.

#### 4.1.2. Bölüm 2: Hijyenik Tasarım Yönetimi Sistem Gereksinimleri

GFSI Teknik Denklik Gereklilikleri kapsamında Hijyenik Tasarım Yönetim Sistemleri ile ilgili ana hususları kapsamaktadır. FSM (“Food Safety Management”) 1.2, 2.2, 3.2, 4.4, 5.2, 6.2, 9.1.2, 9.2.4,

10.1, 10.2, 11, 12.2, 13.1.3, 13.2.4, 13.3.2, 14.1.5, 19.4, 19.5, 20.2, 21, 22.4, 23.2, 23.3, 24.1, 25 olarak sıralanan 25 başlığa atıfta bulunmaktadır.

Başvuru yapılan şirketin Hijyenik Tasarım Politikası (FSM 6.2) ve bununla ilgili dokümantasyonunun oluşturulması ile hedeflerin belirlenmesi; hijyenik tasarım yönetim sistemi kurulması (FSM 9.1.2 ve 9.2.4); tanımlanmış gereklilikler, prosedürlerin oluşturulması (FSM 9.2.4, 10.1, 10.2, 11); satınalma ve tedarikçi etkinliği prosedürü hazırlanması (FSM 13.1.3, 13.2.4, 13.3.2); izlenebilirlik, test faaliyetleri ve iç denetim prosedürlerinin oluşturulması (FSM 14.1.5, 19.4, 19.5, 20.2) ile ürün sürümü ve düzeltici tedbirleri içeren (FSM 23.2, 23.3, 24.1, 25) prosedürlerin oluşturulması gerektiği belirtilmektedir.

#### 4.1.3. Bölüm 3: İyi Üretim Uygulamaları Gereksinimleri

Bölüm kapsamında İyi Üretim Uygulamaları (“Good Manufacturing Practices”) ile ilgili olarak, cihazların bulaşmaları en az yapacak şekilde tasarlanması, üretilmesi ve bakımının yapılması (GMP 3.2); tesiste insan akışının düzenlenmesi (GMP 4.8); tesis ve cihazların kullanım öncesi temizliğinin yapılması ve kayıt altına alınması (GMP 4.9 ve GMP 4.10); tesis ve cihazların yaptırılması/satın alınması, üretilmesinden kullanımına kadar görev alacak tüm personelin gıda güvenliği ile hijyenik tasarım konularında eğitilmesi (GMP 7.2 ve GMP 7.3); pest (zararlı) kontrolü (GMP 13); taşıma (GMP 15.2) gibi alt başlıklardan oluşmaktadır.

#### 4.2. GFSI 2020 JII Hijyenik Tasarım Başlığı

GFSI 2020 JII altı sayfa ve üç bölümden oluşmaktadır. Tam olarak yayın başlığı aşağıdaki şekildedir (Şekil 9):

“Kısım III - Standartların İçeriğine İlişkin Gereklilikler, JII Gıda Tesisleri ve İşleme Cihazlarının Hijyenik Tasarımı (bina ve cihaz kullanıcıları için)”



Şekil 9. JII Gıda tesisleri ve işleme cihazlarının hijyenik tasarımı (bina ve cihaz kullanıcıları için).

#### 4.2.1. Bölüm 1: Tehlike ve Risk Yönetimi Sistem Gereksinimleri

Tehlike Analizleri ve Kritik Kontrol Noktaları kapsamında dokuz alt başlıktan oluşmaktadır. JI başlığında olduğu gibi yetkin çok disiplinli takımın kurulması ilk madde olarak yer almaktadır (HACCP 1.5). Tesis ve cihazların hijyenik tasarımı tüm ömürleri göz önüne alınarak değerlendirilmesi



gerekmektedir (HACCP 1.6). Bina ve cihazlar için en başta risk değerlendirmesi yapılmalı, kullanım amaçları tam olarak tanımlanmalıdır (HACCP 1.7, 1.8, 1.9.2). Binanın ve cihazların yapımı, devreye alınması, bakımı sırasında tanımlanmış risk yönetimine uygun olarak hijyenik tasarım ilkelerinin uygulaması yapılmalıdır (HACCP 1.10, 1.15, 1.16). Tüm önlemlere rağmen tesisin ve cihazların yapımı ve devreye alınması sırasında oluşabilecek gıda güvenliği risklerinin tanımlanması ve bunlarla ilgili uygun tedbirler alınmış olmalıdır (HACCP 1.17).

#### 4.2.2. Bölüm 2: Hijyenik Tasarım Yönetimi Sistem Gereksinimleri

Satın alma tedarik aşamasında ve zaman içinde değişiklikler yapıldığında hijyenik tasarım özelliklerinin karşılanması ile ilgili prosedür kurulacak, uygulanacak ve iyileştirmeler yapılması gerektiği iki alt başlık ile tanımlanmaktadır (FSM 13.1.4 ve 26).

#### 4.2.3. Bölüm 3: İyi Üretim Uygulamaları Gereksinimleri

Tesis ve cihaz devreye alındıktan sonra temizliklerinin yapılması ve bunlarla ilgili kayıtların tutulması gerektiği; kullanıcılara hijyenik tasarım eğitimi verilmesi iki alt başlık ile tanımlanmaktadır (GMP 4.11, 7.2)

### 5. SONUÇ

Bir gıda üretim tesisi ve gıda işleme cihazlarının yapımı sırasında gıda güvenliği ilkeleri sınırlı olarak dikkate alınmaktadır. Genelde tesis devreye alındıktan ve üretim yapılmaya başlanması ile firmanın gıda güvenliği ekibi devreye girmektedir. O güne kadar yapılan yatırım ile ilgili asıl sıkıntı gıda güvenliği standartları denetimine hazırlık sırasında ortaya çıkmaktadır. Ancak bu aşamada inşa edilen bina ve satın alınan cihazlar için yapılabilecek müdahale imkânı sınırlı kalmaktadır. Bu kapsamda üretim alanına giriş-çıkış; soyunma odaları, tuvaletler, giderler, havalandırma vb. alt yapı gereksinimleri için tadilatlar, ilk yapılmasına göre daha maliyetli ve zorunlu olarak yapılmaktadır. Satın alınan ve monte edilen cihazlar ile ilgili gereksinimlerin karşılanması ise daha zor olmaktadır. Sonuç olarak çözüm üretilmeye çalışılsa da gıda üretimi yapan tesis açısından, gıda güvenliği kapsamında alınabilecek tüm önlemlerin yerine getirilmesi mümkün olamamaktadır. Bunun sonucunda ortaya çıkan risk tüm paydaşların hanesine yazılmaktadır.

Önümüzdeki yıllarda GFSI onaylı sertifikaları yenilemek durumunda olan ya da yeni tesis kuracak gıda üreticisi firmaların, özellikle hijyenik tasarım gereksinimleri konusuna bugünden hazırlık yapmalarında fayda bulunmaktadır. Bu konuda yol gösterecek en yetkin kaynak, Avrupa Hijyenik Tasarım ve Mühendislik Grubu (EHEDG) kılavuzları ve eğitimleridir.

### 6. KAYNAKLAR

- [1] GFSI, Global Food Safety Initiative, <https://mygfsi.com/>, 2023.
- [2] GFSI, “GFSI Raises the Bar for Food Safety, Releases All-new GFSI Benchmarking Requirements”, GFSI Raises the Bar for Food Safety, Releases All-new GFSI Benchmarking Requirements - MyGFSI, 2020.
- [3] GFSI, “GFSI-Benchmarking-Requirements-v2020.1-3”, <https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2020/02/GFSI-Benchmarking-Requirements-v2020.1-3.zip>
- [4] GFSI, “GFSI Benchmarking Requirements: What’s Changing in Version 2020?”, <https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2020/02/GFSI-One-pager-Benchmarking-Requirements-v2020-vWeb-1.pdf>
- [5] EHEDG, “Hygienic Design Principles”, EHEDG Guidelines No: 8, Third Edition, 2018.
- [6] EHEDG, “Welding Stainless Steel to Meet Hygienic Requirements”, EHEDG Guidelines No: 9, First Edition, 1993.

- [7] EHEDG, “Hygienic Welding of Stainless Steel Tubing in the Food Processing Industry, EHEDG Guidelines No: 35 First Edition, July 2006.
- [8] EHEDG, “İleri Hijyenik Tasarım Eğitim Notları”, 2023.
- [9] HOLAH, J., “Hygiene in Food Processing and Manufacturing”, Chapter 24, 623-659, in Food Safety Management-A Practical Guide for the Food Industry, Eds. Y. Motarjemi and H. Lelieveld, Academic Press-Elsevier, 1192p, 2013.
- [10] EHEDG, “Building and Process Layout”, Training Material, 2014.
- [11] LELIEVELD, H., “Site Selection, Site Layout, Building Design”, Chapter 25, 661-672, in Food Safety Management-A Practical Guide for the Food Industry, Eds. Y. Motarjemi and H. Lelieveld, Academic Press-Elsevier, 1192p, 2013.
- [12] DEVRES, Y. O., “Avrupa Hijyenik Mühendislik ve Tasarım Grubu (EHEDG) Yaklaşımı ile Gıda Üretiminde Hijyenik Tasarım Kriterleri”, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu Bildirisi, 8-11 Nisan 2015, İzmir, s.753-764.
- [13] TORONTO STAR, “Listeriosis Victims Finally Receive Cheques from Maple Leaf Foods Settlement”  
[https://www.thestar.com/news/canada/2012/02/09/listeriosis\\_victims\\_finally\\_receive\\_cheques\\_from\\_maple\\_leaf\\_foods\\_settlement.html](https://www.thestar.com/news/canada/2012/02/09/listeriosis_victims_finally_receive_cheques_from_maple_leaf_foods_settlement.html), 2012.
- [14] EFSA, “Rapid Outbreak Assessment: Multi-country Salmonella Outbreak Linked to Chocolate Products”, <https://www.efsa.europa.eu/en/news/rapid-outbreak-assessment-multi-country-salmonella-outbreak-linked-chocolate-products>, 2022.
- [15] FAO, Codex Alimentarius, <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>, 2023.
- [16] FAO, General Principles of Food Hygiene, CXC 1-1969, [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC\\_001e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B1-1969%252FCXC_001e.pdf), 2023.
- [17] TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, “Kodeks Alimentarius Komisyonu”, [https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB\\_Gida\\_Isletmeleri/kodeks\\_alimentarius\\_komisyonu.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Gida_Isletmeleri/kodeks_alimentarius_komisyonu.pdf), 2023.
- [18] TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, “5996 Sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu”, 27610 Sayı ve 13 Haziran 2010 tarihli Resmi Gazete, <https://istanbul.tarimorman.gov.tr/Belgeler/SolMenu/RESMIGAZETE2018/5996SAYILIKANUN.pdf>, 2010.
- [19] VAZGEÇER, B., “Türk Gıda Kodeksi”, 8. Tarım Gıda ve Soğuk Zincir Lojistiği Sempozyumu, Mersin Ticaret ve Sanayi Odası, <https://www.mtso.org.tr/uploads/library/2018/03/dr-betul-vazgecer-turk-gida-kodeksi-F6LI.pdf>, 2018.
- [20] TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, “Türk Gıda Kodeksi Yönetmeliği”, 28157 Sayı ve 29 Aralık 2011 tarihli Resmi Gazete, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-5.htm>, 2011.
- [21] TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI, Türk Gıda Kodeksi Mevzuatı Listesi, [https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Mevzuat/TGK\\_MevzuatListesi.docx](https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Mevzuat/TGK_MevzuatListesi.docx), 2023.
- [22] EUROPEAN COMMUNITY, Regulation (EC) No 178/2002, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=EN>, 2002.
- [23] EUROPEAN COMMUNITY, White Paper on Food Safety, [https://food.ec.europa.eu/system/files/2018-09/gfl\\_white-paper\\_food-safety\\_2000\\_en.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2018-09/gfl_white-paper_food-safety_2000_en.pdf), 2000.
- [24] FDA, “Food Safety Modernization Act (FSMA)”, <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma>, 2022.
- [25] SCHMIDT, R. H., D. L. ARCHER, AND M. T. OLEXA, “Federal Regulation of the Food Industry—Part 1: The Regulatory Process”, <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/fs118>, 2019.
- [26] SCHMIDT, R. H., D. L. ARCHER, AND M. T. OLEXA, “Federal Regulation of the Food Industry—Part 2: Federal Regulatory Agencies”, <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/fs121>, 2019.
- [27] BAKER-MCKENZİE, “China Food product and safety regulation”, <https://resourcehub.bakermckenzie.com/en/resources/asia-pacific-food-law-guide/asia-pacific/china/topics/food-product-and-safety-regulation>, 2023.
- [28] BAKER-MCKENZİE, “Japan Food Product and Safety Regulation”, <https://resourcehub.bakermckenzie.com/en/resources/asia-pacific-food-law-guide/asia-pacific/japan/topics/food-product-and-safety-regulation>, 2023.
- [29] EUROPEAN STANDARDS, <https://www.cencenelec.eu/>, 2023.
- [30] ETSI, <https://www.etsi.org/about>, 2023.

- [31] TSE, TS EN 1672-2,  
<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073086080109074100115043116105115080>, 2023.
- [32] ISO, <https://www.iso.org/home.html>, 2023.
- [33] IEC, <https://iec.ch/homepage>, 2023.
- [34] TSE, TSE'nin Kuruluşu, <https://www.tse.org.tr/Hakkimizda>, 2023.
- [35] CNIS, <https://en.cnis.ac.cn/>, 2023.
- [36] JISC, <https://www.jisc.go.jp/eng/>, 2023.
- [37] METI, <https://www.meti.go.jp/english/>, 2023.
- [38] CGF, <https://www.theconsumergoodsforum.com/>, 2023.
- [39] GFSI, <https://mygfsi.com/>, 2023.
- [40] GFSI, Ref: <https://mygfsi.com/who-we-are/governance>, 2023.
- [41] GFSI, <https://mygfsi.com/how-to-implement/recognition/certification-programme-owners>, 2023.
- [42] EHEDG, <https://www.ehedg.org/>, 2023.
- [43] EHEDG, <https://www.ehedg.org/guidelines-working-groups/guidelines/guidelines>, 2023.
- [44] 3-A, <https://www.3-a.org/standards>, 2023.
- [45] BRC, <https://brfoodsafety.com/>, 2023.
- [46] LGC Group, <https://www.lgcgroup.com/newsroom-and-blog/news-and-blog/lgc-acquires-brc-global-standards/>, 2023.
- [47] BRCGS, <https://www.brcgs.com/>, 2023.
- [48] FSSC 22000, <https://www.fssc.com/schemes/fssc-22000/>, 2023.
- [49] SQF, <https://www.sqfi.com/>, 2023.
- [50] IFS, <https://www.ifs-certification.com/index.php/en/>, 2023.
- [51] FDA, <https://www.fda.gov/>, 2023.
- [52] FDA, <https://www.fda.gov/consumers/consumer-updates/it-really-fda-approved>, 2023.
- [53] USDA, <https://www.usda.gov/>, 2023.
- [54] FSIS, <https://www.fsis.usda.gov/>, 2023.
- [55] USDA, Organic Foods, <https://www.ams.usda.gov/rules-regulations/organic>, 2023.
- [56] USDA, US Codex Office, <https://www.usda.gov/codex>, 2023.
- [57] USDA, Vendor Qualification Check List,  
<https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/NewVendorQualificationChecklist.pdf>, 2023.
- [58] USDA, Vendor Requirements,  
[https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/USDA%20UFV%20Pilot\\_National%20Vendor%20App%20Graph.pdf](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/USDA%20UFV%20Pilot_National%20Vendor%20App%20Graph.pdf), 2023.
- [59] NSF, <https://www.nsf.org/>, 2023.
- [60] WHITWORTH, J.J., EHEDG Congress Highlights,  
<https://www.foodnavigator.com/Article/2016/11/24/EHEDG-congress-highlights-From-design-to-GFSI-partnership>, 2023.
- [61] EHEDG, Announcement – New GFSI Working Group on Hygienic Design of Food Facilities and Equipment,  
[https://www.ehedg.org/fileadmin/user\\_upload/171220\\_Announcement\\_GFSI\\_Technical\\_Working\\_Group.pdf](https://www.ehedg.org/fileadmin/user_upload/171220_Announcement_GFSI_Technical_Working_Group.pdf), 2018.
- [62] GFSI, Built-in Hygiene From Farm to Fork: An Update from the GFSI Technical Working Group on Hygienic Design, [https://mygfsi.com/news\\_updates/built-in-hygiene-from-farm-to-fork-an-update-from-the-gfsi-technical-working-group-on-hygienic-design/](https://mygfsi.com/news_updates/built-in-hygiene-from-farm-to-fork-an-update-from-the-gfsi-technical-working-group-on-hygienic-design/), 2019.
- [63] GFSI, GFSI Raises the Bar for Food Safety, Releases All-new GFSI Benchmarking Requirements,  
[https://mygfsi.com/press\\_releases/gfsi-raises-the-bar-for-food-safety-releases-all-new-gfsi-benchmarking-requirements](https://mygfsi.com/press_releases/gfsi-raises-the-bar-for-food-safety-releases-all-new-gfsi-benchmarking-requirements), 2020.
- [64] GFSI, Technical Equivalence Requirements Version 2020, [https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2020/03/Technical\\_Equivalence\\_v2020.zip](https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2020/03/Technical_Equivalence_v2020.zip), 2020.



## ÖZGEÇMİŞ

### Y. Onur DEVRES

Y. Onur Devres, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1983 yılında mezun olmuştur. Prof. Dr. Macit Toksoy yönetiminde tamamladığı "Pasif güneş enerjisi sistemlerin modellenmesi üzerine deneysel bir çalışma" Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi tarafından bitirme ödevleri arasında düzenlenen yarışmada ikincilikle ödüllendirilmiştir. 1985 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği, Enerji Ana Bilim Dalı'nda Prof. Dr. Macit Toksoy yönetiminde "Trombe duvarında tek boyutlu, zamana bağlı, homojen olmayan ısı iletimi probleminin integral transform tekniği kullanılarak çözümü" tezi ile yüksek mühendis unvanını kazanmıştır. 1985-1994 yılları arasında TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gıda ve Soğutma Teknolojileri Bölümü'nde uzman olarak çalışmıştır. 1990 yılında Yıldız Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Doğan Özgür yönetiminde "Dondurulmuş gıdaların çözündürme işlemlerinin modellenmesi ve çözündürme kayıplarının azaltılması" ile doktora çalışmasını tamamlamıştır. 1992 yılında Makina Mühendisliği, Termodinamik Ana Bilim Dalı, Isı ve Kütle Transferi ve Uygulamaları Bilim Dalı'nda Doçent olmuştur. Mart 1994'de İTÜ Gıda Mühendisliği Bölümü'ne öğretim üyesi olarak katılmış, 1998 yılında Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gıda Teknolojisi Bilim Dalı'nda Profesör unvanına hak kazanmıştır. 2006-2009 yılları arasında İTÜ Gıda Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmıştır. İTÜ Bilişim ile İTÜ Enerji Enstitülerinde akademik ve idari görevler almıştır. İTÜ Sosyal Tesisleri Kurucu Başkanı olup, İTÜ Gıda Hizmetleri Koordinatörü ve İTÜ Rektörlüğü Sağlık, Sosyal, Kültür Daire Başkanlığı Satınalma Komisyonu Başkanı gibi idari görevlerde bulunmuştur. Temmuz 2011'de İTÜ'den ayrılarak Devres Teknoloji Ltd. Şti.'ni kurmuştur. Gıda ve makine mühendisliklerinin kesişme noktalarında çalışmalarını sürdürmektedir. Avrupa Hijyenik Mühendislik ve Tasarım Grubu (EHEDG)'yi Türkiye'de temsil etmektedir. EHEDG üyesi ve yetkili eğiticisidir.

# TS 825 STANDARDININ GÜNCELLEME ÇALIŞMALARI

*Revision Studies of TS 825 Standard*

**Timur Diz**  
**Beyza Tanyol**  
**Yiğit Kaan Aktaş**

## ÖZET

Bu çalışmada, yürürlükte olan TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı ile standardın yeni taslağı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada hesap metodolojinin genel mantığı, meteorolojik veriler ve temel parametrelere dair hesaplamalardaki farklıklar üzerinde durulmuştur. Yapılan karşılaştırmanın ardından İzmir'de yer alan bir örnek bina her iki yöntemle göre hesaplanmıştır. Bu hesap sonuçlarına bağlı olarak, ülkemizde binaların mevcut TS 825 standardında olduğu gibi sadece net ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerinden tasarlanmasının sürdürülebilir bir yaklaşım olmadığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** TS 825, Isı yalıtımı, Isıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı, Binalarda enerji verimliliği

## ABSTRACT

In this study, the current TS 825:2008 Rules on Thermal Insulation in Buildings Standard and its new draft version have been compared. The comparisons are made on the general logic of the calculation methodology, the meteorological data and the differences in the calculation methods of the basic parameters. After the comparison, a sample building in İzmir was calculated according to both methods. The results of these calculations show that designing buildings only by limiting its net heating energy demand, as in the current TS 825 standard, is not sustainable approach.

**Key Words:** TS 825; Thermal Insulation, Energy demand on heating and cooling, Energy efficiency in buildings.

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş/gelişmekte olan ülkelerin ekonomi politikaları göz önüne alındığında en büyük yatırımları enerji verimliliği üzerine yapmışlardır. Enerji verimliliğini artırabilmenin ilk adımı enerji kullanım seviyesini ve amacını doğru analiz etmektir. Binalarda enerji tüketimindeki en önemli pay; ısıtma ve soğutmaya amaçlıdır. Bu nedenle tasarım standartlarında ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin değerlendirilmesine yönelik unsurların yer alması gereklidir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemek amacıyla kullanılan bir standarttır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında ülkemiz 4 mevsimi yaşayan bir coğrafyada olmasına rağmen sadece ısıtma için tüketilen net enerji miktarına yönelik sınırlamalar getirilmektedir. Örneğin Antalya'daki bir konut ısıtma ihtiyacı dikkate alınarak ısı yalıtım projesi hazırlanmaktadır.

Ülkemizde Yüksek Planlama Kurulu tarafından 25 Şubat 2012 tarih ve 28215 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023” ile 2023 yılında Türkiye’nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için bina sektörüne özel olarak tanımlanan eylemlerden bir tanesi de aşağıda verilen “Binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesi” eylemidir (SA-02/SH-01/E-01). Bu eyleme dair yapılan açıklamada TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardının ve yürürlükteki mevzuatın, 36 ay içerisinde AB uygulamaları dikkate alınarak revize edilmesi ile ilgili bir stratejik eylem planlanmıştır. Planlanan bu stratejik eylemin en geç 2015 yılında tamamlanması gerekirken çalışmalara ancak 2019 yılında başlanabilmektedir.

2019 yılının sonlarında başlatılan revizyon çalışmalarında TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına soğutma ihtiyacının tayinine yönelik metodolojinin ilave edilmesi ve enerji limitlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla TSE tarafından; T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın başkanlığında Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı (EVÇED), Makine Mühendisleri Odası ve İZODER’in de içerisinde yer aldığı malzeme üreticilerini temsil eden STK’ların temsilcilerinden oluşan revizyon komitesi kurulmuştur. Revizyon komitesi tarafından yürütülen çalışmaların neticesinde standarda soğutma ihtiyacının hesaplanmasına yönelik ilaveler yapılmış, böylelikle dört mevsimi yaşayan ülkemizin soğuk bölgelerimizde ısıtma ihtiyacına, sıcak bölgelerinde ise soğutma ihtiyacına göre tasarım yapılmasına imkân sağlanmıştır. Standartta yapılan değişikliklerin neticesinde hem ısıtma hem de soğutmayı ele alacak yeni metodolojiye göre yeni enerji limitleri yeniden tayin edilmiştir. Hazırlanan standart tasarısı, 13 Aralık 2022 tarihinde Komite Başkanı tarafından TSE’ye mütalaa sunulmak üzere teslim edilmiştir.

Bu çalışmada 2023 yılında çıkması beklenen TS 825 standart tasarısı ile mevcut yürürlükte olan TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı karşılaştırılarak, iki yöntem arasındaki önemli farklılıklar ortaya konulmuştur. Ayrıca bir örnek bina için iki yönteme göre hesaplama yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. TEMEL PRENSİP

TS 825 standardında yapılan güncellemeler ile net ısıtma enerjisi ihtiyacının yanı sıra net soğutma enerjisi ihtiyacı da ele alınmaktadır. Binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji ihtiyaçlarının hesaplanmasında, TS EN ISO 52016-1 standardında tanımlanan aylık hesaplama metodu esas alınmıştır. Bu metotla; projelendirilen binanın yıllık net ısıtma ihtiyacı ve yıllık net soğutma enerjisi ihtiyacı ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler toplanarak yıllık net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı bulunup, ele alınan binanın kullanım alanına (şartlandırılan alan) bölünerek birim kullanım alanı başına yıllık net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı hesaplanmaktadır. Birim kullanım alanı başına hesaplanan yıllık net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı; standart taslağında bina türlerine göre verilen sınır değerleri (enerji limitleri) ile karşılaştırılarak projenin uygun olup olmadığı değerlendirilmektedir.

Bir binada ısıtma periyodunda meydana gelen ısı kayıplarının bir kısmı iç ısı kaynaklarından ve güneş enerjisinden karşılanır. İç ortamda belli bir iç sıcaklığı ( $\theta_i$ ) sağlamak için gereken ısı enerjisinin kalan miktarının ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç ısı kazançları çıkartılarak hesaplanır. Aynı binada soğutma periyodunda iç ortamın belli bir iç sıcaklıkta ( $\theta_i$ ) tutulmasını sağlamak için; iletim ve taşınım ile içeri giren ısı miktarı ve iç ısı kaynaklarından ile güneş enerjisinden sağlanan istenmeyen ısı kazançlarının bir soğutma sistemi tarafından dış ortama atılması gereklidir. Yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı; tüm bu ısı kazançlarının toplanmasıyla elde edilmektedir.

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları, aylık ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısı performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, önerdiği mimari tasarımın güneş enerjisinden faydalanma oranını değerlendirme imkânı sağlayacaktır.

Standartta ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının, sistemlerin sınırsız gücü ile karşılandığı kabulüyle hesaplamalar yapılmaktadır. Temel enerji ihtiyaçlarının, standart iç ortam koşullarının uygun kapasitede ısıtma ve/veya soğutma sistemi ile sağlandığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla yeni standartta belirli bir bina mekanik sistem seçiminin etkisi olmadan, ısıtma ve soğutma amaçlı aylık enerji ihtiyaçları ele alınmaktadır. Aktif ön ısıtma veya ön soğutma ve taze hava ihtiyacı gibi ilave enerji tüketimleri bu yöntemde dahil olmayıp net ısıtma ve net soğutma enerjisi ihtiyaçlarına dahil edilmemiştir. Bir binada ısıtma veya soğutma sistemi olmasa dahi bu standarda göre net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları hesaplanarak binanın ısı yalıtımı projesi yapılması gereklidir.

Hesap metodunda şartlandırılan ortamın sınırları, bu ortamı dış ortamdaki ve eğer varsa şartlandırılmayan ortamlardan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı pencere vb. opak ve saydam yüzeylerden oluşur. Hesaplamalarda bu yapı elemanlarının dıştan dışa ölçüleri kullanılır.

Eğer binanın tamamı aynı iç ortam sıcaklığında kadar ısıtılıyor veya soğutuluyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K 'den fazla değil ise, ısıtma ve soğutma periyodları için binanın tamamı için ayrı ayrı birer ortalama bir iç sıcaklık değeri alınarak (tek hacimli bina / tek zonlu bina) ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı hesaplanmaktadır. Binadaki farklı amaçlar için kullanılan birimler içerisinde sıcaklık farkı 4 K'den büyük ortamlar mevcut ise binanın mahallerindeki farklı ısıtma ve soğutma bölgelerinin sınırları belirlenmelidir. Tek hacimli bina için verilen hesap metodu, farklı sıcaklıktaki her bina bölümü için ayrı ayrı uygulanmalı ve her bina hacmi (zon) için hesaplanan net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı toplanmalıdır.

### 3. FARKLILIKLAR

TS 825 standardındaki yapılması düşünülen en köklü değişiklik; net ısıtma enerjisi ihtiyacının yanı sıra net soğutma enerjisi ihtiyacına yönelik hesaplama esaslarının standarda ilave edilmesidir. Temel olarak net ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerinden standardın 2008 versiyonu ile yeni taslak mukayese edildiğinde temel mantığın aynı olduğu ve toplam kayıplardan, kazanç kullanım oranına bağlı olarak faydaya dönüşen ısı kazançlarının çıkarılmasına dayandığı söylenebilir.

Net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacını oluşturan temel parametreler aşağıda listelenmiştir;

1. İletimle ve taşınım ile transfer olan ısı miktarı,
2. Havalandırma ile olan ısı kayıp/kazançları
3. İç ısı kazançları
4. Güneş enerjisi kazançları

Bu çalışmada yukarıda anılan temel parametreler özelinde standardın 2008 yılı versiyonu ile yeni taslak arasındaki farklılıklar izah edilmeye çalışılmıştır.

#### 3.1. İletimle ve Taşınım ile Transfer Olan Isı Miktarı,

İletim ve taşınım ile transfer olan ısı miktarı; binayı oluşturan her bir yapı elemanının alanı (A) ve ısı geçirgenlik (U) değerine, detaylarda meydana gelen ısı köprülerine ve iç ortam tasarım sıcaklığı ( $\theta_i$ ) ile dış ortam sıcaklığı ( $\theta_e$ ) arasındaki farka bağlıdır. Yapı elemanlarının alanları temel proje verileri olup hesaplama yönteminden bağımsız olarak binanın büyüklüğüne bağlıdır. Yapı elemanlarının ısı geçirgenlik değerleri ise yapı elemanının teşkil edildiği yapı ve yalıtım malzemelerinin cinsine ve kalınlığına göre değişmektedir.

##### 3.1.1. Düzeltme/Dağıtım Faktörü

Dış ortam ile temas eden yapı elemanları, gerek standardın 2008 yılı versiyonunda gerekse de yeni hazırlanan standart taslağında aynı şekilde TS EN ISO 6946 standardına uygun olarak hesaplanmaktadır. Ancak toprak veya ısıtılmayan ortamlar ile temas eden yapı elemanları için ısı

geçirgenlik değerleri standardın yeni taslağında farklı şekilde ele alınmaktadır. TS 825 standardının 2008 yılı versiyonunda tüm yapı elemanları dış ortam ile temas ediyormuş gibi hesaplanır, dış ortamla temas etmeyen yapı elemanları için düzeltme faktörleri kullanılmaktadır. Örneğin çatı arası kullanılmayan bir çatı döşemesinin ısı geçirgenliği hesaplanırken, yapı elemanı teras çatı gibi doğrudan dışa temas ediyormuş gibi hesaplanır ve özgül ısı kaybı hesabına düzeltme faktörü olarak 0,8 ile çarpılarak eklenirdi. Bir başka deyişle çatı arası kullanılmayan bir çatı döşemesinden olan ısı kaybının, teras çatıdan olan kaybın %80'i olduğu varsayıldı. Benzer yaklaşım toprağa veya düşük sıcaklıklı ortama temas eden temas eden yapı elemanları için de sergilenmekte ve düzeltme faktörü olarak 0,5 değeri kullanılmaktadır.

$$\Sigma AU = U_{DAD} + U_p.A_p + U_k.A_k + 0.8 U_T.A_T + 0.5 U_tA_t + U_{dAd} + 0.5U_{dsAds} \quad (1)$$

Bu formülde “D” dış duvarı, “P” pencereyi, “k” kapıyı, “T” tavanı, “t” zemine oturan tabanın/döşemeyi, “d” dış hava ile temas eden tabanı/çıkmaı, “ds” indisi ise düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarını temsil etmektedir.

Standardın 2023 yılında yürürlüğe girmesi muhtemelen yeni taslağında ise sadece düşük sıcaklıklı ortama temas eden yapı elemanları için düzeltme faktörü uygulaması vardır. Ancak düşük sıcaklıklı ortama temas eden yapı elemanları için düzeltme faktörü “b” sabit olarak kabul edilmeyip hesaplanmaktadır. Toprak temaslı yapı elemanları için U değeri TS EN 13370 standardına göre tamamen farklı bir yöntem ile tayin edilmekte ve herhangi bir düzeltme faktörü kullanılmamaktadır.

### 3.1.2. Sıcaklık Verileri ve Derece Gün Bölgeleri

Yürürlükte olan standardın 2008 yılı versiyonu sadece net ısıtma enerjisi ihtiyacını ele aldığından iklim verileri belirli zaman aralığında (30 yıl gibi) ölçülen en düşük sıcaklıklara esas alınarak belirlenmiştir. Örneğin İstanbul için tanımlanmış en yüksek dış ortam sıcaklığı temmuz ayı için 24,9°C'dir. Dolayısıyla TS 825 standardının mevcut halindeki veriler soğutma yükü hesaplamak için uygun değildir. Bu sebeple standardın son taslağında meteorolojik sıcaklık verileri yeniden değerlendirilmiştir. Meteorolojik verilerin Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nca işletilen BEP-TR yazılımında kullanılan 30 yıllık veriler esas alınarak tekrar belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklıklar; tipik meteorolojik yıl (TMY) yöntemi ile belirlenmiş saatlik sıcaklık değerleri üzerinden yaz ayları için en yüksek %5'lik (k=%95) dilimine giren, kış ayları için ise en düşük %25'lik dilime giren sıcaklıkların ortalaması esas alınarak belirlenmiştir. Geçiş aylarında ise %50'lik dilime giren sıcaklıklar yani ortalama sıcaklıklar esas alınmıştır. Bazı iller için standardın iki versiyonunda ele alınan dış hava sıcaklıkları aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Standardın iki versiyonuna göre bazı iller için dış ortam sıcaklıkları.

İller	İzmir		İstanbul		Ankara		Erzurum	
	TS 825: 2008	TS 825 :2023*	TS 825: 2008	TS 825: 2023*	TS 825: 2008	TS 825: 2023*	TS 825: 2008	TS 825: 2023*
OCAK	8,4	4,00	2,9	1,00	-0,3	-3,0	-5,4	-16,00
ŞUBAT	9,0	4,40	4,4	1,30	0,1	-2,7	-4,7	-15,35
MART	11,6	6,30	7,3	3,90	4,1	0,4	0,3	-9,70
NİSAN	15,8	11,25	12,8	9,7	10,1	6,38	7,9	-1,00
MAYIS	21,2	19,40	18,0	15,40	14,4	14,0	12,8	5,00
HAZİRAN	26,3	35,41	22,5	28,20	18,5	18,7	17,3	13,00
TEMMUZ	28,7	35,79	24,9	32,0	21,7	28,40	21,4	17,55
AĞUSTOS	27,6	34,90	24,3	33,2	21,2	26,90	21,1	19,40
EYLÜL	23,5	32,41	19,9	18,70	17,2	17,2	16,5	14,00
EKİM	18,5	17,50	14,1	13,00	11,6	13,0	10,3	1,18
KASIM	13,0	10,10	8,5	4,80	5,6	-1,8	3,1	-11,85
ARALIK	9,3	4,88	3,8	1,28	1,3	-0,3	-2,8	-17,40

\*: Taslaktır



Standardın 2023 yılında yayımlanması beklenen versiyonunda toprakla temas eden yapı elemanları için yapılacak hesaplamalarda dış hava sıcaklığı ve düzeltme faktörü kullanılmayıp doğrudan toprak sıcaklığı kullanılmaktadır. Her iklim bölgesi için toprak sıcaklığı; bahse konu iklim bölgesindeki aylık dış hava sıcaklıklarının aritmetik ortalamasından bulunur. Hesaplamalarda dış hava sıcaklığı kullanılmadığından özgül ısı kaybı/kazancı hesapları toprağa temas eden ve etmeyen elemanlar için ayrı ayrı hesaplanır. Toprakla temas etmeyen elemanlar için hesaplanan özgül ısı kaybı/kazancı aylık dış ortam sıcaklığı ile tasarım iç ortam sıcaklığı arasındaki fark ile çarpılırken, toprak ile temas eden elemanlarda toprak sıcaklığı (yıllık ortalama dış sıcaklık) ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkı ile çarpılır.

Benzer şekilde TS 825 standardının 2008 versiyonunda sadece net ısıtma enerjisine göre hesap yapıldığından Türkiye ısıtma derece gün (HDD) değerleri esas alınarak 4 iklim bölgesine bölünürken, yeni taslakta hem ısıtma derece gün (HDD) değerleri hem de soğutma derece gün (CDD) değerleri dikkate alınarak 6 iklim bölgesi tanımlanmıştır. HDD ve CDD değerleri 1992 ila 2021 yılları arasındaki meteorolojik veriler dikkate alınarak tayin edilmiştir. Aşağıda iklim bölgesi ile ilgili sınır HDD ve CDD değerleri ile il sayıları ile bilgiler tablo halinde verilmiştir.

**Tablo 2.** Yeni standart tasarısındaki iklim bölgeleri ile ilgili bilgiler

Bölge	İklim sınıflandırması	HDD	CDD	İl Sayısı	Örnek İl	TS 825:2008 deki Bölge
1. Bölge	Aşırı sıcak	<1000	>500	3	Antalya	1
2. Bölge	Sıcak	1000-2000	≥500	14	İzmir	1
3. Bölge	Ilıman	<2000	< 500	16	İstanbul	2
4. Bölge	Soğuk	≥2000	< 500	34	Ankara	3
5. Bölge	Çok Soğuk	≥3000	< 500	9	Van	4
6. Bölge	Aşırı Soğuk	≥4000	< 500	4	Erzurum	4

Standardın 2008 yılı versiyonda bina türlerine göre iç ortam sıcaklıkları ( $\theta_i$ ) sadece kış koşulları dikkate alınarak belirlenirken, 2023 yılı versiyonunda ısıtma ve soğutma tasarım sıcaklıkları olmak üzere iki durum için iç ortam sıcaklıkları tanımlanmıştır. Kış tasarım sıcaklıkları dikkate alındığında müstakil konutlar, apartmanlar ve iş yerleri başta olmak üzere bazı bina türlerinde farklılıklar bulunmaktadır.

**Tablo 3.** Tasarım iç ortam sıcaklıkları

Şartlandırılacak binanın adı	TS 825: 2008	TS 825:2023	
	Kış tasarım sıcaklığı	Kış tasarım sıcaklığı	Yaz tasarım sıcaklığı
Müstakil konutlar,	19°C	20°C	26°C
Apartmanlar	19°C	20°C	26°C
Ofis, büro vb. iş yerleri	19°C	20°C	26°C
Eğitim ve Öğretim binaları	20°C	20°C	26°C
Hastaneler	22°C	22°C	26°C
Restoran ve lokantalar	20°C	20°C	26°C
Konaklama amaçlı binalar (Otel, Motel vb.)	20°C	20°C	26°C
Ticari binalar (AVM vb.)	19°C	20°C	26°C
İbadethaneler (Cami, Kiliseler vb.) ve Spor tesisleri	15°C	18°C	26°C
Toplanma amaçlı binalar (tiyatro, konser salonları)	20°C	20°C	26°C
Endüstriyel binalar (İmalathane ve Atölyeler)	16°C	18°C	26°C
Kışlalar	20°C	20°C	26°C
Ceza ve Tutuk Evleri	20°C	20°C	26°C
Müze ve Galeriler	20°C	20°C	26°C
Hava Limanları	20°C	20°C	26°C
Demiryolu Garları	15°C	18°C	26°C
Kapalı yüzme havuzları	26°C	28°C	28°C
Depolar	15°C	18°C	26°C

### 3.1.3. Isı Köprüleri

Standardın her iki versiyonunda da doğrusal ısı geçirgenlik değerleri ( $\psi$ ) ve noktasal ısı geçirgenlik değerleri ( $\chi$ ) TS EN ISO 14683'e uygun hazırlanan tablo veya kataloglardan alınarak veya TS EN ISO 10211'e göre sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanmaktadır.

TS 825 standardının 2023 yılındaki versiyonunda yapı elemanlarının dıştan dışa ölçüleri kullanıldığı için ana yalıtım katmanı sürekli ve üniform kalınlığa sahipse doğrusal ve noktasal ısı geçirgenlikler ihmal edilebilmektedir. Ana yalıtım katmanı, potansiyel ısı köprüsünü çevreleyen elemanlardan en yüksek ısı dirence sahip katman olarak ele alınmaktadır. Ayrıca doğrudan ısı geçirgenlik katsayısının;  $\psi_e < 0,1 \text{ W/m.K}$  olarak hesaplandığı ayrıntılı durumlarda, ısı köprülerinin etkisi ihmal edilebilir.

### 3.2. Havalandırma ile Transfer Olan Isı Miktarı,

TS 825 standardının yürürlükte olan 2008 yılı versiyonunda havalandırma ile olan kayıplar; doğal havalandırma ve mekanik havalandırma olmak üzere iki başlıkta ele alınmaktadır. Ancak 2023 yılında yayımlanması beklenen standart tasarısında ise mekanik havalandırma sistemi ile sağlanacak taze havanın şartlandırılması için harcanması gereken enerji miktarı kapsam dışı bırakıldığından dikkate alınmamaktadır. Yeni taslakta sadece doğal havalandırma ile ilgili unsurlar yer almaktadır.

TS 825 standardının yürürlükte olan 2008 yılı versiyonunda doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırılan birim hacim başına ( $V_h$ ) hava değişim sayısı " $n_h$ "  $0,8 \text{ (h}^{-1}\text{)}$  olarak alınmaktadır. Standardın yeni versiyonunda ise şartlandırılmış döşeme alanı başına, bina türlerine göre farklı hava değişim sayıları " $n_h$ " ( $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ) kullanılmaktadır.

### 3.3. Isı Kazançları

TS 825 standardının yürürlükte olan 2008 yılı versiyonunda iç ısı kazançları; konutlarda, okullarda ve normal donanımlı (büro binaları vb.) binalarda birim kullanım alanı başına en fazla  $5 \text{ W/m}^2$ ; yemek fabrikaları gibi pişirme işleminin ağırlıklı olduğu binalarda, normalin üstünde elektrikli cihaz çalıştırılan binalarda (aydınlatmanın sadece elektrikle sağlandığı binalar, tekstil atölyeleri, vb.) veya etrafa ısı veren sanayi cihazların kullanıldığı binalarda ise birim döşeme alanı başına en fazla  $10 \text{ W/m}^2$  alınarak hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kullanım alanı ( $A_n$ ) ampirik bir formülle brüt hacmin %32'si olarak alınmaktadır. Ancak 2023 yılında yayımlanması beklenen standart tasarısında iç ısı kazançları döşeme alanı başına, bina türlerine göre değişen parametrelerden tayin edilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan değişkenlerden birisi de günlük kullanım süresidir. Özetle bina türüne göre kabul edilen birim şartlandırılan alan başına iç ısı kazançları farklıdır. Örneğin müstakil konutlar için birim şartlandırılan alan başına iç ısı kazancı  $2,2 \text{ W/m}^2$ , apartmanlar için ise  $3,3 \text{ W/m}^2$ 'dir.

Güneş enerjisi kazançları TS 825 standardının yeni taslağında daha detaylı ele alınmaktadır. Öyle ki yürürlükte olan 2008 yılı versiyonunda aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri tüm Türkiye için hakim yönler esas alınarak tek değer üzerinden belirlenmektedir. Örneğin ocak ayında güney yönündeki güneş ışınımı şiddeti tüm Türkiye'de sabit olup  $72 \text{ W/m}^2$  alınmaktadır. Ayrıca ara yönlerin aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti değerleri olarak, hakim yönlerin değerleri, yatay camlamalarda ise Güney yönü için verilen değerler alınmaktadır. Yeni standart tasarısında ise aylık güneş ışınımı şiddeti değerleri iklim bölgelerine göre değişkenlik göstermekte, tüm arayönler ve yatay düzlem de dahil olmak üzere tüm yönler için ayrı ayrı verilmektedir. Örneğin İzmir'de güney yönündeki güneş ışınımı şiddeti  $133,3 \text{ W/m}^2$ , İstanbul'da ise  $83,9 \text{ W/m}^2$  alınmaktadır. Ayrıca yeni hesaplama yönteminde camın güneş geçirgenliği ( $g$ ) değeri daha detaylı ele alınmaktadır.

### 3.4. İç Isı Kapasitesi

TS 825 standardının yeni taslağında tasarlanan binanın etkin iç ısı kapasitesi hesaplamalarda ele alınmaktadır. Bir binanın etkin iç ısı kapasitesi, yapı elemanlarının iç ısı kapasitelerine dayanarak belirlenir. Isıl olarak şartlandırılmış bir binanın etkin iç ısı kapasitesi,  $C_{m,int;eff,ztc}$ , (J/K) iç havayla doğrudan ısı temas halindeki ısı transferinin gerçekleştiği bütün (dış ve şartlandırılmayan ortama bitişik) yapı elemanlarının ısı kapasitelerinin toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu sebeple gerekli

hesaplamaların yapılabilmesi için yapı malzemelerinin birim alan kütleleri ve özgül ısı değerleri, malzemelerin termo-fiziksel özelliklerinin verildiği Ek E'ye ilave edilmiştir. Standart taslağında ayrıca hesaplamaları kolaylaştırmak için yapı sınıfları için varsayılan değerler tanımlanmaktadır.

### 3.5. U Değerleri ve Enerji Limitleri

Mevzuatları dikkate aldığımızda AB'de binalarda enerji verimliliğinin iyileştirilerek karbon salımlarının ve iklim değişikliğine olan etkilerinin azaltılması amacıyla 2002 yılında 2002/91/EC sayılı Binalarda enerji performansı direktif yayımlanmıştır. Türkiye'de 2002/91/EC sayılı direktif Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin yayımlanmasıyla 05 Aralık 2008 tarihinde uyumlaştırılmıştır. Bu yönetmelikle 01 Ocak 2011'den itibaren yeni binaların Enerji Kimlik Belgesi alması zorunlu hale getirilmiştir. 2008 yılı referans alındığında enerji limitleri aynı olmamakla birlikte Türkiye ve AB'nin aynı yasal altyapıyı hayata geçirdiğini ifade edebiliriz.

2002/91/EC sayılı direktif, AB Komisyonunca; enerji performans gerekliliklerinin güçlendirilmesi ve direktifte yer alan bazı hükümlerin açıklığa kavuşturulması amacıyla 19 Mayıs 2010 tarihinde revize edilmiş ve 2010/31/EU sayılı direktif yayımlanmıştır. 2010/31/EU sayılı direktif ile yapılan değişiklikle ülkelerden oluşturulan metodoloji çerçevesinde maliyet etkin minimum enerji performans gerekliliklerini tanımlamaları istenmiştir. Ayrıca bu Direktifin 9. Maddesi üye ülkelerden;

- 31 Aralık 2020'den itibaren tüm yeni binaların,
- 31 Aralık 2018'den itibaren tüm yeni kamu binalarının neredeyse sıfır enerjili bina olarak inşa edilmelerini teminat altına almalarını talep etmektedir.

Buna karşılık Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği 19 Şubat 2022 tarihinde revize edildi. Yapılan değişiklikle tüm binalar için olmasa da Neredeyse Sıfır Enerji Binalar ile ilgili tanımlamalar mevzuat sistemimize eklenmiş oldu. Bakanlığımız 1 Ocak 2023'ten itibaren, bir parseldeki toplam inşaat alanı 5 bin metrekareden büyük olan tüm binaların enerji performans sınıfının en az 'B' olacak şekilde inşa edilmesini ve kullanılacak enerjinin en az yüzde 5'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını zorunlu hale getirdi.

Halen "C" olan asgari enerji performansının "B" sınıfına çıkarılması, enerji verimliliğinde en az %20 iyileşme anlamına gelmektedir. Öte yandan enerjide dışa bağımlılığımızı azaltmak için tüm binaları kapsayan ve enerji verimliliğinde %20'den çok daha fazla iyileştirme hedefleyen düzenlemelere ihtiyacımız olduğunu söylemeliyiz. Yönetmelik revizyonu ile 2010/31/EU sayılı Binalarda Enerji Performansı direktifinin sadece NSEB tanımı ile ilgili kısmını hayata geçirdiğimizi unutmamalıyız. Halen direktifte yer alan maliyet etkin minimum performans gerekliliklerinin belirlenmesi vb. hususlar hayata geçirilmemiştir. Bu noktada Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının başkanlığındaki komisyonca yürütülmekte olan TS 825 Revizyon çalışmalarının önemi büyüktür. Birçok gelişmiş ülkede binalar ısıtma ve soğutmaya yönelik yıllık enerji tüketimi 30-50 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olacak şekilde yalıtımlı olarak tasarlanıyor ve inşa edilmektedir. Ülkemizde ise halen ortalama enerji tüketimlerimiz 120-150 kWh/m<sup>2</sup>.yıl seviyesindedir. Sınırlı olan kaynaklarımızı verimli kullanmalı, çevreye duyarlı ve enerji verimli yapı temini için vakit kaybetmeden U değerleri ve enerji limitlerinin iyileştirilmesi gereklidir. Bu anlamda TS 825 standardının 2023 yılı versiyonunda enerji limitleri ve U değerlerinde iyileştirmeye gidilmiştir. Aşağıdaki tabloda yürürlükte olan 2008 versiyonu ile 2023 tarihli taslakta tanımlanan U değerleri verilmektedir.

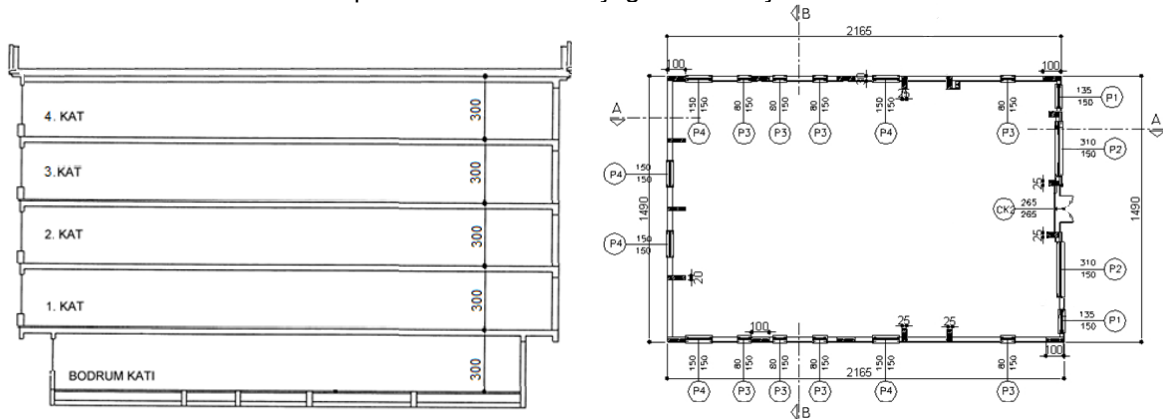
**Tablo 4. U Değerleri**

TS 825:2008					2023					
Bölge	Duvar	Tavan	Döşeme	Pencere	Bölge	Duvar	Tavan	Döşeme	Pencere	
	U <sub>D</sub>	U <sub>T</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>P</sub>		U <sub>T</sub>	U <sub>t</sub>	U <sub>P</sub>	U <sub>T</sub>	g
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K		W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	-
1	0,70	0,45	0,70	2,4	1	0,45	0,35	0,40	1,8	≤0,45
2	0,60	0,40	0,60	2,4	2	0,40	0,30	0,35	1,8	≤0,45
3	0,50	0,30	0,45	2,4	3	0,40	0,30	0,35	1,8	≤0,45
4	0,40	0,25	0,40	2,4	4	0,35	0,25	0,30	1,8	≥0,55
					5	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55
					6	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55

Net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacının toplamına yönelik olarak tanımlanmış enerji limitleri TS 825 standardının yeni taslağında tüm bina türleri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Kabaca değerlendirildiğinde enerji limitlerinin 70-90kWh/m<sup>2</sup>.yıl değerlerine çekilmeye çalışıldığı söylenebilir. Yine de enerji limitlerinin daha da iyileştirilmesi gerektiği ve binanın geometrik faktörlerinin dikkate alındığı A/V oranlarına göre limit değerlerin bir denklem şeklinde verilmesinin gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır.

## SONUÇ

İzmir'de (2'inci derece gün bölgesi) yer alan, dıştan dışa 21,65 m eninde, 14,90 m boyunda, her katta 2'şer dairenin bulunduğu bodrum kat dahil toplam 5 katlı bir apartman için yürürlükte olan TS 825 standardına göre yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yeni standart taslağına göre yıllık net ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Kat yüksekliği 3,0m, net oda yüksekliği 2,85m olan bu betonarme binanın kat planları ve kesitleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. Örnek bina kat planı ve kesit görüntüsü

Brüt hacmi ( $V_{brüt}$ ) 5457,7m<sup>3</sup> olan örnek binamızda duvarlarda tuğla ve betonarme üzerine dış taraftan ısı iletkenliği ( $\lambda$ ) 0,035 W/(m.K) olan kalınlığı 9 cm olan ısı yalıtım malzemesi uygulanmıştır ( $U_{Duvvar}=0,286$  W/m<sup>2</sup>K,  $U_{Taşıyıcı}=0,344$  W/m<sup>2</sup>K). Pencereerde ısı ve güneş kontrol kaplamalı, güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ) 0,55 olan yalıtım camı üniteleri kullanılmıştır. Yalıtımlı PVC doğramaların kullanıldığı pencerenin ısı geçirgenliği 1,8 W/m<sup>2</sup>K'dir. Dış kapının ise ısı geçirgenliği 4,0 W/m<sup>2</sup>K'dir. Teras çatıda ısı iletkenliği ( $\lambda$ ) 0,040 W/(m.K) olan 15 cm kalınlığında ısı yalıtım malzemesi kullanılmıştır ( $U_{Tavan}=0,250$  W/m<sup>2</sup>K). Kat arası betonarme ise Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği uyarınca R direnci 0,8 W/m<sup>2</sup>K olacak şekilde yalıtılmıştır. Toprağa basan döşemede ise 6cm kalınlığında ısı iletkenliği ( $\lambda$ ) 0,030 W/(m.K) olan ısı yalıtım malzemesi uygulanmıştır ( $U_{Döşeme}=0,244$  W/m<sup>2</sup>K). Dış ortama temas eden çıkmada da cephede uygulanan yalıtım malzemesi sürdürülmüştür ( $U_{çıkma}=0,338$  W/m<sup>2</sup>K). Tüm yapı elemanlarının alanları yönlere göre aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. Örnek Projenin Alan Verileri

	Kuzey	Doğu	Güney	Batı	Yatay	Toplam
<b>A<sub>Pencere</sub></b>	26,10 m <sup>2</sup>	60,90 m <sup>2</sup>	98,99 m <sup>2</sup>	60,90 m <sup>2</sup>	-	<b>246,89 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Duvar</sub></b>	184,52 m <sup>2</sup>	275,90 m <sup>2</sup>	102,57 m <sup>2</sup>	275,90 m <sup>2</sup>	-	<b>838,89 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Taşıyıcı</sub></b>	12,89 m <sup>2</sup>	90,34 m <sup>2</sup>	15,04 m <sup>2</sup>	90,34 m <sup>2</sup>	-	<b>208,61 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Kapı</sub></b>	-	-	7,00 m <sup>2</sup>	-	-	<b>7,00 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Tavan</sub></b>					374,16 m <sup>2</sup>	<b>374,16 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Döşeme</sub></b>					322,6 m <sup>2</sup>	<b>322,6 m<sup>2</sup></b>
<b>A<sub>Açık geçit</sub></b>					51,56 m <sup>2</sup>	<b>51,56 m<sup>2</sup></b>

TS 825 standardının yürürlükte olan 2008 versiyonuna göre, detayları yukarıda verilen projenin net ısıtma enerjisi ihtiyacı 18,42kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak hesaplanmıştır. Aynı bina standardın 2023 yılında yayımlanması muhtemelen taslağına göre yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı 8,61 kWh/m<sup>2</sup>.yıl ve net soğutma enerjisi ihtiyacı ise 56,5kWh/m<sup>2</sup>.yıl olarak bulunmuştur. **Bu sonuçlar; İzmir gibi sıcak iklim bölgesinde mevcut standartta olduğu gibi ısıtma ihtiyacına göre değil soğutma ihtiyacına göre binaların tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.**

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanan 2021 yılı Enerji Dengesi raporunda yer alan istatistikler, ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık 2020 yılına göre %9,1'lik artışla 123,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Öte yandan enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerdeki politik istikrarsızlar, Rusya ile Ukrayna arasındaki savaş gibi nedenler hem enerji arzında problemlere hem de enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Enerji ithalatı Türkiye'nin toplam ithalatının çok önemli bir paya sahiptir. Enerjisinin yaklaşık %70,7'sini ithal eden ülkemizde TÜİK ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulan geçici dış ticaret istatistiklerine göre tarafından açıklanan verilere göre 2021 yılı enerji ithalatı: 50,7 milyar \$ olarak gerçekleşirken 2022 yılında toplam enerji ithalatının 100 Milyar \$'ı aşması beklenmektedir. Enerji kaynaklarında dışa bağımlı olunması cari açığın başlıca nedenlerindenidir.

Enerji tüketiminin zamanla artması aynı zamanda sera gazı salımlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. Ülkemizin sera gazı salım değerleri 2020 yılında 1990 seviyesine göre %139 artarak 523,9 Milyon Ton seviyelerine ulaşmıştır. 1990'da kişi başı karbondioksit eşdeğer emisyonu 4 ton/kişi iken 2019 yılında 6,3 ton/kişi olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık 2016 yılında taraf olunan Paris Anlaşması uyarınca, Türkiye, ulusal katkı niyet beyanında 2030 itibarıyla sera gazı emisyonlarını mevcut durumdan yüzde 41'e kadar azaltacağını beyan etmiştir.⌋

Sektörlere göre enerji tüketimi incelendiğinde konut ve hizmet sektörlerinden oluşan Bina sektörünün yaklaşık %31,1'lik bir payla öne çıktığı görülmektedir. Enerji fiyatlarındaki artışlar yalıtımsız binalarda yaşayan hane halkının yüksek faturalar ile karşılaşması sonucu doğurmaktadır. Dağıtım şirketleri tarafından doğal gaz ulaştırılan nüfus 67,9 milyonu geçmiştir. Boru Hatları İle Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ), doğal gazın ithal bir enerji kaynağı olup, %99'dan fazlası yapılan uluslararası anlaşmalar çerçevesinde yurt dışı arz kaynaklarından temin edildiğini bu durumun doğal gazın satış fiyatında artışa neden olduğunu ifade etmektedir.

Enerji ithalatına ayrılan onca kaynağa rağmen Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 06 Mayıs 2022 tarihinde açıklanan Gelir ve Yaşam Koşulları araştırmasına göre Yalıtımsızlık dolayı ısınamama en çok karşılaşılan konut ve çevre problemi olmuştur. Kurumsal olmayan nüfusun %34,3'ü konutunda yalıtımsızlık dolayısıyla ısınma sorunu, %33,9'u sızdıran çatı, nemli duvarlar, çürümüş pencere çerçeveleri vb. problemler yaşamaktadır. Özetle, yalıtımsız binalarda enerjimizi verimsiz kullanarak havayı ısıttığımız için sınırlı kaynaklarımızın hatırı sayılır kısmını enerji ithalatına ayırmamıza rağmen ülkemizde ısınamama problemi yaşanmaktadır.

**Birçok gelişmiş ülkede ve AB'de de enerjide dışa bağımlılık, tüketimlerin ve sera gazı salımlarının artışı gibi sorunlar bulunmaktadır. Tüm bu sorunlar Türkiye'de yaşadığımız sorunlar benzerlik göstermektedir. Buna karşılık sorunların çözümü için yapılan uygulamalar dikkate alındığında ülkemizin enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen enerji verimliliği ile ilgili gerekli adımların yeterince hızlı bir şekilde atılmadığı ifade edilebilir. Ülkemiz 4 mevsimi yaşayan bir coğrafyada olmasına rağmen Cumhuriyetimizin 100. Yılında hala sadece ısıtma ihtiyacı üzerinden tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Net soğutma enerjisi ihtiyacını da ele alan yeni TS 825 standardı taslağının bir an önce mütalaya çıkarılması gereklidir. Tüm ilgili tarafların katkılarıyla enerji verimliliği anlamında AB ile aramızdaki mesafeyi kapatacak esaslı adımları atarak cesur bir şekilde enerji limitlerimizin belirlenmesi gerekmektedir. "ENERJİ VERİMLİLİĞİ STRATEJİ BELGESİ: 2012- 2023" kapsamında tanımladığı üzere ülkemizde de bir an önce enerji limitleri AB seviyesinde iyileştirilerek çevreye duyarlı ve enerji verimli yapılaşmaya geçilmelidir.**



## KAYNAKLAR

- [1] TS 825: 2008 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı.
- [2] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2002/91/EC)
- [3] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023
- [4] 2010/31/EU Energy Performance of Buildings Directive
- [5] 2021 Yılı Enerji Dengesi Raporu
- [6] TÜİK Sera Gazı İstatistikleri
- [7] TÜİK Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması
- [8] Türkiye Ulusal Katkı Niyet Belgesi

## ÖZGEÇMİŞ

### Timur DİZ

Timur Diz, 01 Ekim 1975 tarihinde Almanya'da dünyaya geldi. 1998 Yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini, 2001 yılında ise aynı üniversitenin Termodinamik ve Isı Tekniği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Yaklaşık 3 yıl ERA Şehircilik Mimarlık Müşavirlik Ltd. Şti ve Besa Mekanik Ltd. Şti.'nde proje mühendisi olarak çalıştı. Askerlik vazifesinin ardından 2002 yılında İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği'ndeki kariyerine başladı. 2007 yılında derneğin sahibi olduğu ve Yapı Malzemeleri Yönetmeliği kapsamında Türkiye'den atanan ilk onaylanmış test laboratuvarı olan TEBAR Test Belgelendirme Araştırma ve Geliştirme A.Ş.'yi kurulmasında görev aldı. Halen TEBAR A.Ş.'de Genel Müdürlük görevini yürüten Timur Diz 01 Eylül 2018 tarihinden bu yana İZODER'in Genel Sekreterlik görevini de yürütmektedir.

### Beyza TANYOL

5 Haziran 1998 tarihinde Elazığ'da dünyaya gelen Beyza Tanyol, 2022 yılında Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Şantiyede bir süre kalite kontrol mühendisi olarak çalışan Beyza Tanyol, 2023 yılı itibariyle İZODER'de Teknik İşler ve Eğitim Uzmanı olarak çalışmaya başladı.

### Yiğit Kaan AKTAŞ

27 Ocak 1999 tarihinde doğan Yiğit Kaan Aktaş, 2021 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Gebze Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Deprem ve Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans programına devam eden Aktaş, 2023 yılı itibariyle İZODER'de Teknik İşler ve Eğitim Uzmanı olarak görev yapmaya başladı.

# YAPILARDAKİ MEKANİK SİSTEMLERİN TİTREŞİM İZOLASYONU

*Vibration Isolation Of Mechanical Systems In Buildings*

**Günay Dürmüş**

## ÖZET

Geçtiğimiz yüzyılda; gelişen teknoloji ve artan insan popülasyonu nedeniyle yapılarda yatay mimariden dikey mimariye geçilmiştir. Bu durum çok katlı binaların ara katlarında mekanik odaların varlığı oluşturmuş, bu mekanik odaların içerisindeki cihazlar ise titreşim oluşturarak gürültü oluşumuna neden olmuştur. Oluşan bu titreşimler konfor şartlarını olumsuz etkilemiş ve mekanik ekipmanların titreşim izolasyonunun yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Titreşim izolasyonu pasif, yarı aktif ve aktif olmak üzere 3'e ayrılmaktadır. Bu bildiri yapılarıdaki mekanik ekipmanların titreşiminin pasif izolasyonu hakkında bilgi verilecek, titreşimlerin insanlar üzerindeki etkilerinden ve alınacak önlemlerde kullanılan ürünlerden bahsedilecektir. Kullanılacak olan izolasyon ürünleri ile ilgili görseller paylaşılarak titreşim verim hesabının yapılışı anlatılacaktır.

**Anahtar Kelime:** Titreşim izolasyonu, Mekanik ekipman, Konfor

## ABSTRACT

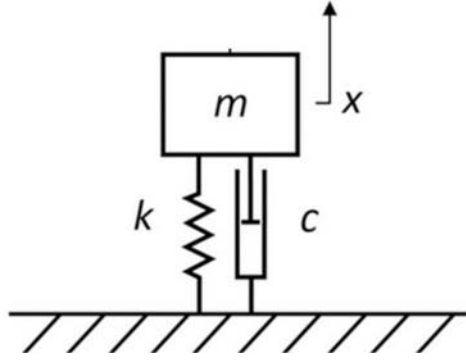
In the past century; Due to developing technology and increasing human population, horizontal architecture has been evolved to vertical architecture. This situation created the presence of mechanical rooms in the intermediate floors of multi-storey buildings, and the devices inside these mechanical rooms caused vibration to occur by creating vibration. These vibrations adversely affected the comfort conditions and necessitated the vibration isolation of mechanical equipment.

Vibration isolation is divided into three as passive, semi-active and active. In this paper, it will be given information about the passive isolation of vibration for mechanical equipment in buildings, the effects of vibrations on people and the products used in measures to be taken will be mentioned. The visuals of the insulation products to be used will be shared and the vibration efficiency calculation will be explained.

**Key Words:** Vibration isolation, Mechanical equipment, Comfort

## 1. TİTREŞİM VE İLGİLİ KAVRAMLAR

Titreşim, belirli zaman aralığında bir kütlenin belirli bir mesafede yaptığı periyodik harekettir. Sistemin denge konumu etrafında yaptığı salınım olarak da tanımlanmaktadır. Titreşen sistemin en basit modellenmesi yayın ucuna bağlanmış bir kütle olarak oluşturulur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Tek serbestlik dereceli model

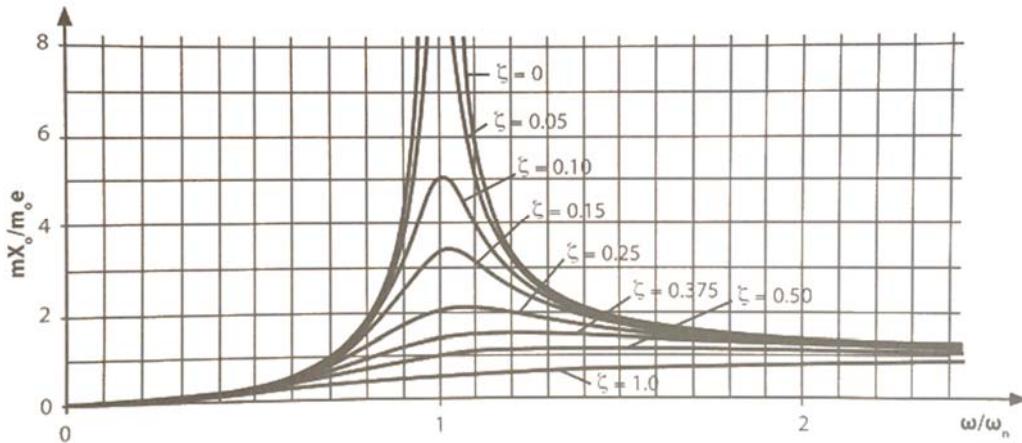
- k, yay katsayısı (direngenlik)
- m, sistemin toplam kütlesi
- c, viskoz sönüm katsayısı
- x, referans konuma göre yer değiştirme

**Frekans;** sistemin bir saniyedeki titreşim sayısıdır.

**Doğal frekans ( $\omega_n$ ,  $f_n$ );** sistemin serbest titreşimlerinin frekansı olarak tanımlanır. Doğal frekans sistemin bir özelliğidir ve sistemin kütlesi ile direngenliği tarafından belirlenir. Sönümsüz bir sistem için ( $c=0$ ) doğal frekans formülü:

$$f_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

**Rezonans;** en az iki bileşenden oluşan bir sistemin belli frekansta daha yüksek genlikte salınması kısaca genliğin sonsuza gitmesi olarak tanımlanır. Mekanik ekipmanlar ve uygulanan titreşim önlemi iki farklı bileşen olarak aldığımızda; cihazın çalışma frekansı ile titreşim alıcının doğal frekansının aynı zaman diliminde aynı frekansta olması durumu rezonanstır. Sönüm derecesi küçük olduğunda rezonans frekansı doğal frekansa yaklaşır. Şekil 1.2'de farklı sönüm oranları ( $\zeta$ ) için rezonans değerleri görülmektedir.



Şekil 1.2. Sönüm oranları-frekans eğrileri



## 2. TİTREŞİM İZOLASYONU

Binalarda bulunan mekanik ve elektrik ekipmanlar dönen elemanları ve motorları dolayısıyla farklı çalışma devirlerine sahiptir. Bu dönme hareketi sonucu oluşan balans probleminden dolayı kapasiteleri ile de orantılı olarak oluşturdukları titreşim binaya yayılmaktadır. Sistemdeki istenmeyen titreşimin yok edilmesi titreşim izolasyonu olarak tanımlanır.

Titreşimin olumsuz etkileri:

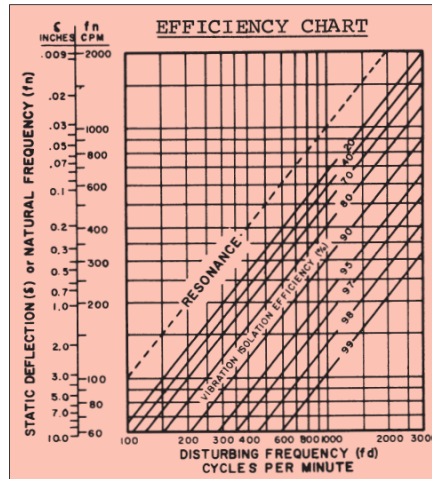
- Cihazlarda verim ve enerji kaybı, yorulma, ilerleyen süreçte fiziksel hasar
- Ölçüm cihazlarından hatalı veriler alınması
- Bina yapısında fiziksel hasar
- Gürültü kaynağı olarak konfor düşüşü
- Çalışma ortamında performans kaybı
- Kişilerde fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar

## 3. TİTREŞİM İZOLASYONU VERİMİ

$f_n = 188 \times \sqrt{\frac{1}{d}}$  (d, izolatördeki statik çökme) olmak üzere yapılan izolasyona ait verim aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$E = 100 \left[ 1 - \frac{1}{\left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2 - 1} \right]$$

- E, titreşim yalıtım yüzdesi (verim)
- $f_d$ , izole edilen ekipmanın rahatsız edici frekans değeri (en düşük çalışma frekansı)
- $f_n$ , izolasyon malzemesinin doğal frekansı



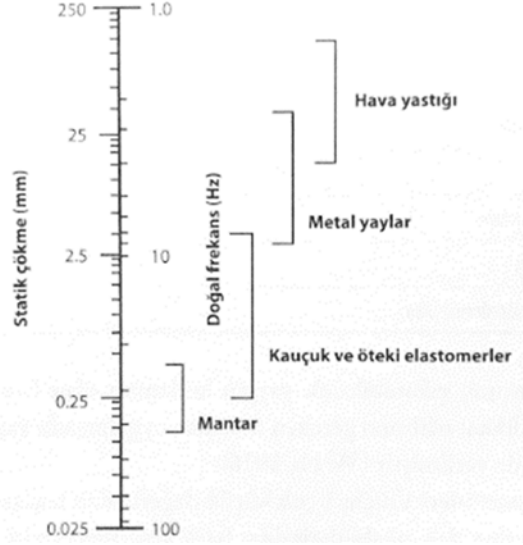
Şekil 3.1 İzolatör verim tablosu

Titreşim izolatörü üreticisi firmalar Şekil 3.1'de bir örneği verilen verim tabloları yayınlılar. Bu tablolar okunarak statik çökme değeri ile doğal ve rahatsız edici frekansa göre titreşim izolasyonu verimine ulaşılır.

Örneğin; 400 rpm (11,7 Hz) frekansta çalışan bir kompresörde %90'lık bir titreşim izolasyonuna ulaşmak için yaklaşık 2" (50mm) statik çökmeli izolatörler kullanılmalıdır.

#### 4. TİTREŞİM İZOLASYONUNDA KULLANILAN ÜRÜNLER

Hedef titreşim izolasyonu verimine ulaşmak için gerçekleştirilmesi gereken statik çökme miktarına göre mantar, kauçuk, yay gibi malzemelerden seçim yapmak gerekir.



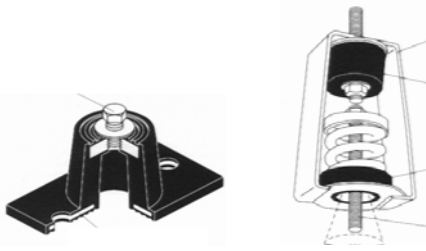
Şekil 4.1 Statik çökme değerine göre malzeme seçimi

- **Pad İzolatörler**



Neopren, mantar, cam elyafı, keçe, kurşun gibi malzemelerin tekil veya birlikte kullanılması ile imal edilmiş, sınırlı çökme değerine sahip izolasyon ürünleridir. Genellikle tabaka şeklinde bulunup istenilen boyutlarda kesilerek geniş destek olarak kullanılırlar. Gürültü kontrolü amaçlı yapılan titreşim yalıtımlarında mekanik açıdan yüksek frekansları yalıtımda etkilidirler. Çökme değerleri 25 mm bir kalınlık için %10-20 değerleri arasındadır. Yüksek basınç altında özelliklerini kaybedebildikleri için yük gerekir. Kritik alanlar ve ara katlarda yeterli izolasyonu sağlayamayacağından daha çok bodrum katlar ve titreşimin görece önemsiz olduğu mahallerde kullanılırlar.

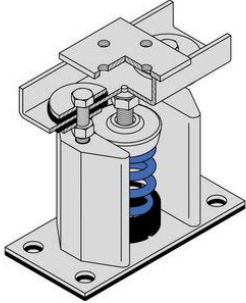
- **Neopren Ayak ve Kombine Askılar**



Neopren ayaklar ve askıların çökme miktarları 50-127 mm arasındadır. Yüksek hızlı, orta ve düşük ağırlıklı ekipmanların titreşim yalıtımında; dengesiz kuvvetlerin çok küçük olduğu, sadece ses probleminin ya da küçük bir titreşim probleminin olduğu yerlerde gerekli statik çökmeyi sağlayabilirler. Neopren askılar, nadiren titreşen, aslında normal olarak yüksek frekanslı ısılık sesi çıkartan buhar hatlarında ve üzerinde ekipman (pompa, fan, vb) taşıyan hatlarda kullanılırlar. Neopren ayaklar ve askıların kullanılacağı yerlerde, şartnameler yay kullanılmasını

önerirler. Neopren malzemeler, yayların tek başlarına yapamayacakları kadar yüksek frekanslı sesleri elimine edebildikleri için genellikle yaylar ile seri bağlı oldukları yaylı kauçuklu kombine titreşim askıları olarak kullanılırlar.

- **Çelik Yaylı İzolatörler**



Çelik yaylar, kritik durumlarda kullanımı en yaygın olan titreşim alıcılarıdır. Çelik yaylar, pratik olarak 127 mm, bazı özel durumlarda da daha fazla statik çökme yapabilirler. Düşük frekanslı titreşimlerin yalıtımında kullanılabilirler. Çelik yaylar, çevre koşullarından çok az etkilenmeleri dolayısıyla makine kadar kalıcı ve uzun ömürlüdür. Modern titreşim alıcılar yani ilave bir şeye gerek kalmadan gerekli stabiliteyi sağlayacak yeterli büyüklükteki çelik yayların bağlantı şekilleri çok önemlidir. Yaylı izolatörler genellikle bir ayar civatası ve neopren pad gibi yüksek frekanslı sesi hafifletici malzemeler ile birlikte üretilirler.

- **Hava Yayları:**



Titreşim alıcıların en verimlisi hava yaylarıdır. Genel olarak bir hava yayı; 6,9 bar veya daha fazla hava basıncına dayanıklı olarak üretilmiş ve cihaza stabil destek sağlayan geniş lifli takviyeli kauçuk balondan oluşur. Uygun şekilde tasarlanmış bir hava yayı, çelik yayın 152 – 178 mm çökmesine eşdeğer bir çökme sağlayabilir. Hava yayının cidarları kauçuktan olduğu için, çelik yaylarda meydana gelebilen rezonans veya ses köprüsü riski yoktur. Hava yayları, tek bir boyuttaki yay ile hava basıncını çok az miktarda değiştirerek, çeşitli ağırlıklardaki yükleri taşıyabilme avantajına sahiptir. Hava yayları, küçük kaçakları ya

da büyük sıcaklık farklarından doğabilecek genişleme veya büzülme hareketlerini karşılayacak bir yükseklik kontrol vanası ile birlikte monte edilirler. Hava yaylarının maliyeti, çelik yaylarınkine oranla yüksek olduğu için son derece kritik yerlerde ve akustik danışman önerisi ile kullanılırlar.

- **Yüzer Beton Kaideler (Atalet Kaideleri):**



Yüzer beton kaideler özellikle pompalar için tavsiye edilmektedir. Pompa için gerekli olan ekstra sağlamlık ve şaplanmış yüzey gibi özellikler, yüzer beton kaidelerde mevcuttur. Eğer en önemli faktör sağlamlık ise, beton derinliği kaidenin en uzun kenarının 1/12'si kadar olmalıdır. Beton kaideler, cihazın balanssızlığına, dışardan gelebilecek bir takım kuvvetlere karşı dayanım için bir kütle artışı gerekli olması halinde de sistemin ağırlık merkezini zemine yaklaştırdığı için kullanılmaktadır.

- **Genleşme Parçaları (Kompansatörler):**



Kauçuk genleşme parçaları, ses köprüsünü ve borudaki gerilimi azaltması için, kesme vanalarının cihaz tarafına yerleştirilmelidir. Sıcaklık ve basıncın çok yüksek olduğu tesisatlarda kauçuk yerine paslanmaz çelik veya bronz metalik hortumlar önerilir. Esnek metalik hortumlar, boru hattındaki seslere karşı çok az koruma sağlarlar. Cihaz bağlantı noktalarında esneklik sağlarlar. Bu da, flanşlardaki gerilimi azaltır ve titreşim yalıtımı yapılmış olan cihazın, yaylar üzerinde serbest olarak hareket etmesine olanak verir. Kauçuk bağlantı parçaları, ses köprülerini ve borudaki gerilimi azaltır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] ÖZGÜVEN, Nevzat H. ; Gürültü Kontrolü; Türk Akustik Derneği
- [2] UFGS 22 05 48.00 20; Mechanical Sound, Vibration, and Seismic Control; ASHRAE
- [3] ASHRAE Lecture; Mason Industries
- [4] ASHRAE, Noise and vibration Control, Mark E., Schaffer
- [5] Seismic Restraint Guidelines, 2016 Ed.; Mason Industries

## ÖZGEÇMİŞ

### Günay DÜRMÜŞ

1986 Çanakkale doğumlu olup, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümü mezunudur. 2015 yılından bu yana sırasıyla teknik satış mühendisi ve proje tasarım mühendisliği görevlerini yürüttüğü DKM İnşaat ve Danışmanlık San. Tic. A.Ş.'nde halen proje departmanı yöneticisi olarak çalışmaktadır.

# MEKANİK TESİSAT ve EKİPMANLARIN SİSMİK KORUMA SİSTEMLERİ HESAPLAMALARI, PROJELENDİRME ve UYGULAMALARI

*Seismic Restraint Application, Calculation And Design Criterias For Mechanical Installations*

**C. Volkan Dikmen**

## ÖZET

Gelişen teknoloji ve yaşanan tecrübeler doğrultusunda, artık depreme dayanıklı binalar tasarlanabilmektedir. Ancak, binalar depremde zarar görmese bile elektromekanik sistemlerde alınmayan sismik önlemler, hayat kayıplarına neden olabilmektedir. Unutulmamalıdır ki, deprem sonucu hayat kayıplarının %65'i deprem sonrası çıkan yangınlarda gerçekleşmektedir. Bu hayat kayıplarının yaşanmaması için elektromekanik sistemlerdeki sismik korumaların yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir.

Bildiride, elektromekanik sistemlerin sismik korumasının deprem yönetmeliklerinde standartlarının belirlenmesinin önemi anlatılacaktır. Sismik koruma için kullanılması gereken yönetmelikler ve uyulması gereken şartlar, IBC (International Building Code) NFPA13 (National Fire Protection Association), ASCE 7 (American Society Civil Engineering) gibi uluslararası yönetmeliklerde belirtilmiştir. Bildiride bu yönetmeliklerdeki elektromekanik sistemlerin sismik koruması ile ilgili kısımlardan bahsedilecektir.

Uluslar arası kodlarda elektromekanik sistemlerin sismik koruması nasıl ele alınmıştır, ülkemizde bu konuya verilen önem ve önerilerimizden bahsedeceğiz.

Yapısal olmayan elemanların sismik koruması özellikle elektromekanik sistemlerin sismik koruması gerektiği gibi yapılmadığı takdirde ne gibi sonuçlarla karşılaşacağımız konusunda görsellerle birlikte bilgilendirme yapılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** sismik koruma, titreşim kontrolü, Uluslararası Bina Kodu, NFPA

## ABSTRACT

Nowadays buildings can be designed as durable to earthquakes according to developing technology and experiences that are learnt. Unfortunately although buildings don't get damaged during earthquakes seismic precautions that are not taken in electromechanical systems may have results of losing lives. It shouldn't be forgotten that 65% of life losses happen in fires that accure after earthquakes. For not having these life losses happened seismic protections at electromechanical systems should be obligatory with regulations.

In this declaration the importance of determinations of standards in earthquake regulations about seismic protection of electromechanical systems will be told. The regulations and specifications that has to be used for seismic protection have been written in international regulations as IBC (International Building Code), NFPA13 (National Fire Protection Association, ASCE 7 (American Society Civil Engineering). In this declaration the parts that are related to seismic protection of electromechanical systems in these regulations will be told.

We will tell how seismic protection of electromechanical systems in international codes are taken into consideration, the importance that is given to this subject in our country and our recommendations related to this subject.

Nonstructural elements' seismic protection especially what kind of results will happen if seismic protection of electromechanical systems is not done as it should be will be informed with visuals

**Keywords:** seismic protection, vibration control, International Building Code, NFPA

## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve yaşanan tecrübeler doğrultusunda, artık depreme dayanıklı binalar tasarlanabilmektedir. Ancak, binalar depremde zarar görmese bile elektromekanik sistemlerde alınmayan sismik önlemler, hayat kayıplarına neden olabilmektedir. Unutulmamalıdır ki, deprem sonucu hayat kayıplarının %65'i deprem sonrası çıkan yangınlarda gerçekleşmektedir. Bu hayat kayıplarının yaşanmaması için elektromekanik sistemlerdeki sismik korumaların yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir.

## 2. SİSMİK KORUMANIN DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GİRME SÜRECİ

Elektrik ve Mekanik tesisatların sismik koruması fikri ilk olarak San Francisco (1906) depreminden sonra gündeme gelmiştir. San Francisco depremi sonrası yapılan incelemeler, yapılardaki hasarın %50'sinin deprem sonrası yangınlardan kaynaklandığını göstermiştir.



Bu depremden sonra elektrik ve mekanik tesisatın sismik korumasının inşaat yönetmeliklerine girmesi gerektiği fikri savunulmuştur. Günümüzdeki yönetmeliklere benzeyen ilk yönetmelik, 1927 yılında yayınlanan Tekdüze Bina Kodu (UBC- Uniform Building Code)'dur.

Gelişen teknoloji ve artan konfor ihtiyaçları doğrultusunda, tesisatlardan kaynaklanan gürültü problemini çözmek için yapılarda titreşim izolasyonu uygulamaları neredeyse zorunlu hale geldi. Ancak titreşim izolasyonu yapılmış olan tesisat bileşenlerinin depremde çok daha fazla tehlike doğuracağı

1971 San Fernando depremi ile tecrübe edildi. Bu depremden edinilen tecrübe ise, tesisatlarda sismik korumanın yerel yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmesi ve sismik korumanın uzmanlık konusu olarak ele alınmasıdır.

### 3. DEPREM YÖNETMELİKLERİNDE SİSMİK KORUMANIN YERİ

#### 3.1 T.C. DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK OLAN BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK

Bu yönetmeliğin 2.11 numaralı maddesi, mekanik ve elektrik tesisat bileşenlerine etkiyen deprem yükünün nasıl hesaplanacağını anlatmıştır.

$$f_c = 0.5 A_0 I w_e \left( 1 + 2 \frac{H_i}{H_N} \right)$$

- A<sub>0</sub> : Deprem Zemin İvmesi  
I : Önem Faktörü  
w<sub>e</sub> : Tesisat Bileşenin Ağırlığı  
H<sub>i</sub> : Tesisat Bileşenin Bina İçindeki Konumunun Zeminden Yüksekliği  
H<sub>N</sub> : Binanın Toplam Yüksekliği  
(7)

Bu yönetmelikte yalnızca yapısal olmayan elaman üzerine gelecek deprem yükünün nasıl hesaplanacağı aktarılmıştır. Hangi tesisat bileşenine sismik koruma yapılması gerektiğine dair bir bölüm ve/veya madde bulunmamaktadır.

#### 3.2 ULUSLARARASI BİNA KODU (IBC)

Günümüzde en geçerli deprem standardı Uluslararası Kod Konseyi (ICC-International Code Council) tarafından hazırlanan Uluslararası Bina Kodu (International Building Code) IBC'dir. İlk sürümü 2000 yılında yayınlanmış 2003, 2006, 2009 ve 2012 yıllarında güncellenmiştir. Bu yönetmeliğin yapısal olmayan sistemler için sismik koruma uygulamaları ile ilgili kısmı, 2003 güncellemesi ile birlikte Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (American Society of Civil Engineers) yayını olan ASCE-7-10 Bölüm 13'de ele alınmıştır. Bu bölüme göre:

Yerel Yönetmeliklerde ve özel şartnamelerde aksi belirtilmedikçe aşağıdaki durumlar için sismik önlem alınmayabilir:

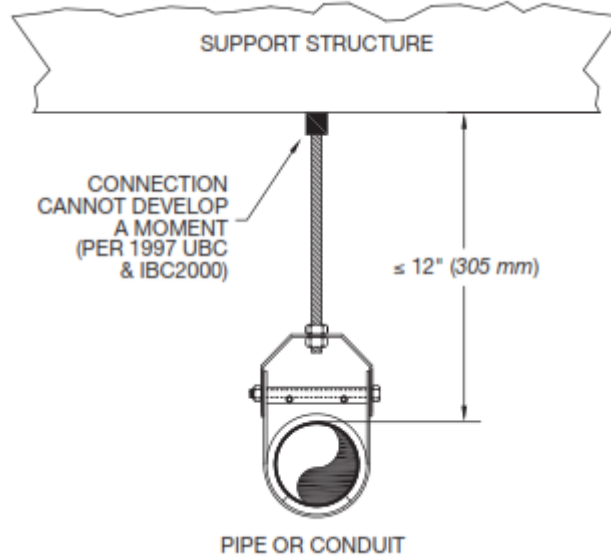
- Döşemeye sabit olarak monte edilen ve aşağıda belirtilen özelliklerin tümüne haiz olan,
  - Önem faktörü (I<sub>p</sub>=1) olan,
  - Yapının işleyişi açısından kritik durumda olmayan,
  - 180 kg veya daha az ağırlıkta olan,
  - Döşemeden 120 cm veya daha az bir yükseklikte montajlanmış olan ve
  - Tüm boru kanal bağlantıları esnek bağlı olan ekipmanlar.

Tüm tesisat ekipmanları sismik korumadan istisnadır. Asılı olan ekipmanlar ve titreşim izolatörü ile monte edilen ekipmanlar bu istisnanın dışındadır.

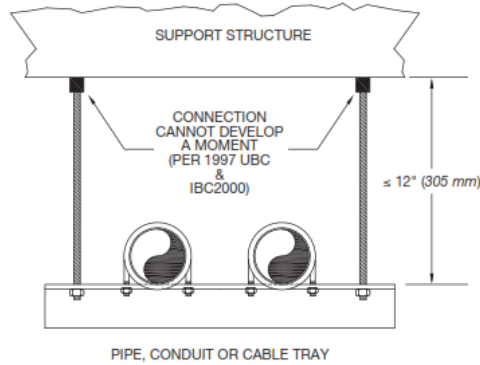
- Tüm tesisat bileşenlerinden asılı olan ve titreşim izolatörü ile monte edilen ekipmanların, ağırlığı 9 kg veya altında olanları,
  - Önem faktörü (I<sub>p</sub>=1) ,

- Yapının işleyişi açısından kritik durumda olmayanı
  - Tüm boru kanal bağlantıları esnek bağlı olanları
- Sismik korumadan istisnadır.

- Boru kelepçesine asılan ve hat boyunca tek başına giden borularda, boru üstü ile askı çubuğunun yapı elemanına bağlandığı nokta arasındaki mesafe boru hattı boyunca 30 cm veya daha az olduğu durumlarda sismik koruma yapılmayabilir. Askı çubukları eğilme momentine maruz bırakılmamalıdır.

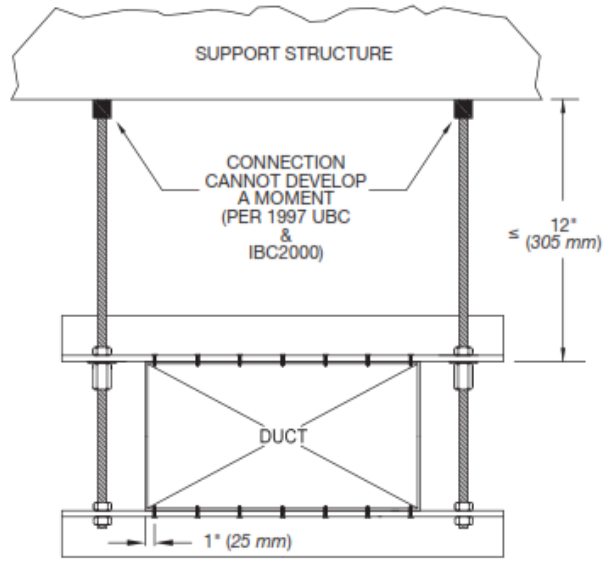


- Trapez üzerinde taşınan boru demetleri, askı çubuğunun trapeze bağlandığı nokta ile yapı elemanına bağlandığı nokta arasındaki mesafe hat boyunca 30 cm veya daha az olduğu durumlarda sismik koruma yapılmayabilir. Askı çubukları eğilme momentine maruz bırakılmamalıdır.



- Havalandırma kanalları, askı çubuğunun trapeze bağlandığı nokta ile yapı elemanına bağlandığı nokta arasındaki mesafe hat boyunca 30 cm veya daha az olduğu durumlarda sismik koruma yapılmayabilir. Askı çubukları eğilme momentine maruz bırakılmamalıdır.





- Önem faktörü ( $I_p=1,5$ ) ve anma çapı 25mm veya daha az çaplarda olan diğer tesisat bileşenlerine zarar vermesi engellenmiş borular için sismik koruma yapılmayabilir.
- Önem faktörü ( $I_p=1$ ) ve anma çapı 50mm veya daha az çaplarda olan diğer tesisat bileşenlerine zarar vermesi engellenmiş borular için sismik koruma yapılmayabilir.
- Trapez üzerinde boru demeti şeklinde olan hatlarda, hattın toplam ağırlığı 15kg/m veya daha az ise sismik koruma yapılmayabilir.
- Kanal ağırlığı 15 kg/m veya daha az ya da kesit alanı 0,557 m<sup>2</sup> veya daha az olan kanallara sismik koruma yapılmayabilir. (1)

#### Sismik Yüklerin Hesaplanması

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right)$$

$F_p$  Sismik Dizayn Yükü

$a_p$  Bileşen Yükseltgeme Faktörü

$S_{DS}$  Ani Spektral Karşılık İvmesi

$W_p$  Bileşen Ağırlığı

$R_p$  Bileşen Karşılık Faktörü

$I_p$  Bileşen Önem Faktörü

$z$  Bileşen Bina İçindeki  
Konumun Yüksekliği

$h$  Binanın Toplam Yüksekliği

(3)

### 3.3 NFPA 13

ABD Ulusal Yangın Koruma Birliği (NFPA – National Fire Protection Association) otomatik yangın söndürme tesisatı ile ilgili NFPA-13 yönetmeliğini yayınlamıştır. Bu yönetmelikte yangın tesisatlarında alınacak sismik önlemler detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu yönetmeliğe göre yangın tesisatı borularında alınacak sismik önlemler aşağıdaki gibidir:

- Anma çapı 50mm veya daha az çaplarda olan borular için enine ve boyuna sismik sınırlandırma yapılmayabilir.
- Boru üstü ile askı çubuğunun yapı elemanına bağlandığı nokta arasındaki mesafe boru hattı boyunca 15 cm veya daha az olduğu durumlarda yalnızca boyuna sismik sınırlandırma yapılmalıdır.
- Çap gözetmeksizin ucu boşta olan braşmanların ucu sabitlenmelidir. (5)

### 3.4 DİĞER YÖNETMELİKLER

#### 3.4.1 FEMA

ABD Federal Afet Yönetimi (FEMA – Federal Emergency Management Agency) 3 adet yönetmelik yayınlamıştır. Bunlar teorik bilgiden ziyade, pratik bilgiler için el kitabı şeklindedir.

- FEMA 415 – Hava kanalları ve borularda sismik koruma
- FEMA 413 – Elektrik ekipmanlarında sismik koruma
- FEMA 412 – Mekanik ekipmanlarda sismik koruma (4)

#### 3.4.2 SMACNA

Sac Metal ve Klima Yüklenicileri Birliği (SMACNA-Sheet Metal and Air Conditioning Contractors) , her türlü sac işleri konusunda dünyada oldukça etkilidir.

2000 yılında klavuz niteliğinde Mekanik Sistemler İçin Sismik Sınırlandırma (Seismic Restraint Manual-Guidelines for Mechanical Systems) yayınlamıştır. (6)

## 4. SİSMİK KORUMANIN TEMEL FAYDALARI

- Deprem sırasında tesisatın yerinden koparak etrafındaki insanlara zarar vermesini engeller.



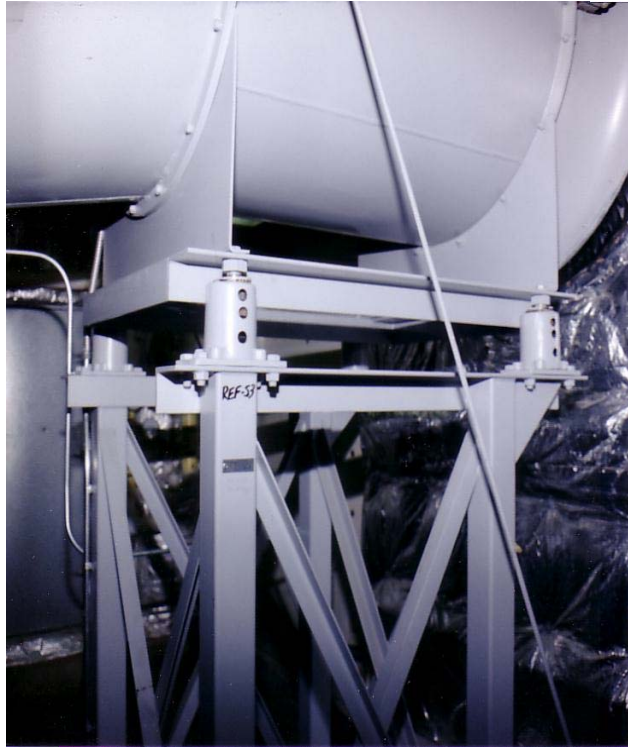
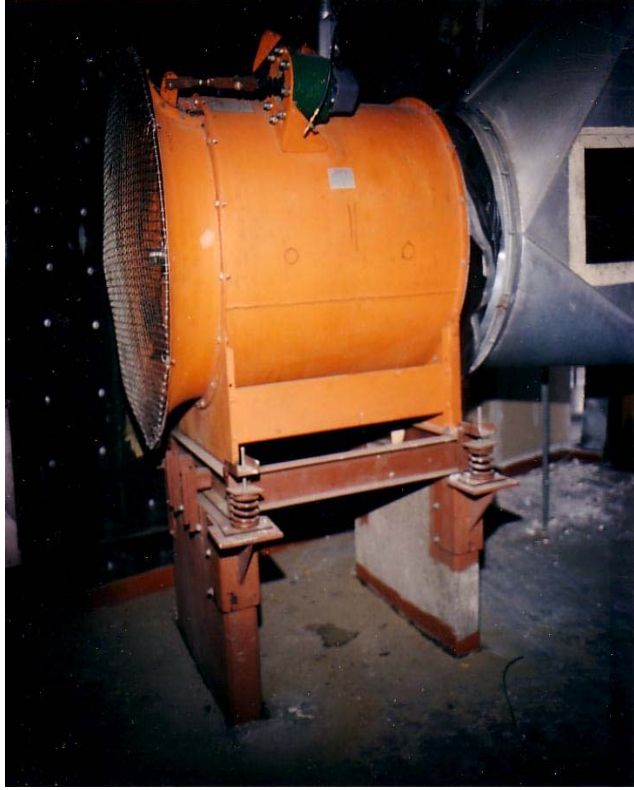


- (2)
- Ekipman ve tesisatın deprem sonrasında yerinde kalmasını ve çalışmaya devam etmesini sağlar.





- Acil önlem ekipmanlarını koruyarak depremlerden sonra oluşacak yangınlarda kaçış ve müdahale yollarını açar.



- Binaların sigorta maliyetlerini düşürür, değerini ve kalsifikasyonunu artırır.



## 5. SİSMİK KORUMANIN MALİYETİ

Günümüz modern binalarında elektromekanik tesisat maliyetleri gelişen teknoloji ve artan konfor ihtiyacı sonucu bina maliyetinin %25-30'u mertebelerine ulaşmıştır.

Bu maliyeti korumak için yapılacak sismik uygulamalar ise genel olarak;

Mekanik tesisat maliyetinin % 1 'i  
Bina maliyetinin ise % 0,3 'ünü geçmemektedir.

## SONUÇ

Sonuç olarak mekanik ve elektrik tesisatın sismik koruması yerel yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmeli, alınacak sismik önlemlerin çerçevesi çizilmelidir. Bu işte uzman mühendislerin projelendirme ve kontrol işlemlerini gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE, Practical Guide to Seismic Restraint,2012
- [2] Mason Industries, Seismic Restraint Guidelines, September 2011
- [3] International Building Code 2003,2006,2009,2012
- [4] FEMA 412,413,415– Federal Emergency Management Agency
- [5] NFPA 13 – National Fire Protection Association
- [6] SMACNA-Sheet Metal and Air Conditioning Contractors, Seismic Restraint Manual-Guidelines for Mechanical Systems
- [7] T.C. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Olan Binalar Hakkında Yönetmelik

## ÖZGEÇMİŞ

### C. Volkan DİKMEN

1970 yılı doğumludur. 1987 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne girmiştir. Okuldan mezun olduktan sonra imalat ve proje konularında 3 yıl çalışmıştır, daha sonraki yıllarda tesisat sektöründe teknik, satış ve pazarlama konularında görev yapmıştır.Yapısal olmayan deprem koruması ve titreşim-ses yalıtımı konularında ABD'de eğitim almıştır.2003 yılında kurduğu DKM İnşaat ve Danışmanlık firmasında kurucu ortak olarak görev yapmaktadır.Akustik, Titreşim ve Deprem koruma konularında ile ilgili yayınlamış teknik makaleleri ve uluslar arası sempozyumlarda sunumları mevcuttur. %100 geri dönüşüm kauçuktan ürettiği ve ticarileştirdiği, kendine ait ISI VE SES yalıtımı yapan malzeme patenti mevcuttur.Ürün yurtiçi ve yurtdışında birçok ödüle (4. Int. Sustainability Symposium (TEXAS) da "BEST SUSTAINABLE PRACTICE" ölüü ) layık görülmüştür.Yurtiçinde de aldığı çok sayıda farklı sektörel ödülleri mevcuttur.Toplam yayınlanmış 2 patent, 2 faydalı model, 1 tasarım tescili mevcuttur. İZODER, TAKDER, TTMD, İSKİD, SKD üyesidir.Sürdürülebilir, geri dönüşüm ve enerji tasarruflu inovatif malzemeler konusunda çalışmaktadır.Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Mimar Sinan Mimarlık Bölümünde konuk eğitmen olarak tecrübelerini öğrencilerle paylaşmaktadır.



# BİNALARDA MEKANİK TESİSAT GÜRÜLTÜSÜ KONTROL ADIMLARI

*Inspection Steps Of Mechanical Installation Noise In The Buildings*

**Mert Kavas**

## ÖZET

Binalardaki ana gürültü kaynakları, mekanik sistemlerin konumlandırıldığı alanlardır. Yüksek seviyelerdeki gürültü canlı sağlığını ruhsal ve fiziksel olarak etkilemektedir. LEED, BREEM gibi uluslararası bina standartlarının da benimsediği akustik konfor faktörünün önemi, son yıllarda artmaktadır. Ülkemizde de Binaların Gürültüye Karşı Korunması ve Ses Yalıtımı Hakkında Yönetmelik yayımlanarak akustik konforun sağlanması zorunluluk haline getirilmiştir. Gürültüyü ortadan kaldırmak için ses kaynağında önlem almak en kesin çözümdür. Özellikle ısıtma – havalandırma sistemlerinin oluşturduğu gürültü, hava kanalları ve titreşimlerle yaşama alanlarımıza gelmesi, en sık rastlanan durumlardan biridir. Bu çalışmada, yapılarıdaki ısıtma – havalandırma sistemlerinin konumlandırıldığı alanlarda alınacak önlemler, sebepleriyle birlikte literatürler, akademik çalışmalar ve ülkemizdeki yönetmelikler yararlanılarak, çözüm yolları belirtilmiştir ve kontrol listesi haline getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akustik, Gürültü, Mekanik Tesisat Gürültüsü, Binalarda Ses Yalıtımı, Titreşim Yalıtımı

## ABSTRACT

The main noise sources in buildings are the areas where mechanical systems are located. High levels of noise affect the health of living creatures physically and mentally. The importance of acoustic comfort factor adopted by international building standards such as LEED and BREEM has increased in recent years. In our country, the Regulation on Protection of Buildings Against Noise and Sound Isolation has been published and it has become obligatory to provide acoustic comfort. Taking the precaution at the sound source is the definitive solution to eliminate noise. One of the most common cases is that the noise generated from HVAC systems comes to our living spaces by air ducts and vibrations. In this study, the reasons for the precautions to be taken where the heating and ventilation systems are located in the buildings, academic studies and the regulations in our country have been taken into consideration and solutions have been defined and a checklist has been made.

**Key Words:** Acoustics; Noise, HVAC Noise, Soundproof in Buildings, , Vibration Noise

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yüksek katlı binaların sayısı artmaktadır. Yüksek katlı binalarda kullanıcı konforu önem kazanmaktadır. Gerekli konforu sağlamak için birçok ulusal ve uluslararası standartların-yönetmeliklerin, iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Akustik konforun önemi bahsi geçen standartlarda yer almaktadır.

İstenmeyen sesler, canlılar üzerinde ruhsal ve fiziksel rahatsızlıklara yol açabilmektedir. Gürültünün insan üzerinde etkileri dikkat dağınıklığı, baş ağrısı ve yüksek gürültü seviyelerinde işitme kaybına sebep olabilmektedir. Katı ve hava doğuşlu olarak iki farklı yolla gürültü oluşmaktadır. Gürültünün oluşmaması ve kaynaktan azaltılması için birçok yöntem bulunmaktadır.

## 2. MEKANİK TESİSAT ODASI KONUMU

Yapılarda ana gürültü kaynağı mekanik hacimlerdir. Mekanik cihazlar çatı katı ya da bina içerisinde konumlandırılabilir. Yapı içerisine yerleştirilecek olan cihazlar, gürültü kontrolü için büyük önem taşımaktadır. Binaların tasarım aşamasında, gürültü kontrolünün sağlanması için yüksek seviye arka plan gürültüsüne sahip alanlar belirlenmelidir. Benzer seviyede gürültü kaynağı olabilecek hacimler, birbirlerine yakın bir alanda konumlandırılmaya dikkat edilmelidir. Gürültüye karşı hassas olan hacimlerin bu alandan uzağa yerleştirilmesi, alınacak önlemlerin azalmasını sağlamaktadır.[4]

## 3. TİTREŞİM VE KATI DOĞUŞLU GÜRÜLTÜNÜN KONTROLÜ

### 3.1. Cihazlarda Titreşim Gürültüsü Kontrolü

En çok karşılaşılan problemler, uygun olmayan yalıtım malzemesi seçimi ve titreşimli bağlantıların bina strüktürüne direkt temasının göz ardı edilmesidir. Cihazın yerleşimi, tesisatın kurulumu ve kanal-boru bağlantıları tamamlandıktan sonra gürültü kontrol uygulamasının yapılması, başlangıçta yapılmamasına kıyasla büyük zorluklar oluşturmaktadır. Bunlar maddi zararlar ve fiziksel olarak bağlantıların yerinden oynatılmamasıdır.

Mekanik hacimlerde, titreşim ve katı doğuşlu gürültünün oluşum sebepleri,

- Mekanik ekipman, uygun olmayan şekilde belirlenmesi veya monte edilmesi, doğru dengelenememesi, yanlış hizalanması veya tasarım şartlarına uymayan biçimde çalışması
- Yeterli veya uygun olmayan titreşim önleyici malzeme uygulanmış ekipman
- Esnek olmayan boru ve kanal bağlantılarının olması, sismik elemanlarının titreşim yalıtımı için ayrılan çökme miktarını etkilemesi, kanal ve borularda beklenmeyen tıkanmalar
- Ekipman için uygun olmayan aşırı zemin esnekliği
- Ekipmanın rezonansa girmesi veya yapı malzemelerinin rezonansa girmesi [3]

### *Mekanik cihazda alınması gereken gürültü ve titreşim önlemleri*

Mekanik cihazda alınacak önlemlerde hedef kriteri olarak titreşim yalıtım verimi dikkate alınmalıdır. Titreşimden kaynaklanan gürültü, yapısal gürültü olarak ifade edilmektedir. Yapısal gürültüler, sadece komşu hacimlerde rahatsızlık yaratmazlar. Titreşimin olduğu frekans aralıklarında, dalga boyundan dolayı, bina içerisinde tahmin edilemeyen noktalarda hissedilebilir. Örneğin, bodrum katında konumlandırılmış bir mekanik hacmin oluşturduğu titreşim gürültüsü, üçüncü veya dördüncü kattan hissedilebilme ihtimali vardır. Cihaz titreşiminin, zemine geçişinin yüzde olarak hesaplanmalıdır. Alınacak önlemin seçiminde kolonlar arası mesafe, ekipman çalışma hızı, ekipman gücü, döşemenin çökme miktarı parametreleri etkilemektedir. Cihaza uygun olan titreşim yalıtım malzemelerin tipi Tablo 1'e göre belirlenir.[3]



**Tablo 1 Titreşim Yalıtımı için Seçim Kılavuzu Tablosu [3]**

	Mil Gücü kW	d./d.	EKİPMAN YERİ											
			Zeminde katında döşeme			Kolon açıklığı mak. 6 m olan döşeme			6-9 m Kolon açıklıklı döşeme			9-12 m Kolon açıklıklı döşeme		
			Kaide Tipi	İzolator Tipi	Min. Esneme mm.	Kaide Tipi	İzolator Tipi	Min. Esneme mm.	Kaide Tipi	İzolator Tipi	Min. Esneme mm.	Kaide Tipi	İzolator Tipi	Min. Esneme mm.
<b>Soğutma Makineleri ve Chiller</b>														
Pistonlu	Hepsi	Hepsi	A	2	6,4	A	4	19	A	4	38	A	4	64
Santrifüj, Vidalı	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	A	4	19	A	4	38	A	4	38
Açık, Santrifüj	Hepsi	Hepsi	C	1	6,4	C	4	19	C	4	38	C	4	38
Absorpsiyon	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	A	4	19	A	4	38	A	4	38
<b>Hava Kompresörleri ve Pompalar</b>														
Tanka monte yatay	<7,5	Hepsi	A	3	19	A	3	19	A	3	38	A	3	38
	≥11	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Tanka monte düşey	Hepsi	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Yere monte	Hepsi	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Büyük pistonlu	Hepsi	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
<b>Pompalar</b>														
Direkt bağlı	<5,6	Hepsi	B	2	6,4	C	3	19	C	3	19	C	3	19
	≥7,5	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Uzun emişli	3,9-19	Hepsi	A	3	19	A	3	29	A	3	38	A	3	38
	≥22	Hepsi	A	3	19	A	3	28	A	3	38	A	3	64
	<30	Hepsi	C	3	19	C	3	19	C	3	38	C	3	38
Uçtan emişli-split gövdeli	37-93	Hepsi	C	3	19	C	3	38	C	3	38	C	3	64
	≥110	Hepsi	C	3	19	C	3	38	C	3	64	C	3	89
<b>Su Kuleleri</b>														
	Hepsi	<300	A	1	6,4	A	4	89	A	4	89	A	4	89
		301-500	A	1	6,4	A	4	64	A	4	64	A	4	64
		≥500	A	1	6,4	A	4	19	A	4	19	A	4	38
<b>Kazanlar (Alev Borulu)</b>														
	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	B	4	19	B	4	38	B	4	64
<b>Aksiyal fanlar, Fan Kafaları, Kabin Fanları, Fan Bölümleri</b>														
<560 mm Çap	Hepsi	<300 Pa.	A	2	6,4	A	3	19	C	3	19	C	3	19
≥510 mm Çap	<500 Pa.sp	300-500 Pa.	B	3	6,4	C	3	89	C	3	89	C	3	38
		≥501 Pa.	B	3	19	B	3	38	C	3	64	C	3	64
		<300 Pa.	B	3	19	B	3	38	B	3	38	B	3	38
	501 Pa.sp	300-500 Pa.	C	3	6,4	B	3	38	C	3	89	C	3	89
		≥501 Pa.sp	C	3	38	B	3	38	C	3	64	C	3	64
			C	3	19	B	3	38	C	3	38	C	3	64
<b>Santrifüj Fanlar</b>														
<560 mm Çap	Hepsi	<300	B	2	6,4	B	3	19	B	3	19	C	3	38
≥510 mm Çap	30	300-500	B	3	6,4	B	3	89	B	3	89	B	3	89
		≥501	B	3	38	B	3	38	B	3	64	B	3	64
		<300	B	3	19	B	3	19	B	3	19	B	3	38
	≥37	<300	C	3	6,4	C	3	89	C	3	89	C	3	89
		300-500	C	3	38	C	3	38	C	3	64	C	3	64
		≥501	C	3	25,4	C	3	38	C	3	38	C	3	64
<b>Pervane Türü Fanlar</b>														
Duvara kurulu	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	A	1	6,4	A	1	6,4	A	1	6,4
Çatıya kurulu	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	A	1	6,4	B	4	38	D	4	38
<b>Isı Pompaları</b>														
	Hepsi	Hepsi	A	3	19	A	3	19	A	3	19	A/D	3	38
<b>Kondensörler</b>														
	Hepsi	Hepsi	A	1	6,4	A	4	19	A	4	38	A/D	4	38
<b>Paket AH, AC, H ve V Birimleri</b>														
Hepsi	<7,5	Hepsi	A	3	19	A	3	19	A	3	19	A	3	19
	11 ve ≥1 kPa.sp	<300	A	3	19	A	3	89	A	3	89	C	3	89
		301-500	A	3	19	A	3	64	A	3	64	A	3	64
		≥501	A	3	19	A	3	38	A	3	38	A	3	38
	≥11 ve ≥1 kPa.sp	<300	B	3	19	C	3	89	C	3	89	C	3	89
		300-500	B	3	19	C	3	38	C	3	64	C	3	64
		≥501	B	3	19	C	3	38	C	3	38	C	3	64
<b>Paket Çatı Ekipmanı</b>														
	Hepsi	Hepsi	A/D	1	6,4	D	3	19	Detaylı bilgi için uzman görüşü alın.					
<b>Kanalı Dönel ekipman</b>														
Küçük fanlar, fan tahrikli kabinler	<300 L/s	Hepsi	A	3	12,7	A	3	12,7	A	3	12,7	A	3	12,7
	≥301 L/s	Hepsi	A	3	19	A	3	19	A	3	19	A	3	19
Motor Tahrikli Üreteç	Hepsi	Hepsi	A	3	19	A	3	38	A	3	64	A	3	89

**TABAN TİPLERİ**

Tip A: Taban yok, izolator direkt cihaza bağlı  
 Tip B: Çelik raylar veya çelik konstrüksiyon çerçeve  
 Tip C: Beton atalet bloğu kaide  
 Tip D: Şasiye monte edilen çelik konstrüksiyon çerçeve

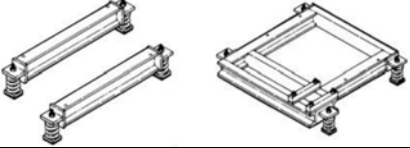
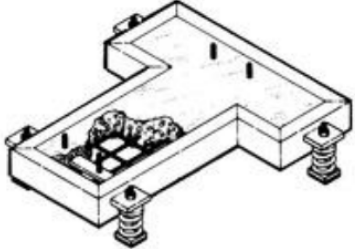
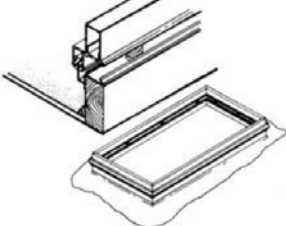
**İZOLATÖR TİPLERİ:**

Tip 1: Kauçuk plaka  
 Tip 2: Kauçuk askı veya zemine monte yaylı titreşim elemanı  
 Tip 3: Yaylı askı veya zemine monte yaylı titreşim elemanı  
 Tip 4: Sınırlanmış yaylı izolator

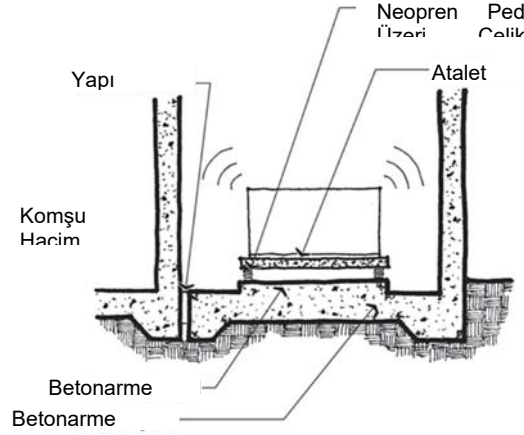
**Tablo 2 Tablo 1'de Belirtilen İzolatör Tipleri [3]**

	Tip 1: Kauçuk veya cam elyafı malzeme
	Tip 2: Kauçuk zemin izolatörü veya askısı
	Tip 3: Yaylı zemin izolatörü veya askısı
	Tip 4: Sınırlandırılmış yay izolatörü

**Tablo 3 Tablo 1' de Belirtilen Taban Tipleri [3]**

	Tip A: İzolatörler direkt cihaza bağlanır ek desteğe gerek yoktur
	Tip B: Çelik konstrüksiyon çerçeve ve çelik raylar
	Tip C: Beton atalet bloklı kaide
	Tip D: Çelik Konstrüksiyon çerçeve (Şasiye monte edilmiş)

Toprak temaslı makine dairelerinde cihazda alınabilecek önlemlerin yanında, yapısal olarak da binadan ayırarak titreşim kontrolü sağlanabilmektedir. (Şekil 1)



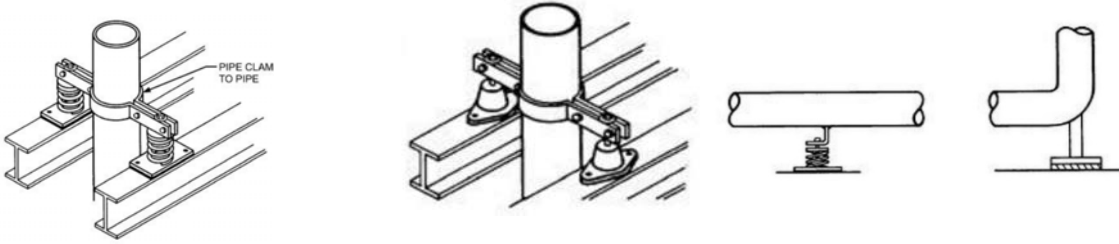
Şekil 1 Ayrılmış Betonarme [4]

### 3.2. Kanal-Boru Ekipmanlarında Titreşim Gürültüsü Kontrolü

*Cihazdan çıkan kanal ve borular için titreşim önlemi*

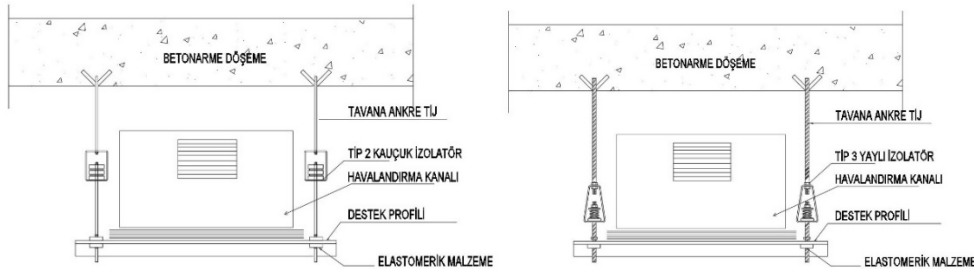
Mekanik hacimde konumlandırılan cihazların oluşturduğu titreşimler için, yalnız yerleştirildiği zeminde önlem alınması titreşim kontrolünün sağlanmasında yeterli değildir. Cihazın ürettiği sıcak-soğuk hava ve suyun bina içerisine iletilmesini sağladığı boru-kanal bağlantıları da esnek bağlantı elemanlarıyla bina strüktürüne uyulanmalıdır.

Cihazdan çıkan boru-kanalların bina ile bağlantıları tamamen esnek bağlantı elemanlarıyla sağlanmalıdır. Bağlantı elemanlarının seçimi taşıyacağı yüke göre belirlenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de, cihaz için çökme miktarı hesaplanan yüksekliğin, askı elemanının çökme miktarına göre uygunluğudur.[4]



Şekil 2 Boru Esnek Bağlantı Gösterimleri[3]

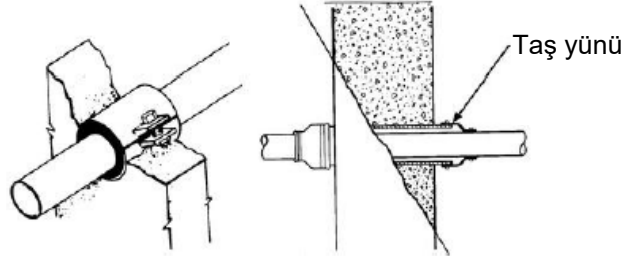
Cihazdan çıkan havalandırma kanalları ve borular, zemin, duvar ya da tavana bağlantısının Şekil 2' deki örneklere benzer şekilde olması gerekmektedir. Ayrıca iklimlendirme cihazlarında, cihazdan çıkan havalandırma kanalının çıkışa yakın olan kısımlarında kompensatör kullanılması titreşimin havalandırma kanallarıyla iletilmesinin engellenmesinde önemli rol almaktadır. [3]



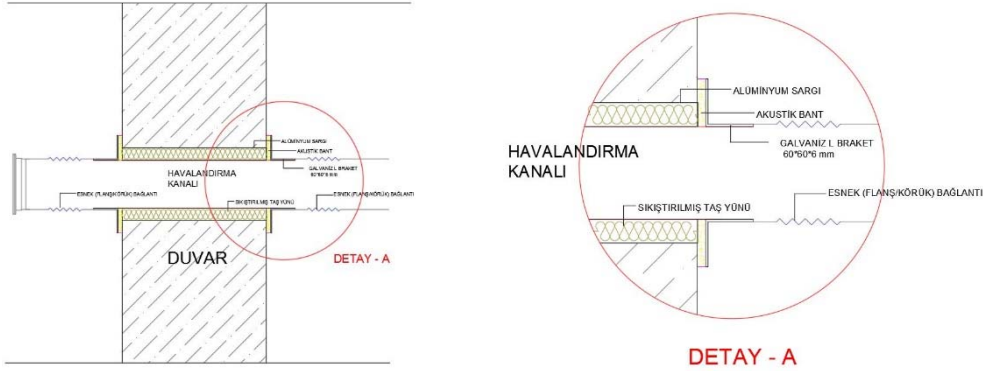
Şekil 3 Havalandırma Kanalı Esnek Bağlantı Gösterimi

### Kanal-Boru Ayırıcı Eleman Geçişi

Cihazın ürettiği titreşimin, borular ve kanallarla iletimi devam etmektedir. Esnek malzemelerle askılama ve zemine temasının yanında, duvar-döşeme ayırıcı bölme geçişlerinde de bina strüktürüne direkt temasından kaçınılması gerekmektedir. Geçişin yapıldığı bölgelerde teması, yünlü ya da yüksek yoğunluklu malzemelerle yapılması gerekmektedir.[3]



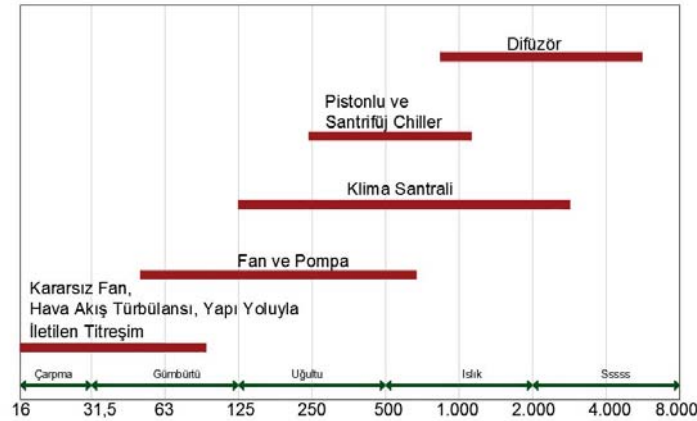
Şekil 4 Boru - Duvar Geçiş Gösterimi [3]



Şekil 5 Havalandırma Kanalı - Duvar Geçiş Detayı Gösterimi

## 4. HAVA DOĞUŞLU GÜRÜLTÜNÜN KONTROLÜ

İklimlendirme üniteleri, yatay-dikey pompalar, soğutma kuleleri gibi cihazlar farklı frekans spektrumunda gürültü üretmektedirler. (Şekil 6) Tasarım aşamasında, mekanik odada hangi tip cihazların olacağı belirlenmelidir. Farklı mekanik cihazlar için, gürültü spektrumuna göre ayırıcı eleman seçiminin yapılması gerekmektedir. [3]



Şekil 6 Mekanik Cihaz Gürültülerinin Frekans Spektrumları (Hz)

Ülkemizde bulunan “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” kapsamında, yapı içerisindeki hacim türlerine göre olması gereken arka plan gürültü seviyesi Tablo 4’ de verilmiştir. Mekanik tesisatın oluşturacağı gürültü, komşu hacimlerin arka plan gürültü seviyesini aşmayacak şekilde tasarımının yapılması beklenmektedir. [1]

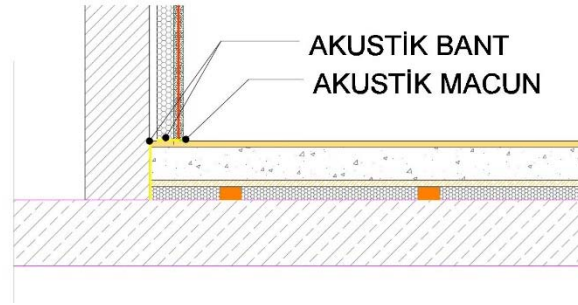
**Tablo 4 İç Ortam Gürültü Seviyesi Sınır Değerleri [1]**

Kullanım Alanı		Kapalı Pencere $L_{eq}$ (dBA)	Açık Pencere $L_{eq}$ (dBA)
		Kullanım alanlarında herhangi bir faaliyet olmadığı durumlardaki değerler:	
<b>Kültürel Tesis Alanları</b>	Tiyatro salonları	30	40
	Sinema salonları	30	40
	Konser salonları	25	35
	Konferans salonları	30	40
<b>Sağlık Tesis Alanları</b>	Yataklı tedavi kurum ve kuruluşları, dispanser, poliklinik, bakım ve huzur evleri ve benzeri.	35	45
	Dinlenme ve tedavi odaları	25	35
<b>Eğitim Tesisleri Alanları</b>	Okullardaki derslikler, özel eğitim tesisleri, kreşler, laboratuvarlar ve benzeri.	35	45
	Spor salonu,	55	65
	Yemekhane	45	55
	Kreşlerdeki yatak odaları	30	40
<b>Turizm Yerleşme Alanları</b>	Otel, motel, tatil köyü, pansiyon ve benzeri yatak odası	35	45
	Konaklama tesislerindeki restoran	35	45
<b>Sit Alanları</b>	Arkeolojik, doğal, kentsel, tarihi ve benzeri.	55	65
<b>Ticari Yapılar</b>	Büyük ofis	45	55
	Toplantı salonları	35	45
	Büyük daktilo veya bilgisayar odaları	50	60
	Oyun odaları	60	70
	Özel büro (uygulamalı)	45	55
	Genel büro (hesap, yazı bölmeleri)	50	60
	İş merkezleri, dükkanlar ve benzeri.	60	70
	Ticari depolama	60	70
	Lokantalar	45	55
<b>Kamu Kurum Kuruluşları</b>	Ofisler	45	55
	Laboratuvarlar	45	55
	Toplantı salonları	35	45
	Bilgisayar odaları	50	60
<b>Spor Alanları</b>	Spor salonları ve yüzme havuzları	55	65
<b>Konut Alanları</b>	Yatak odaları	35	45
	Oturma odaları	45	55

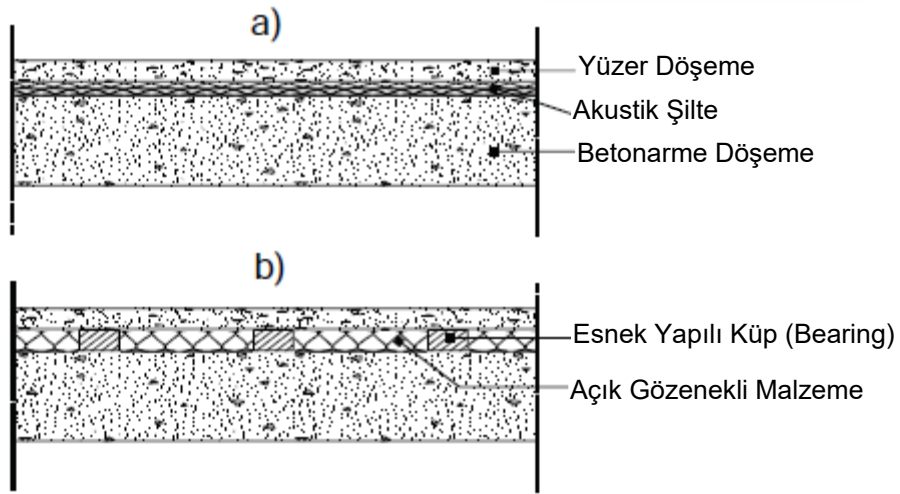
#### 4.1. Döşeme-Tavan Yalıtımı

Pompa, jeneratör, soğutma grubu, iklimlendirme cihazları gibi yüksek gürültü seviyesinde çalışan cihazların üst ve alt komşu hacme, hava doğuşlu ses geçişinin engellenmesi için yüzer döşeme sistemi uygulanması gerekmektedir. Yalıtım uygulamasında, arada esnek malzeme bulunan döşemelerin birbirine temas etmemelidir. Döşeme-duvar detaylandırılmasında arada akustik bant kullanımı önerilmektedir. (Şekil 7) Duvar ile döşemenin direkt temas ettiği durumlarda, yalıtım değeri

büyük ölçüde düşmektedir. Yüzer döşeme uygulaması birçok farklı türde olabilir, bunlardan en çok bilinen iki türü şap altı akustik şilte ve esnek yapıli küplerdir (bearing). (Şekil 8) [6]

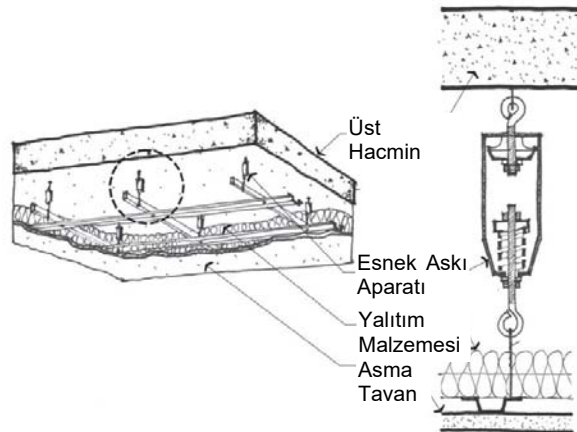


Şekil 7 Akustik Bant ve Macun Kullanım Yerleri



Şekil 8 Yüzer Döşeme Uygulama Prensipleri a) Akustik şilte uygulaması b) Elastik malzeme üzerine uygulama [6]

Mekanik hacmin üzerindeki mahalde, gürültüye karşı hassasiyet derecesine göre asma tavan uygulaması önerilmektedir. Uygulanacak detay gürültü spektrumuna göre değerlendirilmelidir. Yapılacak olan asma tavanın metal konstrüksiyonu esnek bağlantı elemanlarıyla tavana sabitlenmelidir. Duvar ile asma tavan birleşimi, Şekil 9' da gösterildiği gibi akustik bantlar üzerinden temas ettirilmelidir.[4]



Şekil 9 Esnek Askı Aparatıyla Asma Tavan Uygulaması

## 4.2. Duvar Yalıtımı

Mekanik hacimlerde bulunan cihazların belirlenmesinden sonra, ayırıcı duvar elemanlarının seçimi gürültü spektrumuna göre oluşturulmalıdır. Mekanik hacim içerisinde bulunan cihazların toplam ses gücü seviyesi hesaplanmalıdır. Detayı oluşturan yapı elemanının 1/3 oktav bant merkez frekanslardaki ses yalıtım değerlerine bakarak, gürültü spektrumuyla karşılaştırması yapılmalıdır.

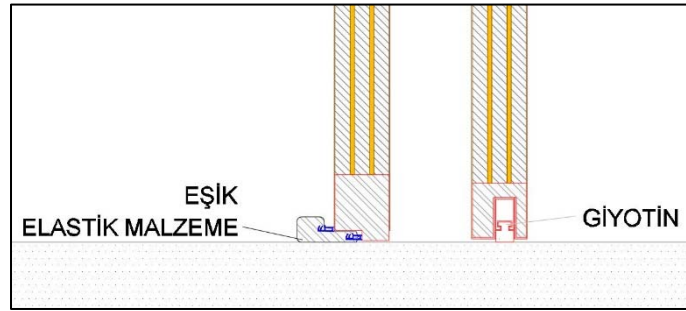
Yapı elemanlarının birbirleriyle temasında akustik bant ve yüksek yoğunluklu macun kullanımı önerilmektedir. Böylelikle ses köprüsü oluşumu ve sızdırmazlık önlemi alınabilir. Şekil 7' de örnek birleşim detayı gösterilmiştir. [6]

### Kapı-Pencere

Mekanik hacimlerde kapı ve pencere genellikle yalıtımın en zayıf noktalarıdır. Gürültü kontrolünün önemli olduğu yerlerde, kapılar mümkün olduğu kadar ağır olmalıdır. Kapı çerçevesi contayla çevrili olması önerilir. Kapı altlarında zemin yapısına göre giyotin ya da fırça kullanılmalıdır. [3]

Pencereler mümkün olduğunca az yüzey alanına sahip olmalıdır. Tek katlı cam katmanı yerine, (kritik rezonans sebebiyle) farklı kalınlıklara sahip, boşluklu cam detayları tercih edilmelidir.[2]

Üzerinde kapı ya da pencere bulunan bölme elemanlarının ses azaltım performanslarını incelerken, kompozit yapı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.[2]



Şekil 10 Akustik Yalıtımı İyileştirilmiş Kapı Örnekleri

### Menfez

Temiz hava ihtiyacı olan mekanik hacimlerde, hava açıklığı yaratmak için akustik menfez uygulaması yapılmalıdır. Belirli ses indirgemesi yapılsa bile gürültünün menfezden dışarıya iletimi olacaktır. Bu yüzden gürültüye karşı hassas olan bölgede akustik menfez çıkışı yapılmaması ya da yönünün değiştirilmesi gerekmektedir. Menfezin yapısı, akustik olarak geçirgen metal ve içerisi emici nitelikli malzeme kullanımı şeklinde olmalıdır. [3]



Şekil 11 Akustik Menfez Kesit Detayı

### 4.3. Reverberasyon Süresi Kontrolü

Komşu hacimleri ayıran bölücü duvarların performansını etkileyen faktörlerden biri de reverberasyon süresidir. Reverberasyon süresi, odanın hacmi ve toplam oda yutuculuğuna bağlı olarak değişmektedir. (Formül 1 ve 2) Mekanik hacimlerin reverberasyon süresinin artması, ayırıcı duvarın ihtiyaç duyulan ses yalıtım performansı ile doğru orantılıdır. (Formül 3) [8]

$$RT = \frac{0.161 \times V}{A} \quad (\text{Formül 1})$$

$$A = \alpha_n \times S_n \quad (\text{Formül 2})$$

RT	= Reverberasyon süresi, sn
V	= Odanın hacmi, m <sup>3</sup>
A	= Toplam oda yutuculuğu, Sabın
α	= Her bir malzemenin ses yutuculuk katsayısı
S	= Her bir malzemenin yüzey alanı, m <sup>2</sup>

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (\text{Formül 3})$$

D <sub>nT</sub>	= Standardize edilmiş seviye farkı, dB
L <sub>1</sub>	= Kaynak odasındaki ses basınç düzeyi, dB
L <sub>2</sub>	= Alıcı odasındaki ses basınç düzeyi, dB
T	= Alıcı odasındaki reverberasyon süresi, sn
T <sub>0</sub>	= Referans reverberasyon süresi, sn

### 4.4. Hava Kanallarında Gürültü Kontrolü

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik tesisat gürültüleri için, sürekli gürültüye sahip servis ekipmanlarına bağlı izin verilen en yüksek iç gürültü düzeylerini, akustik performans sınıfına göre belirtmektedir. [2] Verilen sınır değerlere göre oluşabilecek havalandırma kanallarının ortaya çıkardığı gürültü seviyesini düşürmenin birçok yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları,

- Hava akım hızının düşürülmesi,
- Kanal içine yalıtım malzeme uygulaması,
- Kanal kesitinin en-boy oranında değişiklik yapılması,
- Dikdörtgen kanal kullanımı yerine, dairesel kanal kullanılması,
- Doksan derece dönüşlerden kaçınılması,
- Köşe dönüşlerinde yuvarlak dirsek ya da kanat kullanımı,
- Plenum kutusu kullanımı,
- Susturucu kullanımı,
- Damper kullanımından kaçınılması,
- Gürültülü hacimlerden geçen kanalların dışının, yalıtım malzemesiyle kaplanması,
- Alıcı odasında menfezin şaşırtmalı şekilde konumlandırılması,
- Alıcı odasının reverberasyon süresinin düşürülmesidir. [3]



## 5. SONUÇ

Bina ve tesislerde, mekanik tesisatlar ana gürültü kaynağıdır. Özellikle yaşam ve çalışma alanlarının akustik konforunun sağlanması için alınan tüm önlemlerin uygulanması titiz olmalıdır. Yukarıda gürültüyü oluşturabilecek konular ele alınmıştır. Her bir konuyla ilgili çözüm yöntemleri belirtilmiştir. Bu çözüm yöntemlerin değerlendirilmesinden sonra 22 maddelik bir liste ile mekanik tesisattan oluşabilecek gürültünün kontrol adımları oluşturulmuştur.

### *Oda Konumu için,*

- 1- İklimlendirme ve havalandırma sistemi, mimari yapısal düzen ile birlikte tasarlanmalıdır.
- 2- Yapı içerisindeki gürültülü hacimler ve gürültüye karşı hassas hacimler, derecelendirilmelidir. Bölgesel olarak aynı tipteki hacimler bir arada bulunmalıdır.
- 3- Mekanik tesisat odaları, sessiz olan mahallerden uzağa konumlanmalıdır. Bina içerisindeki teknik hacme yerleştirilecek olan cihazlardan kaynaklı, katı ve hava doğuşlu gürültüler oluşabilir.
- 4- Teknik hacimler ile gürültüye karşı hassas olan hacimler arasında, depo odaları, kiler ve koridor gibi mahallerle tampon bölgeler oluşturulmalıdır.
- 5- Mekanik Hacimlerin kapıları, gürültüye karşı hassas olan mahallere açılmalıdır.
- 6- Bina dışına açılması planlanan kapı, pencere ve menfezler, çevresel gürültü oluşturmayacak şekilde konumlandırılmalıdır.

### *Katı Doğuşlu Gürültü ve Titreşim Kontrolü için,*

- 7- Teknik hacimlerde mekanik cihazları, kiriş ve kolon gibi bina taşıyıcı elemanlarından uzakta konumlandırılmalıdır.
- 8- Mekanik cihazlar, istenilen yalıtım değerine göre yay veya esnek malzemeye birlikte döşemeye yerleştirilmelidir.
- 9- Motor ve fanla çalışan ekipmanlardaki en düşük doğal frekansın, binanın doğal frekansıyla çakışmayacak olmasına dikkat edilmelidir.
- 10- Mekanik ekipmanların yerleşimi, gerek duyulursa kaide üzerine olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kaide tipinin belirlenmesinde ilgili seçim tablolarından yararlanılmalıdır.
- 11- Ekipmanları desteklemek-sabitlemek için kullanılan, cihazın giriş ve çıkışına en yakın 15 metredeki döşeme veya tavanla temasının esnek bağlantı elemanlarıyla yapılmalıdır.
- 12- Borulama yapılması gereken ekipmanlarda, esnek boru bağlantıları kullanılmalıdır (Örn. pompa bağlantısı).
- 13- Havalandırma kanallarının cihazdan giriş ve çıkışlarında, cihaz titreşiminin kanallara iletimini kesmek için, branda kompensatör uygulanmalıdır.
- 14- Kanal-boru duvar döşeme geçişlerinde, bina strüktürüne direkt temasın kesilmesi sağlanmalıdır. Uygun esnek yapılı malzemeler kullanılarak geçiş detayını oluşturulmalıdır.

### *Hava Doğuşlu Gürültü için,*

- 15- Cihazların oluşturacağı gürültünün spektrum karakteri, yalıtım yöntemi için değerlendirilmelidir. Mümkün olduğunca sessiz ekipmanların kullanılması tercih edilmelidir.
- 16- Mekanik hacim içerisinde oluşacak gürültünün, komşu hacimlere geçişi hesaplanmalıdır. Yapılacak olan hesapta, alıcı odasının iç ortam gürültü sınır değerine göre uygunluğu gösterilmelidir.
- 17- Duvar, tavan-döşeme tipi belirlenirken, gerekli hesaplar yapılmalıdır. İhtiyaca göre detaylar oluşturulmalıdır.
- 18- Yapı elemanlarının birbirleriyle direkt teması bulunmamalıdır. Duvar, tavan-döşeme bağlantıları, esnek ve yüksek yoğunluklu malzemeler (akustik bant, akustik macun) kullanılarak uygulanmalıdır.
- 19- Gürültü kaynağı olan mahallerde, açılan kapı ve pencereler belirlenmiş bir yalıtım değerine sahip olmalıdır.
- 20- Hacimde temiz hava ihtiyacını karşılamak için yapılacak açıklıklarda akustik menfez uygulaması kullanılmalıdır.
- 21- Teknik merkezdeki toplam gürültü seviyesinin kontrolünü sağlamak için, hacmin iç yüzeyinde ses yutucu nitelikli malzemeler kullanılmalıdır. Gerekecek malzeme miktarını belirlemek için reverberasyon süresi hesabının yapılması önerilmektedir.



22- Mekanik cihazlardan çıkan boru ve kanallar gürültü kontrolü altına alınmalıdır. Alınabilecek önlemler, *4.4 Hava Kanallarında Gürültü Kontrolü* başlığı altında listelenmiştir. Mümkün olduğunca belirtilen önlemlerin alınması, gürültü seviyesinin düşürülmesini sağlayacaktır.

### Kaynakça

- [1] *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete: 27601, 2010*
- [2] *Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete: 30082, 2017*
- [3] *ASHRAE Handbook: Chapter 48 - Noise and Vibration Control, 2005*
- [4] *Ermann M., Architectural Acoustics Illustrated, John Wiley & Sons, New Jersey, 2015*
- [5] *Everest A. F., The Master Handbook of Acoustics 4th Edition, McGraw-Hill, USA, 2001*
- [6] *Vigran, T. E., Building Acoustics, Taylor & Francis Group, USA, 2008*
- [7] *TS EN ISO 717-1:2013, Akustik – Yapılarda ve Yapı elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı*
- [8] *TS EN ISO 12354-1:2017, Yapı Akustiği – Yapıların Akustik Performansının Elemanlarının Performanslarının Hesaplanması – Bölüm 1: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı*

### ÖZGEÇMİŞ

#### Mert KAVAS

1991 yılı İzmir doğumludur. 2015 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2016 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü'ne katılmıştır. Tez konusu, akustik bilimi ve bina akustiğinde kullanılan ölçüm ekipmanları üzerine yaparak Yüksek Makine Mühendisi ünvanını almıştır. 2015 yılında akustik danışmanlık ve projelendirme firmasında makine mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2018 yılı sonunda Kavas Akustik Danışmanlık & Projelendirme şirketi kurucusu olmuştur. Akustik alanında ulusal ve uluslararası projelerde hem sektörel hem de akademik olarak profesyonel çalışmalarına devam etmektedir.



# MEKANİK ODALARDA SES YALITIMI VE TİTREŞİM KONTROLÜ UYGULAMALARI

*Sound And Vibration Control Application For Mechanical Rooms*

**C. Volkan Dikmen**

## ÖZET

Bildiride, gürültü yönetmeliği çerçevesinde yapılarda konfor açısından ses ve titreşim yalıtımının önemi anlatılmaktadır.

Mekanik hacimlerde uygulanan sismik koruma titreşim kontrolü ve ses yalıtımı örnek akustik raporlar ve detay çözüm önerileri ile incelenmektedir.

Mekanik odalarda uygulanan yüzer döşeme uygulamaları ve titreşim yalıtımı için kullanılacak yayların ekipman tiplerine göre ve Uluslararası Bina Kodu 2006 (IBC 2006) seçimleri ve hesap yöntemleri verimlilik analizleri gösterilmektedir.

Sismik koruma ve titreşim yalıtımını aynı anda yapabilen ürünlerin uygulaması ve sadece titreşim kontrolü yapıldığı durumlarda titreşim yalıtımını bozmadan sismik sınırlamaların yapılması yöntem ve analizleri paylaşılacaktır.

Yüzer döşemelerin ses ve titreşim yalıtımını ne şekilde sağlayabildiği test raporları ve örnek uygulama incelemeleriyle açıklanacaktır.

Düşük dinamik sertliğe sahip titreşim yalıtım yapan ürünlerin yapısal analizi ve sistem içerisindeki çalışma prensibi gösterilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** yüzer döşeme, sismik koruma, titreşim kontrolü ve ses yalıtımı, Uluslararası Bina Kodu, düşük dinamik sertlik.

## ABSTRACT

In this bulletin the importance of sound and vibration isolation according to comfort issues in buildings in recent noise regulations is being explained. Seismic protection, vibration control and sound insulation that is used in mechanical rooms is being explained with sample acoustic reports and detailed solution suggestions. Floating floor applications in mechanical rooms and selection of springs that will be used for vibration isolation springs will be shown according to equipment types of springs and International Building Code 2006 (IBC 2006) and with calculation method efficiency analyses. Application of products that have the capacity to work for both seismic protection and vibration isolation and method and analysis where seismic restraint can be done without destructing vibration isolation in situations that only vibration control is done will be shared. How floating floors can provide sound and vibration insulation will be explained with test reports and sample application analyses. Structural analysis of products which have low dynamic stiffness that has capacity to provide vibration isolation and working principle in system will be shown.

**Keywords:** floating floor, seismic protection, vibration control and sound isolation, International Building Code, low dynamic stiffness.

## 1. GİRİŞ

Bir akustik ve makine mühendisinin ortak görevlerinden biri, hangi ekipmanın titreşim ve ses yalıtımına ihtiyacı olduğuna, hangi tipte ve ne kadar çökme yapabilen titreşim alıcı kullanılacağına karar vermektir. Bu ekipmana, ayrıca bir de sismik koruma yapmak gerekiyorsa, olay daha da karmaşık hale gelmektedir.

Akustik ve makine mühendislerinin başarmaya çalıştıkları ile, deprem mühendislerinin başarmak zorunda oldukları şey arasında bir çatışma vardır.

Kullanılan ses-titreşim yalıtım sistemi, sismik koruma yapılmadan da akustik olarak iyi olsa bile, mühendis, bu dikkatle planlanmış ses-titreşim yalıtım sistemi ile birlikte çalışacak sismik sistemi seçmelidir.

## 2. SES ve TİTREŞİM KONTROLÜ DETAY ve ÇÖZÜMLERİ

Genel olarak uygulanan akustik ve titreşim koruma önlemleri (esnek ve güçsüz bağlantılar) tesisat ve ekipmanların deprem esnasındaki riskini yaklaşık 2 kat oranında arttırmaktadır.

Bu sebeple detay çözümleri akustik, titreşim ve sismik açıdan birlikte değerlendirilmelidir.

Mekanik hacimlerde farklı frekanslarda çalışan ve istenmeyen ses oluşturan fan, pompa,kazan gibi birçok ekipman bulunmaktadır. Bu hacimlerde oluşan hava doğuşumlu sesi kesmenin 2 temel yolu vardır.

- Duvar-döşeme ya da tavan kütlelerini arttırmak
- Hava boşluğu oluşturmak

Yapı elemanlarında kütleli 2 katına çıkararak STC (Sound Transmission Class) değerini en fazla 5dB arttırabiliriz.

Örnek olarak;

150mm kalınlığında bir betonarme döşemenin değeri STC 54 ise,  
Kütle 2 katına çıktığında;

300mm kalınlığında bir betonarme döşemenin değeri STC 59,

İlk kütle 4 katına çıktığında;

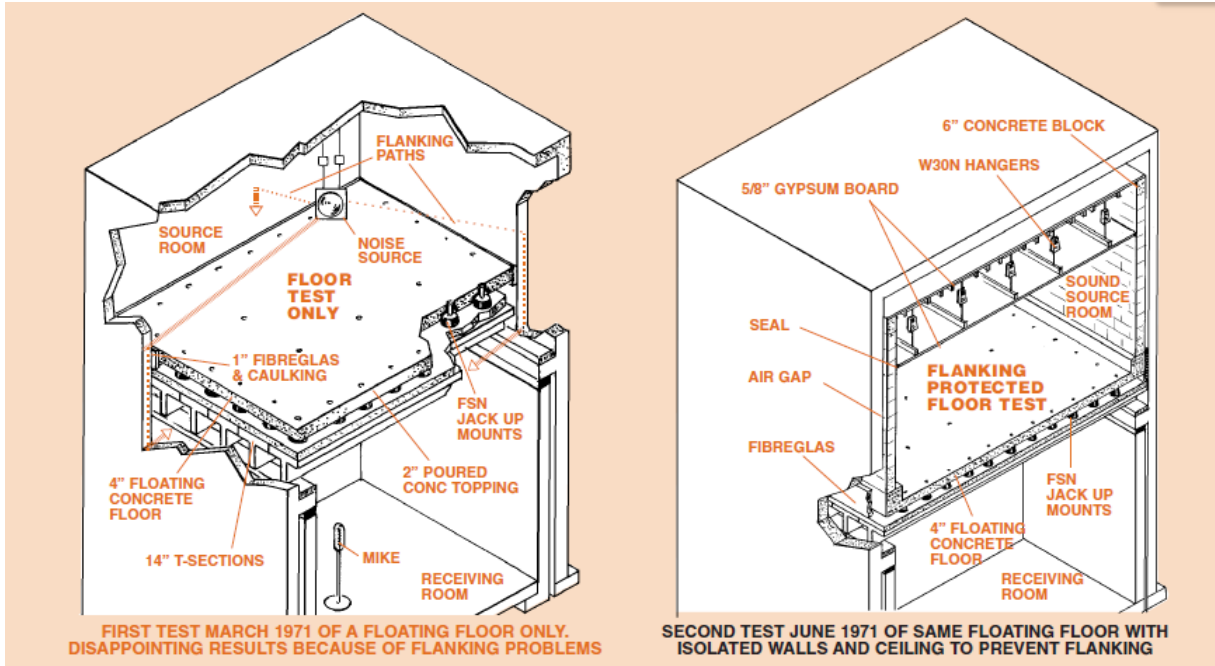
600mm kalınlığında bir betonarme döşemenin değeri STC 64 olacaktır.

Bu durumda 600mm kalınlığında betonarme bir duvar-döşeme ya da tavan detayı oluşturmak gerekir ki bu genelde oldukça zordur, binaya yük getirir ve maliyetlidir.

### 2.1. Liftli Yüzer Döşeme Önerileri (Jack-up Floating Floor)

Yapılması gereken akustik aşama, ağırlığı belirledikten sonra iki bileşeni birbirinden ayıracak hava boşluğu ve esnek destekleri dizayn etmektir. En çok tercih edilen yüksek performanslı yüzer döşeme sistemleri kaldırmalı-liftli (Jack-up) sistemleridir. (1)

Bu sistemlerle oluşturulan hava boşluğu STC değerini sıra dışı arttıracaktır. Aşağıdaki test sonuçlarında bu etkiler görülmektedir.



Şekil 1. Yüzer Döşeme Detayı

FIRST TEST DATA IN BROWN, SECOND TEST DATA IN BLACK												
Freq. (Hertz) (cps)	Basic T sections and 2" cover	TRANSMISSION LOSS (dB) COMPARISON					2" air gap with 75% fiber glass infill					
		0"	1"	2"	3"	4"						
100	39	38	38	43	50	42	56	45	59	46	56	57
125	39	47	47	44	57	44	60	47	62	47	63	59
160	40	46	46	45	55	45	58	47	59	47	61	61
200	42	49	49	46	63	45	65	46	67	46	66	68
250	45	51	51	47	67	48	69	50	72	50	72	73
315	49	52	52	54	73	54	75	55	77	54	78	79
400	47	50	50	56	73	56	74	57	74	57	77	78
500	50	55	55	58	78	59	80	60	80	60	82	83
630	52	54	54	61	83	62	85	62	86	62	87	86

Riverbank TL-71-152 March 71 Riverbank TL-71-247 June 71

\*While the use of infill raises the STC an additional 3 in a 2" air gap, we feel it is overkill as field flanking will prevent achieving the higher value. The floating floor @79 STC is already the most sound resistant path.

FIRST TEST DATA IN BROWN, SECOND TEST DATA IN BLACK												
Freq. (Hertz) (cps)	Basic T sections and 2" cover	TRANSMISSION LOSS (dB) COMPARISON					2" air gap with 75% fiber glass infill					
		0"	1"	2"	3"	4"						
800	51	52	52	63	85	63	86	64	87	65	86	88
1000	52	55	55	68	88	68	88	69	88	69	87	89
1250	55	58	58	72	93	72	93	72	92	73	91	95
1600	58	61	61	74	97	73	96	74	95	75	93	97
2000	60	63	63	75	97	75	101	76	99	77	97	97
2500	62	65	65	80	101	79	104	79	101	80	101	100
3150	65	67	67	82	104	84	105	85	107	86	103	104
4000	68	71	71	87	105	90	106	92	105	91	104	106
5000	70	72	74	91	102	93	101	100	99	97	99	103
STC	54	57	57	61	76	61	79	63	80	63	82	82*
INF		-27	-27	17	17	17	17	17	17	18	18	
IIC		-24	-24	68	68	68	68	68	68	69	69	

Riverbank TL-71-152 March 71 Riverbank TL-71-247 June 71

Şekil 2. Test Sonucu

Örnekteki teste mevcut döşeme 6" (150mm) kalınlığında iken üzerine gelen 4" (100mm) kalınlığındaki beton STC değerini 3dB iyileştirmektedir.

Fakat bu değer 100mm kalınlığındaki döşeme 50mm kaldırıldığında mevcut döşemeye göre 25dB birden inanılmaz şekilde artmaktadır. Boşluğu 100mm'e kadar arttırdığımızda değer 28dB'e ulaşmaktadır.

Mevcut Döşeme 150mm kalınlık	STC 54
0 hava boşluğunda 150+100mm	STC 59
50 hava boşluğunda 150+100mm	STC 79
100 hava boşluğunda 150+100mm	STC 82

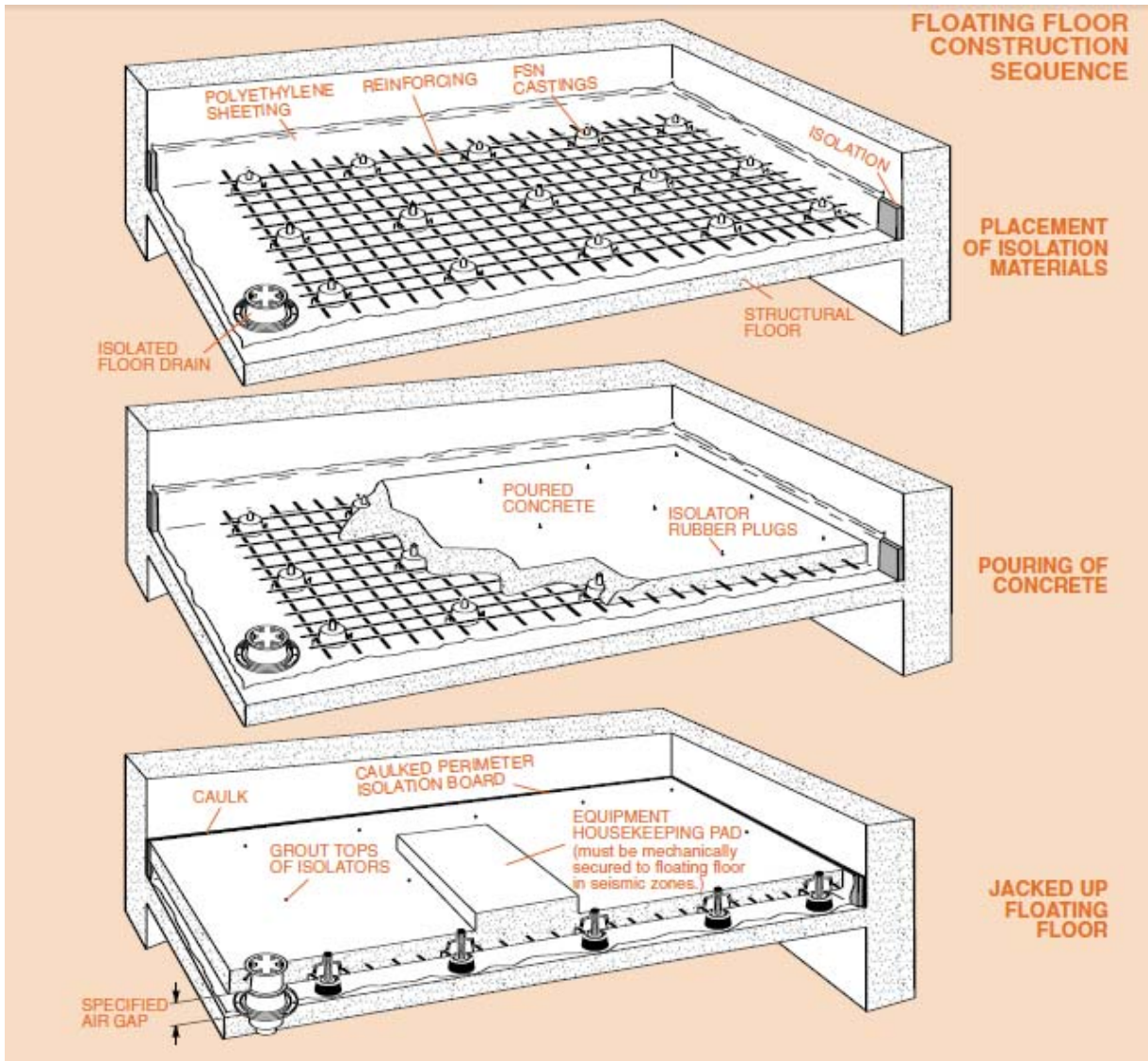
Normal olarak teoride hava boşluğunu 2 kat arttırmak 5dB iyileştirme sağlaması gerekirken, rezonanslar sonucu 3dB olarak ölçülmüştür.

Hava boşluğu ses yutucu düşük yoğunluklu mineral yün malzemelerle (Camyünü ya da taşıyünü) doldurulduğunda, test sonucunun 50mm hava boşluğunda STC79'dan STC82'ye geldiği görülmektedir.

Bu denli yüksek ses kesme seviyelerinde, yutucularla sağlanan 3dB çok da büyük bir fark değildir.

Bu tip lift şeklindeki (Jack-up) yüzer döşeme uygulamalarında kullanılan destek ayaklarının görevi sistemi desteklerken, hava boşluğunun da görevini yapmasına destek olmaktır. Bu amaçla kullanılan yaylar özel olarak bu iş için imal edilmeli ve yük altında –ömrü boyunca aynı performansı sağlamalıdır. Eğer kauçuk destekler kullanılacaksa dinamik sertliği düşük LDS (Low Dynamic Stiffness) kauçuklar tercih edilmelidir.

Her ayak bir geçiş yolu olduğundan daha az sayıda ve daha esnek destekler dizayn edilmelidir. Şartnameler hazırlanırken, imalat tekniklerinin yanı sıra, malzemelerin performans karakteristikleri, uygulama şekilleri ve fiziksel özellikleri de belirtilmelidir.



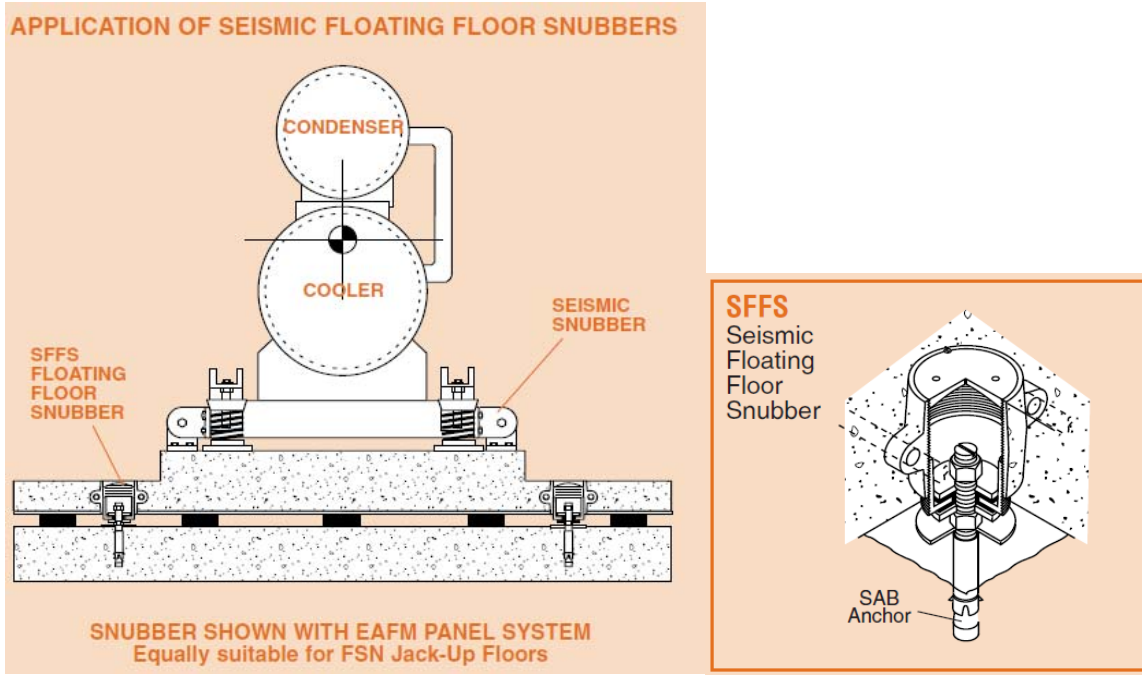
Şekil 3. Yüzer Döşeme Detay Örnekleri

Yukarıdaki test raporunun ilk kısmındaki değerlerin verimi çok da yüksek değildir. İkinci testte bu değerler bahsi konu olan sıra dışı değerlere yükselmiştir.

Bunun sebebi ilk testte duvarlar ve tavan yalıtılmamıştır. Böylece duvarlar ve tavan yansıtıcı levhalar (Flanking pads) şeklinde çalışarak sesi binanın iskeleti vesilesi ile alt kata geçirmiştir.

İkinci testte esnek desteklerle bağlanan ses kesici duvar ve tavan detayları oluşturulmuş ve istenen sonuca ulaşılmıştır. (1)

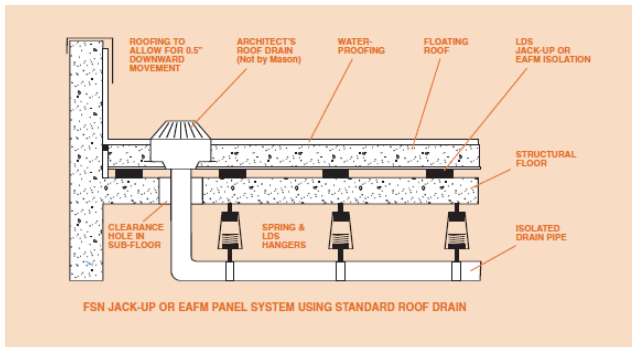
Ayrıca mevcut döşememi üzerine oluşturulan bu yüzer döşemeler deprem bölgelerinde özel akustik sismik sınırlayıcılarla zemine monte edilmelidir. Kullanılan bu sismik sınırlayıcılar ses ve titreşimin geçişine izin vermeyecek şekilde dizayn edilmiş olmalıdır.



**Şekil 4.** Sismik Sınırlayıcılı Form Work Yüzer Döşeme Detayı

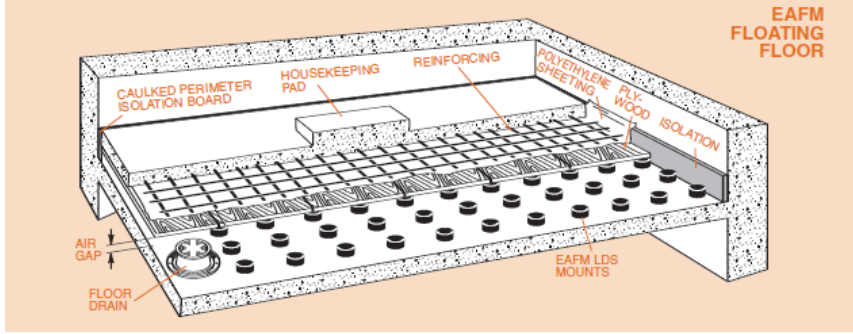
Döşemenin zemine sismik montajı için Uluslararası bina kodlarına (IBC) göre sismik hesaplar yapılmalıdır.

Dizaynı yapan akustik danışmanın aynı zamanda su ve yangın yalıtımı çözümlerini sunması zaman zaman gerekmektedir.



## 2.2. Kalıplı Yüzer Döşeme Örnekleri (Formwork Floating Floor)

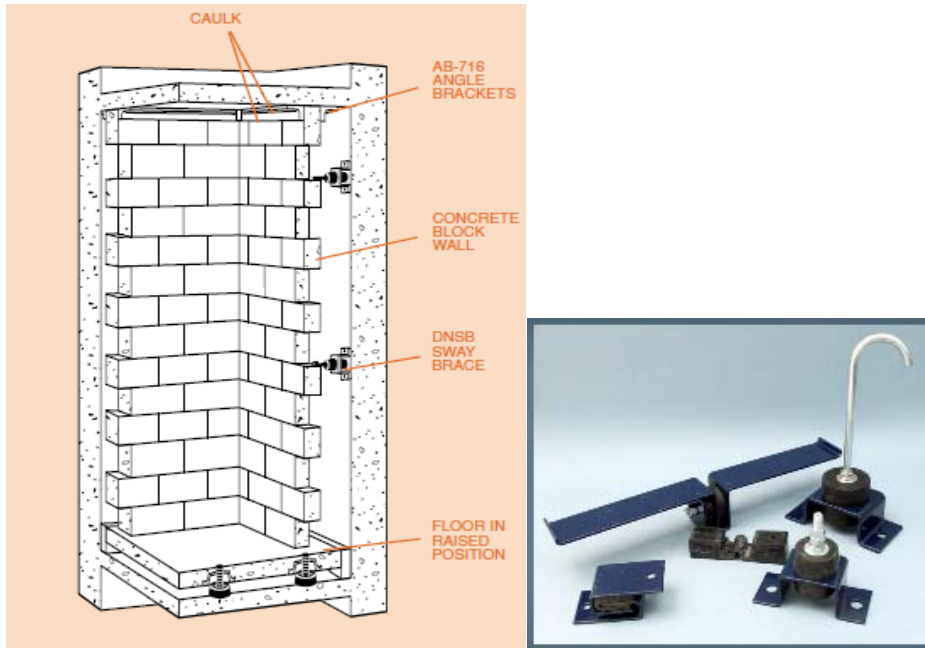
Bir diğer tavsiye edilen yüksek performanslı yüzer döşeme sistemi kontraplak kalıplı (Form work) sistemidir. Bu sistemde de LDS kauçuklarla oluşturulan destekler kalıp görevi yapan bir kontraplağı taşımaktadır. Yüzer döşeme betonu da bunun üzerine donatılı olarak dökülmektedir.



Şekil 5. Kalıplı Yüzer Döşeme Detayı

## 2.3. Ses Yalıtımlı ve Yüzer Duvarlar

Duvarlar dizayn edilirken tuğla, betonarme gibi malzemelerden oluşturulacak 2. duvar ses yalıtımı açısından oldukça başarılı olacaktır. Bunlar da monte edilirken katı iletimini kesmek amacı ile esnek desteklerle monte edilmelidir. Aşağıdaki örnekte görüleceği gibi 2.duvarla beraber  $R_w=69\text{dB}$  gibi oldukça iyi bir yalıtım değeri sağlanmıştır. Bu detayda olduğu gibi duvar arasında ses yutucu lifli bir malzeme ve 2. duvarın üzerinde ağır ses bariyeri (Heavy sound barrier  $5\text{kg/m}^2$ ) kullanmak bu verimi sağlamıştır.

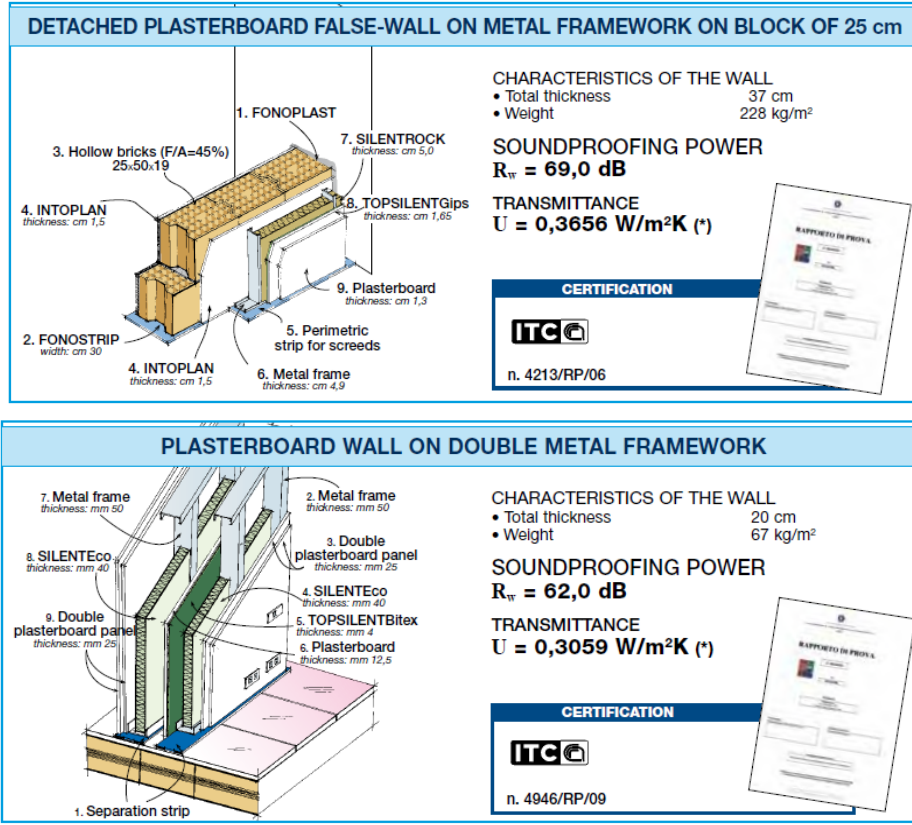


Şekil 6. Yüzer Duvar Detayı

Bir diğer uygulamada alçı plakalarla imal edilen bölme duvarlardır. Sıklıkla kullanılan çift taşıyıcılı , 2 kat taşıyıcı ve 4 kat alçı plakadan oluşan klasik sistemin  $R_w$  değeri  $53\text{dB}$ 'dir.

Buna karşın duvarın içinde kullanılan ağır ses bariyeri ( $5\text{kg/m}^2$ ) ile  $R_w$  değeri  $62\text{dB}$ 'e çıkmaktadır.  $9\text{dB}$ 'lik bir iyileşme sağlanmaktadır. Eğer bu bariyer çift kat kullanılmış olsaydı iyileşme  $12\text{dB}$  gibi bir rakam olacak ve  $R_w$  değeri de  $65\text{dB}$ 'ye ulaşacaktır. (2)

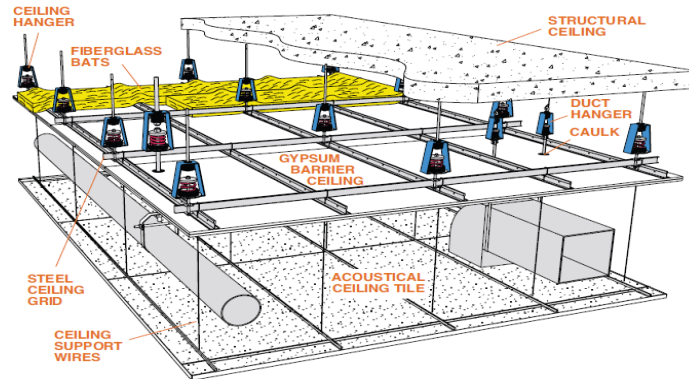




Şekil 7. Ses Yalıtımlı Bölme Duvar Detayı

## 2.4. Ses Yalıtımlı Asma Tavanlar

İstenmeyen sesin mahalın üst katına çıkmasını ve bina iskeleti vesilesi ile tamamen yayılmasını engellemek için akustik asma tavan imal edilmelidir. Asma tavanlar alçı plaka gibi hafif ve rijid malzemelerden imal edildiği için 2plaka arasında esnek ve ağır ses bariyerleri kullanılmalıdır. Asma tavan üzerinde kullanılacak lifli malzemelerde tavan içinde bir yutucu mahal oluşturacaktır. Asma tavanın ve mekanik odanın özelliklerine bağlı olarak yaylı ya da LDS kauçuktan oluşturulan esnek bir sistemle asılmalı ve titreşimin geçişi engellenmelidir. (2)



Şekil 8. Ses Yalıtımlı Asma Tavan Detayı

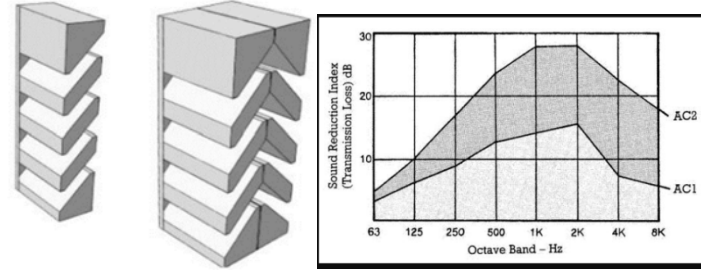
## 2.5. Ses Yalıtımlı Kapılar ve Hava Menholleri

Mekanik hacimlerde taze havanın girişini, kirli havanın atılmasını sağlayacak menholler bırakılmaktadır. Zaman zaman kapılarda kullanılmaktadır.

Bu amaçla menholler ve kapılar akustik panjur (acoustic louvre) haline getirilmelidir.

Genel olarak 2 tip akustik panjur kullanılır. Birincisi tek kanatlı ikincisi ters V şeklinde dizayn edilen çift kanatlı panjurlardır. Panjur dizaynı yapılırken mahal içindeki ekipmanların hava ihtiyaçları hesaplanır. Menhol alanları da bu hava ihtiyacı ve panjurun oluşturacağı dirence (Basınç kaybına) göre dizayn edilir.

Aşağıda örnek tek ve çift kanatlı akustik panjur için ses indirgeme değerleri görülmektedir.



Şekil 9. Ses Yalıtımlı Kapılar ve Hava Menhollerine Örnek

## SONUÇ

Sonuç olarak mekanik hacimlerin ses yalıtım dizaynı yapılırken oda içinde oda esnek olarak inşa edilmeli, titreşim geçirmemeli ve sismik sınırlayıcılarla monte edilmelidir.

İdeal mekanik oda mekanik proje müellifi, mimar, akustik danışmanın ve sismik danışmanın ortak çalışması sonucunda ortaya çıkabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Mason Industries, Seismic Restraint Guidelines, September 2011
- [2] Index, Acoustic and Thermal Insulation For Buildings, Ed.2010-1



## ÖZGEÇMİŞ

### C. Volkan DİKMEN

1970 yılı doğumludur. 1987 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne girmiştir. Okuldan mezun olduktan sonra imalat ve proje konularında 3 yıl çalışmıştır, daha sonraki yıllarda tesisat sektöründe teknik, satış ve pazarlama konularında görev yapmıştır.Yapısal olmayan deprem koruması ve titreşim-ses yalıtımı konularında ABD’de eğitim almıştır.2003 yılında kurduğu DKM İnşaat ve Danışmanlık firmasında kurucu ortak olarak görev yapmaktadır.Akustik, Titreşim ve Deprem koruma konularında ile ilgili yayınlamış teknik makaleleri ve uluslar arası sempozyumlarda sunumları mevcuttur. %100 geri dönüşüm kauçuktan ürettiği ve ticarileştirdiği, kendine ait ISI VE SES yalıtımı yapan malzeme **patenti** mevcuttur.Ürün yurtiçi ve yurtdışında birçok ödüle (4. Int. Sustainability Syposium (TEXAS) da “BEST SUSTAINABLE PRACTICE” ölüü ) layık görülmüştür.Yurtiçinde de aldığı çok sayıda farklı sektörel ödülleri mevcuttur.Toplam yayınlanmış 2 patent, 2 faydalı model, 1 tasarım tescili mevcuttur. İZODER, TAKDER, TTMD, İSKİD, SKD üyesidir.Sürdürülebilir, geri dönüşüm ve enerji tasarruflu inovatif malzemeler konusunda çalışmaktadır.Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Mimar Sinan Mimarlık Bölümünde konuk eğitmen olarak tecrübelerini öğrencilerle paylaşmaktadır.

# TSE GÜVENLİ VE YEŞİL BİNA BELGELENDİRME SİSTEMİNİN DEPREM BÖLGELERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

*Evaluation of TSE Safe And Green Building Certification System In Earthquake Zones*

**Birol Kılış  
Hasan Alpay Heperkan**

## ÖZET

2010 senesinde yürürlüğe giren ulusal TSE Güvenli ve Yeşil Bina belgelendirme sisteminin son depremlerle önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Söz konusu öneme yönelik sistemdeki dört ana farkındalık bu panelde öncelikle anlatılmaktadır. Bu farkındalıklar sırası ile, depreme dayanıklılık, elektromanyetik kirlilik, radyoaktif salım riski, enerjinin faydalı iş potansiyelinin binada yeterince değerlendiriliyor olması ve buna bağlı ek CO<sub>2</sub> salım sorumluluklarının da puanlamaya dahil edilmesidir. Özellikle aktif fay hatlarını ilgilendiren konu depreme dayanıklılık puanlarıdır. Depreme dayanıklılık Richter ölçeğine göre yedi değerinin altında olan binalar veya bina tasarımları en baştan reddedilmekte ve belge verilmemektedir. Daha iyi deprem dayanıklılığı belgeler ile ortaya konan ve yerinde incelemelerle kanıtlanan binalar Richter ölçeğine paralel biçimde puan alabilmektedir. Binanın ekserji akılcılığına da puan verilmektedir. Yapılmakta olan güncellemeler arasında deprem izolatörleri, çelik yapılar için de puanlama kriterleri geliştirilerek son depremlerden elde edilen bilgilere göre puanlar yenilenerek bu sistemin ikinci versiyonu açıklanmaktadır. Binalarda akılcı ekserji metrikleri de kapsamlı biçimde örneklerle anlatılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil Bina, TSE Güvenli-Yeşil Bina Belgesi, Deprem Güvenliği

## ABSTRACT

The importance of the national TSE Safe and Green Building certification system, which entered into force in 2010, has been revealed once again with the recent earthquakes. The four main awareness in the system regarding the importance in question are primarily explained in this panel. These awarenesses are; earthquake resistance, electromagnetic pollution, radioactive emission risk and whether the useful work potential of energy is adequately evaluated in the building and the additional CO<sub>2</sub> emission responsibilities related to this are included in the scoring, respectively. Particularly the issue that concerns active fault lines is earthquake resistance scores. Buildings or building designs with an earthquake resistance value below seven on the Richter scale are rejected from the outset and are not documented. Buildings with better earthquake resistance documented and proven by on-site inspections can score parallel to the Richter scale. Points are also given to the exergy rationality of the building. Among the updates being made, scoring criteria are developed for earthquake isolators and steel structures, and the scores are renewed according to the information obtained from the last earthquakes, and the second version of this system is announced. Rational exergy metrics in buildings are also explained extensively with examples.

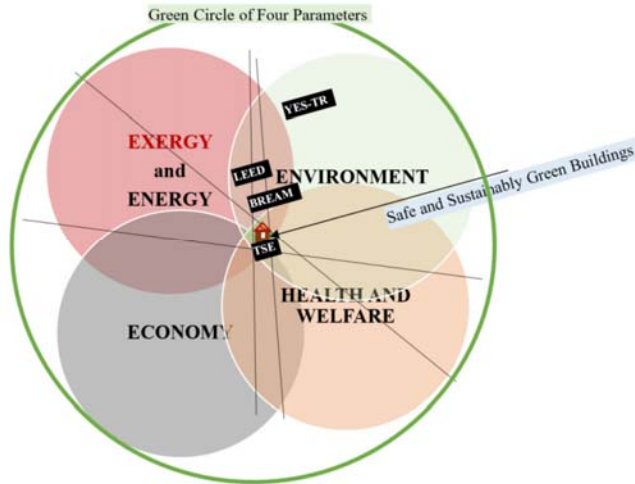
**Keywords:** Green Building, TSE Safe-Green Building Certificate, Earthquake Safety

## 1. GİRİŞ

TSE tarafından, 'Ulusal Güvenli-Yeşil Bina Belgelendirme Sistemi' oluşturulabilmesi amacıyla 'Sürdürülebilir Enerji Yönetimi' ilkelerine uygun bir puanlama sistemi geliştirilmiştir [1, 2, 3]. Bu puanlama sisteminde; ülkemizde hızla gelişmekte olan Enerji Verimliliği, Yenilenebilir Enerji, Yerli/Yenilikçi Enerji uygulamalarının sürdürülebilir gelişimini temin edecek şekilde 'Sürdürülebilir Enerji Yönetimi' ağırlığı diğer belgelendirme sistemlerine kıyasla daha ağırlıklı olacak şekilde (%40 olarak) değerlendirilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif ve akılcı kullanımını içeren, ölçülebilir veya hesaplanabilir parametrelerle, mevcut ulusal standartların (TSE 825, TSE EN 13790, vb.) ve mevzuat/yazılım altyapısının (Örneğin BEP-TR Yönetmeliği ve Yazılımı) kullanılmasına olanak sağlayacak şekilde özgün bir puanlama sistemi önerilmiştir.

## 2. TSE GÜVENLİ VE YEŞİL BİNA BELGELENDİRME SİSTEMİ

Bu yerli ve ulusal bilgi birikimli sistemin hazırlık çalışmalarına değişik üniversitelerden birçok akademisyen ve kuruluşlardan yetkililer katılmıştır. Bu sistemin ana özelliği sadece yeşil bir bina değil, çok yönlü bir bütüncül bakış açısı ile yaşam güvencesini sürdürülebilir bir biçimde sunabilen bir bina olarak hedeflemesidir. Diğer tüm yeşil bina sertifikalarından ayrılan en önemli özelliği depreme dayanıklılık ve çevresel yarar olarak Termodinamiğin İkinci Yasasına (Ekserji) başvuruyor olmasıdır. Şekil 1 de toplumsal yaşamın birbiri ile çelişen dört ögesinin (Enerji ve Ekserji, Çevre, Sosyal Güven ve Refah ve Ekonomi) örtüşebildiği çok dar bir alana sadece TSE sisteminin yerleşik olmasıdır. Diğer tüm belgelendirme sistemleri bu dört ögenin tamamına ve kısıtların tümüne cevap vermemektedir. Bunların dışında binaların aydınlatma ihtiyacının minimum tüketimle karşılanması için uygun tasarruflu aydınlatma sistemleri seçilmelidir. Binaların mimari tasarımının enerji verimliliği standartlarına uygunluğu da önemli veriler arasındadır. Binanın gün boyu güneşi görebileceği zaman ve açısı bu konuda dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır [1].



Şekil 1. Güvenli ve Yeşil Binanın Dört Ögesi ve TSE Belgelendirme Sistemi [4]

TSE sistemi ise dört ögeye yeterli ağırlıkta cevap içermektedir. Bu bağlamda Şekil 2, 3 ve 4 ana puanlama sistemini özetlemektedir [5]. Bu belgelendirme sistemi sadece proje üzerinden yapılmamakta, örneğin yerinde radyasyon, elektro-manyetik düzey, depreme dayanıklılık fiilen ölçülerek değerlendirilmektedir. Yeni binalarda devreye alınmadan hemen öncesi tüm deneyler yapılmaktadır.

# puanlama kriterleri



**Güvenli – Yeşil Bina Başlangıç Tasarımı**  
Bütünlük projeksiyon yönetimi  
 2 puan  
Çevreye, iş-işçi sağlığı ve güvenliğine duyarlılık  
 8 puan  
İnşaat atığını azaltma ve atığın yönetimi  
 2 puan  
Yapım aşamasında gürültü kirliliğini önleme  
 zorunlu

**Yaşamsal Alan Tasarımı**  
Hırsızlığa karşı önlem/güvenlik  
 5 puan  
Spor ve dinlenme alanları  
 8 puan  
Ulaşım kolaylığı  
 2 Puan  
Otopark alanı  
 10 puan  
Engelsiz yaşam alanı – erişilebilirlik  
 7 puan

**Alan Seçimi**  
Doğal afetlere karşı önlem  
 2 puan  
Mevcut doğal yapıyı koruma ve geliştirme  
 4 puan  
Kentsel donatılara erişim  
 2 puan

STANDART • haziran 2015 31

Şekil 2. Örnek Puanlar

**Sağlık, Güvenlik ve Konfor**  
Yangın güvenliği  
 ön şart  
Deprem güvenliği  
 ön şart  
Gün ışığından yararlanma  
 6 puan  
Iş aydınlatma tasarımı  
 1 puan  
Havalandırma/taze hava salınımları  
 23 puan  
İç ortam kalitesi/sağlıklı hava  
 ön şart  
Radyasyon salınımları  
 ön şart  
Elektromanyetik kirlilik  
 ön şart  
Akustik konfor  
 8 puan

**Suyun Etkin Kullanımı**  
Su tüketiminde tasarruf modeli  
 10 puan  
Su kayıplarını önleme  
 4 puan  
Atık su arıtma ve değerlendirme  
 8 puan  
Yağmur/yeryüzü suyu akış kontrolü  
 5 puan

**Malzeme ve Kaynak Kullanımı**  
Çevre dostu/sağlıklı malzeme kullanımı  
 16 puan  
Malzemenin yeriden kullanımı  
 4 puan  
Yerel bölgesel malzeme tercihi  
 6 puan  
Dayanıklı malzeme kullanımı  
 13 puan

**Karbon Ayak İzi**  
Sera gazı emisyonu  
 5 puan

32 Standart • haziran 2015



Şekil 3. Deprem Güvenliği Ön Koşuldur



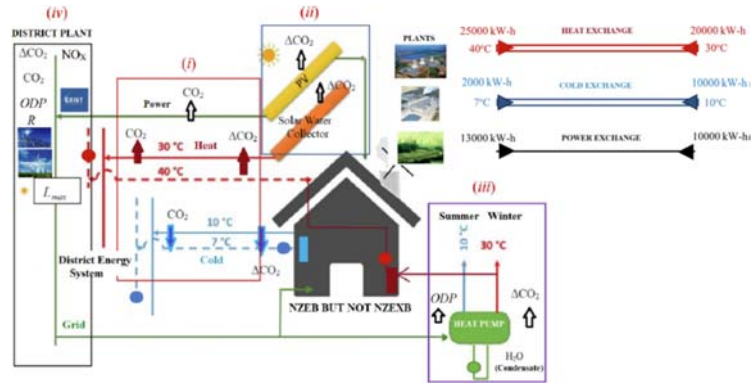
Şekil 4. Enerji Verimliliği Ekserji Akılcılığını da İçermektedir

Enerjinin akılcı kullanımı ile CO<sub>2</sub> salımları arasında doğrudan bir bağ bulunmaktadır. Örneğin doğal gaz sadece ısıtmada kullanılıyor ise doğal gazın faydalı iş potansiyelinin örneğin güç üretiminin büyük ölçüde değerlendirilmediği ortaya çıkar ve TSE belgelendirme sistemine göre sadece puan kaybetmekle kalmaz ısıtmada da hangi derecede sıcak su veya sıcak hava kullanıldığına bakar ve puanlama ona göre yapılır. Örnek bir puanlama çizelgesi Şekil 5 de görülmektedir.

Gün Işığı Aydınlatma				1
Yenilikçi Teknolojiler	Yeşil Enerji Sistemleri Otomasyonu	Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin yük paylaşımında optimum karar verme algoritmasına sahip otomasyon		2
	AC-DC	1+DC/AC	Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde üretilen doğru akımın verimli kullanımı	1
	Enerjinin Akılcı Kullanımı	$PES_A$ $T_{ref}/T_{islap}$ Isıtma $T_{soğutma}/T_{ref}$ Soğutma Ortalama $T_{islap}$ katsayısı, $T$	Formülден Referans Sıcaklığı 363 K Referans Sıcaklığı 280 K Isıtma ve soğutma yükleri ağırlıklı olarak hesaplanır, hazırlanacak çizelgeden puan verilir.	1 3 1 ise 0
	Yerli Teknoloji ve Üretim			2
TSE veya eşdeğer sertifikalı ürünler			2	

Şekil 5. Yenilikçi Teknolojiler ve Enerjinin Akılcı Kullanımı Puanları

TSE belgelendirme Sistemi binayı tek başına görmez tüm çevresi ile değerlendirir (Şekil 6)



Şekil 6. Bir Binaanın Çevresi ile Olası İlişkileri



Şekil 7. TSE Belgelendirme Sistemi için Öneri [6].

### 3.SONUÇ

Bu panelde TSE Belgelendirme Sisteminin son üzücü deprem felaketinden çıkarılan dersler çerçevesinde (Şekil 7) ileriye dönük ve yaygın bir şekilde nasıl güncellenebileceği ve varsa idari sorunların giderilmesi ve öncelikle TOKİ Binalarında ve fay hatlarında mecburi olarak uygulanması gibi olası yaptırımlar tartışılacak ve bir yol haritası çizilecektir. Bu yol haritasının MMO önderliğinde çok geniş platformda yürütülmesi beklenmelidir. 2010 yılından günümüze kadar geçen boş zamanın telafisi mümkün değilse bile bundan böyle uygulamanın yarara dönüşmesi amaçlanmalıdır

### KAYNAKLAR

- [1] TSE (2011), Güvenli ve Yeşil Bina Sertifika Sistemi <https://tse.org.tr/icerikDetay?ID=41&ParentID=3>.
- [2] Türk Standartları Enstitüsü, (2014), "Güvenli Yeşil Bina Belgesi", <http://www.tse.org.tr/hizmetlerimiz/belgelendirme-hizmetleri/>



belgelendirme/%C3%BCr%C3%BCnbelgelendirmeba%C5%9Fvurular%C4%B1/g%C3%BCvenli-ye%C5%9Ffil-bina-belgesi.

- [3] Türk Standartları Enstitüsü,(2014), “Güvenli yeşil bina belgesi” ,<http://www.tse.org.tr/docs/%C3%BCr%C3%BCn-belgelendirme/bm-07-fr56-g%C3%BCvenli---ye%C5%9Ffil-bina-belgesi-ba%C5%9Fvuruformu-01.pdf?sfvrsn=0>.
- [4] ©Biol Kılış, 2018.
- [5] Standard Dergisi-Haziran 2015.
- [6] Aydınlık Gazetesi, 27 Şubat 2023.

## ÖZGEÇMİŞ

### Biol 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 çözümlerini bulunmaktadır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. Avrupa Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Isıtma ve Soğutma Kurulu (RHC) alt komite ikinci Başkanı olup AB Başkanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. Türkiye’nin ilk LEED Platin Binasının Mekanik Tasarım Danışmanlığını gerçekleştirmiş olan Kılış, Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinin 13. Dönem Yönetim Kurulu Başkanlığında da bulunmuştur.

### Hasan Alpay HEPERKAN

İTÜ Makina Fakültesi’nden (1974) mezun olmuş, ABD de, Syracuse University de M.Sc. (1976) ve University of California, Berkeley de Ph. D.(1980) derecelerini elde etmiş, Lawrence Berkeley Laboratuvarı’nda araştırmacı olarak çalışmıştır.1984 yılında TÜBİTAK ve Demirdöküm’de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi’ne geçerek profesör ünvanını almış ve Makina Fakültesi dekanı olarak görev yapmıştır; Şuan İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi dekanıdır. Türkiye Yenilenebilir Enerji Derneği; İSKAV, Isıtma, Soğutma, Klima Araştırma ve Eğitim Vakfı; TTMD, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği; İSKİD üyesidir. Çeşitli ulusal ve uluslararası ödüller kazanmış, birçok kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.



# OTEL ELEKTROMEKANİK TESİSATINDA İOT [İNTERNET of THINGS] TABANLI BMS [BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS] UYGULAMA ESASLARI

*IoT (Internet of things) Based Bms (Building management systems) Application principles in hotel electromechanical installations*

**Levent Yılmaz**

## ÖZET

Oteller, bir gezginin deneyimini belirlemede her zaman önemli bir rol oynamıştır. Gezginler, tatil veya iş gezileri sırasında sıklıkla otellerde konaklamaktadırlar.

Otel misafirleri, seyahatlerinden en iyi şekilde yararlanmak için kaldıkları süre boyunca maksimum konfor beklemektedirler. Son yıllarda otel endüstri, si konuklarına mümkün olan en iyi hizmeti sağlama arayışında dinamik ve oldukça rekabetçi hale geldi. Otel sayılarında artışla birlikte bu işletmelerin yönetimi ile ilgili zorluklarda bir artış meydana geldiği tesbit edilmiştir.

Böyle zor bir seneryo, da otel altyapı müdürünün işi, daha kritik hale gelmiştir. İşletmeyi geleneksel yöntemlerle yönetmenin, hizmet kalitesini düşürmesi ve maliyetlerin rekabetçi olmaktan çıkması sonucu, IoT tabanlı bina yönetim sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Otel, İnternet of things tabanlı BMS, enerji verimliliği

## ABSTRACT

Hotels have always played an important role in determining a traveler's experience. Travelers often stay in hotels during their vacation or business trips.

Hotel guests expect maximum comfort during their stay to get the most out of their travels. In recent years, the hotel industry has become dynamic and highly competitive in its quest to provide the best possible service to its guests. found to occur.

In such a difficult scenario, the job of the hotel infrastructure manager has become more critical. As a result of the traditional methods of managing the business, the service quality has decreased and the costs have become uncompetitive, it has led to the emergence of IoT-based building management systems.

**Key Words:** Hotel, İnternet of things based BMS, Energy efficiency

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Nesnelerin interneti (IoT)

İnsan müdahalesi olmadan, bir ağ üzerinden veri toplayabilen ve aktarabilen, birbiriyle ilişkili bağlantılı nesnelere sistemini ifade eder.

## 1.2. Otel endüstrisinde IoT tabanlı bina otomasyon sistemi.

IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, birden fazla fiziksel cihazın, kablosuz sensörler ve aktüatörler kullanarak ve birbirleriyle dijital olarak bağlanmasını sağlayarak, otellerin alt yapı yöneticilerinin operasyonlarını dünyanın herhangi bir yerinden kolaylıkla ve verimli bir şekilde yönetmelerini, merkezi bir bulut platformu üzerinden AL/ML algoritmalarını kullanarak verileri analiz etme ve kaydetme imkanı sağlayan bir sistemdir.

## 2. Otel endüstrisinde IoT tabanlı bina otomasyon sisteminin elemanları ve çalışma şekli.

Eksiksiz bir IoT sisteminin genellikle dört ana elemanı vardır - sensörler/cihazlar, bağlantı, veri işleme ve kullanıcı arayüzü.

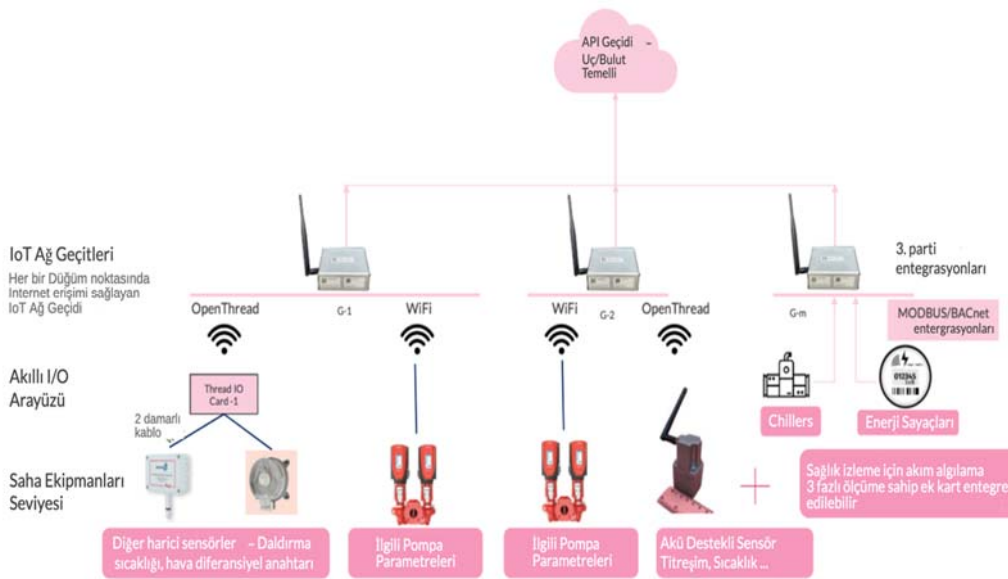
**2.1 Sensörler/Cihazlar:** Veri toplayabilen ve/veya talimatlara göre hareket edebilen fiziksel cihazlardır. Çok basit bir örnek, bir alanın sıcaklık verilerini toplayan ve gönderen bir sıcaklık sensörü olabilir.

**2.2 Bağlantı:** Yukarıda bahsedildiği gibi, sıcaklık sensörü verileri toplar ve buluta gönderir. Bunu yapmak için bir ağ geçidi üzerinden internete bağlanan hücresel, WiFi, Bluetooth, BACnet vb. Gibi birçok yöntem vardır.

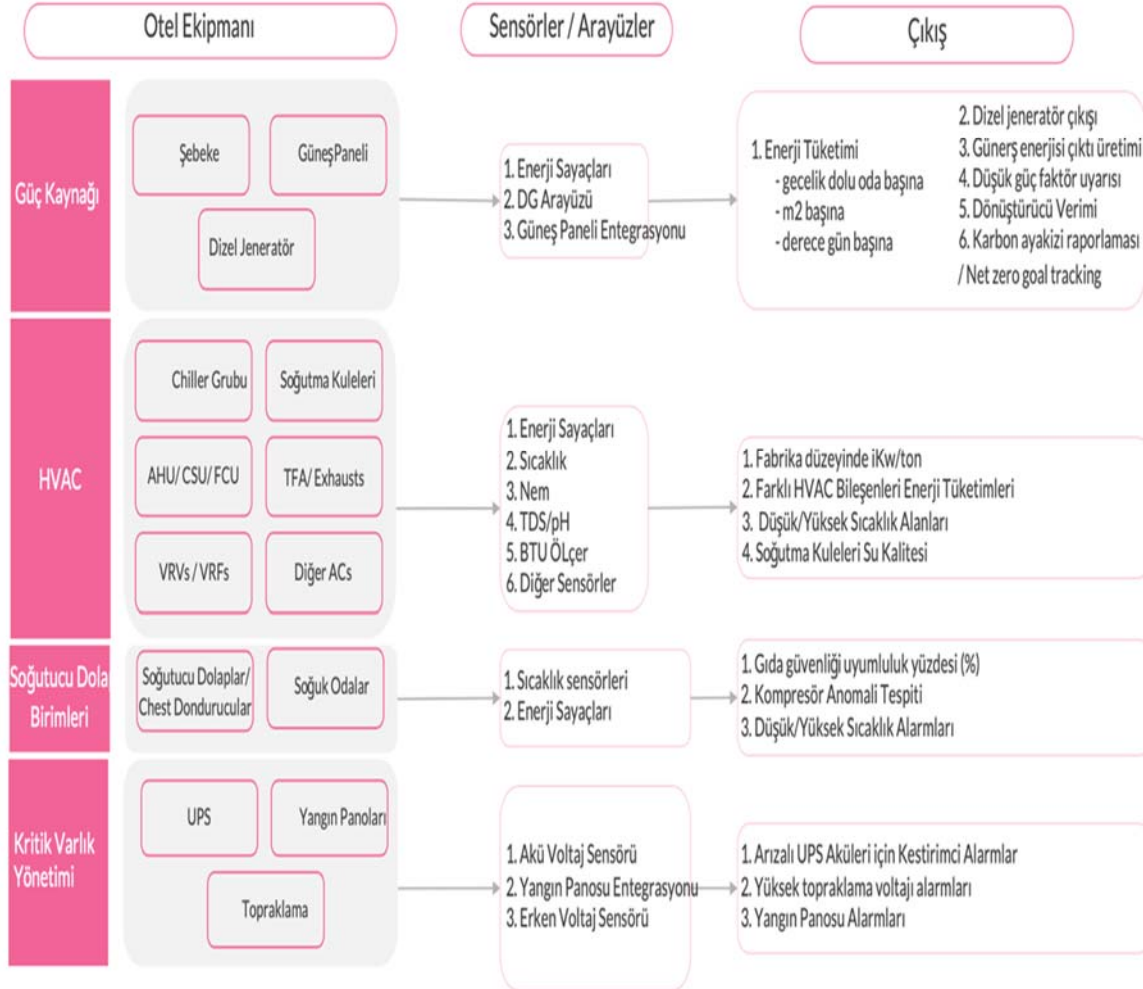
**2.3 Veri İşleme:** Buluta gönderilen veriler daha sonra anlamlandırmak için işlenir. Kabul edilebilir aralıkta olup olmadığını kontrol etmek için sensörlerden toplanan sıcaklık verilerini işlemek kadar basit olabilir. Şimdi, bir bölgenin ortam sıcaklığı izin verilen aralıkta değilse ne olur? Bir sonraki bileşenin devreye girdiği yer burasıdır.

**2.4 Kullanıcı Arayüzü:** İşlenen veriler daha sonra bir kullanıcı tarafından kullanılan bir arayüzde sunulur. Doğru sıcaklığı korumak için düzeltici önlemler almak üzere e-posta, metin vb. yoluyla bildirim yoluyla gönderilebilen bir uyarı şeklinde sunulabilir.

Bu yol tek yolla sınırlı değildir. Talimatlar veya veri talepleri, kullanıcı arayüzü aracılığıyla elektromekanik cihazlara/sensörlere uzaktan da gönderilebilir. Bu örnekte kullanıcı, söz konusu alanın sıcaklığını kullanıcı arabirimi aracılığıyla ayarlayabilir. Ayrıca, bu tür sistemler, belirli koşullar altında hareket etmek için önceden tanımlanmış kurallara göre otomatikleştirilebilir.



Şekil.1 IoT tabanlı bina otomasyon sistemi genel konsepti[1]



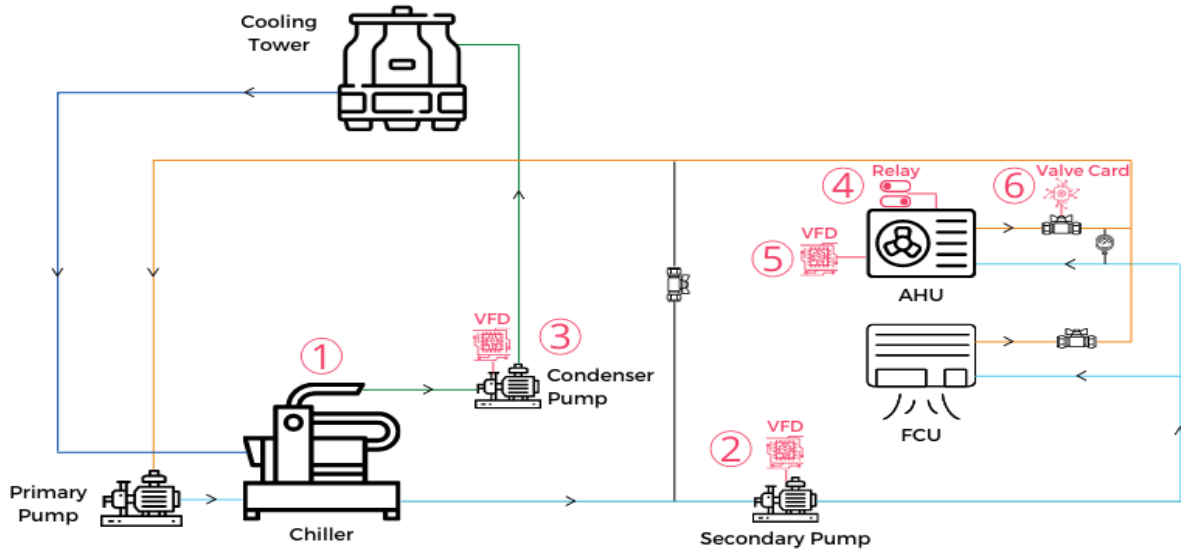
Şekil.2 IoT tabanlı bina otomasyon sistemi genel konsepti[1]

### 3.Otel endüstrisinde IoT tabanlı bina otomasyon sisteminin uygulama esasları

#### 3.1 HVAC sisteminde IoT tabanlı otomasyon

IoT'nin HVAC sisteminin düşük tarafına müdahalesi, değişken frekanslı sürücülerin (VFD) ve soğutulmuş su vanalarının modülasyonunu ve sıcaklık sensörüne dayalı olarak AHU'ların programlanmasını ve görev döngüsünü sağlar. Yüksek tarafta, sırasıyla çıkış suyu sıcaklığı (LWT) ve basınç sensörlerine dayalı olarak soğutma grubunun ve ikincil pompanın modülasyonunu sağlar.

Otel misafirleri için optimum ortam konforu korurken enerji tasarrufu sağlamak amacıyla HVAC ekipmanının gereksiz çalışma süresini azaltmak için hem düşük hem de yüksek taraf müdahaleleri yapılır. Bu HVAC kontrol müdahalesi, yıllık elektrik maliyetlerinde %10'a varan enerji tasarrufu sağlar.



### List of IoT interventions

#### HIGH SIDE

1. Modulation of Chiller based on LWT & RWT
2. Controlling secondary pump via Virtual Frequency Drive (VFD)
3. Controlling condenser pump via Virtual Frequency Drive (VFD)

#### LOW SIDE

4. Scheduling & Duty Cycling of AHUs via Relay
5. Modulating AHU via Virtual Frequency Drive (VFD card)
6. Modulating chilled water valves via Valve card

### 3.2 HVAC operasyonlarında IoT tabanlı otomasyon



IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, HVAC operasyonlarını otomatikleştirme yeteneğine sahiptir. IoT destekli bir HVAC sistemindeki sensörler, ortam sıcaklığı, nem, hava kalitesi gibi çeşitli veri noktalarından veri toplar; Chiller'in dönüş ve çıkış suyu sıcaklığı vb. Ve verileri buluta iletmek için bir ağ geçidi denetleyicisi kullanır. Bu veriler daha sonra işlenir ve VFD'ler, Valf kartları, mevcut bir HVAC sisteminin çeşitli noktalarında sonradan takılan Röleler gibi cihazlara talimat olarak geri gönderilir. Bu cihazlar daha sonra soğutulmuş su vanası, ikincil pompa, kondenser pompası vb. gibi çeşitli HVAC sistemi bileşenlerini modüle etmek için bu talimatları uygular.

Bu süreçte göre IoT destekli HVAC sistemi, gereksiz çalışma süresini en aza indirirken otomatik olarak optimum misafir konforunu korur. Örneğin, doluluk olmadığında veya ideal ortam sıcaklığına ulaşıldığında HVAC'ı çalışır durumda tutmanın bir anlamı yoktur.

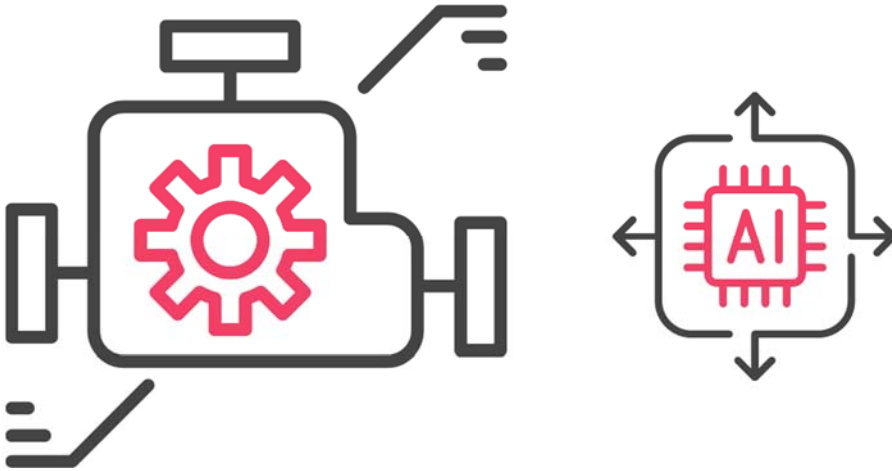
### 3.3 HVAC ekipmanlarının IoT tabanlı otomasyon ile uzaktan izlenmesi



IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, "Kullanıcı Arayüzü" yönü ile tesislerin elektromekanik ekipmanlarının akıllı telefon veya dizüstü bilgisayar aracılığıyla erişilebilen tek bir platformda merkezi bir görünürlüğe sahip olmalarını sağlar. Dinamik ve otomatikleştirilmiş ekipman izleme sistemleri, gerçek zamanlı veriler ve çalışma durumuna ilişkin görünürlük sağlar. Bu durum teknik personelin kritik durumlara hızla müdahale etmesine imkan sağlar. Operasyonel verimliliği yönetir, elektriksel parametreleri izler ve ekipmanları her yerden, her zaman, her cihazdan takip eder.

Bir IoT tabanlı otomasyon çözümü, birden çok veritabanı geliştirmek yerine, tek bir platformda otomatikleştirilmiş veri toplama, güncelleme ve bakıma izin veren merkezi, bulut tabanlı bir ortam oluşturur. Bu durum uygun maliyetli bir sistemi çalışır durumda tutmak için operasyonel süreçlerin kalitesini artırır. Verimlilik sağlar ve beklenmedik ekipman arızalarından kaçınılmış olunur.

### 3.4 HVAC ekipmanlarının IoT tabanlı otomasyon ile kestirimci bakım



Hiç kimse sıcak bir yaz gününde HVAC sistemi arızalanan bir otel sahibi konumunda olmak istemez. Bu nedenle, bu tür kilit ekipmanların bakımı, bu tür ekipmanların çalışmasının ve bu işlemlerden elde edilen değer / hizmetlerin kesintisiz olmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Geleneksel bakım veya önleyici bakım, ekipman hizmetlerinin bir ekipman parçasının çalışmayı durdurması gibi reaktif göstergelere veya belirli bir sürenin geçmesi gibi zamana dayalı göstergelere dayalı olarak yapıldığı bakımdır. Çok daha etkili bir yaklaşım ise proaktif bir yaklaşım olan kestirimci bakımdır. Adından da anlaşılacağı gibi, beklenmedik ekipman arızalarını önlemek için bir ekipman parçasının ne zaman bakım çalışmasına ihtiyacı olduğunu tahmin eder. Zamana dayalı veya reaktif bir yaklaşımdan ziyade varlıkların ve ekipmanın gerçek durumu gibi parametrelere dayanır.

HVAC sistemindeki IoT müdahaleleri bu tür akıllı bakımlara olanak tanır. Titreşimi ölçmek için sensörler, voltaj dengesizliğini analiz etmek için enerji sayaçları, erken arıza tespitine dikkat etmek için güç faktörü vb. kullanır. Herhangi bir anormallik durumunda, bakım ekibi dijital biletleme iş akışları aracılığıyla sistemdeki tam olarak giderilmesi gereken sorun ve bunu çözmekten kimin sorumlu olduğu konusunda uyarılır. Bu, otel misafirleri için sorunsuz bir deneyim, otel yönetimi için ani sürprizler olmaması, ekipman yatırımından daha iyi geri dönüş ve işletmeler için genel olarak daha düşük maliyetle sonuçlandığı için çok güçlü bir tekniktir.



**Şekil.3 IoT tabanlı bina otomasyon sisteminde kestirimci bakım genel konsepti[1]**

#### 4. Otel endüstrisinde IoT tabanlı bina otomasyon sisteminin genel olarak üstünlükleri

##### 4.1. Merkezi izleme ve akıllı kontroller aracılığıyla enerji yönetimi

IoT tabanlı bina otomasyon teknolojisi, bir ortak çalışma alanında etkili enerji yönetimine yardımcı olan güçlü sistemler, akıllı sensörler ve izleme cihazlarıyla birlikte monte edilir. Bu sensörlerin binaya kurulması, doluluk, sıcaklık, enerji tüketimi vb. gibi her türlü bilginin toplanmasına yardımcı olur. Bu durum maliyet düşüşlerine yol açar ve olumlu bir yatırım getirisi sağlar.

IoT, aşağıdakiler aracılığıyla optimum enerji izlemesine olanak tanır.

4.1.1 varlıkların (HVAC, aydınlatma, vb.) en yoğun/en yoğun olmayan saatlere göre akıllı programlanması

4.1.2 HVAC operasyonlarının optimize edilmesi UPS ve DG gibi optimumun altında çalışan bina ekipmanlarının devre dışı bırakılması

##### 4.2. Optimum verimliliği koruyarak misafir konforu

Bina tesisine kurulan IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, özellikle sıcaklık, nem ve AQI sensörleri, ortak çalışma alanındaki enerji verimliliğini ve hava kalitesini iyileştirir. Daha iyi yolcu konforu ve optimum iç ortam sıcaklığı sağlar.



#### 4.3. Merkezi varlık yönetimi

IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, fiziksel nesnelere oluşan bir ağ oluşturma ve bunu bulut ağına bağlama yeteneği ile birlikte sahada montajı gerçekleştirilir. Yazılım ve sensörler verileri toplar ve tüm kaynaklardan merkezi bir bulut ağına yönlendirir. Otel tesisi altyapı sorumlusunun varlıkları uzaktan yönetmesine olanak tanır.

#### 4.4. AI/ML tabanlı Arıza Tespit ve Teşhis (Kestirimci bakım)

IoT tabanlı bina otomasyon sistemi, merkezi sistemleri tarafından kullanılan Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi algoritmaları, otel tesisi sahiplerinin verileri analiz etmelerine ve anlamlı içgörüler elde etmelerine yardımcı olur. Herhangi bir tutarsızlık durumunda gerçek zamanlı bildirimler alabilirler ve böylece sorunu araştırıp çözebilirler.

#### 4.5. Gerçek zamanlı bildirimlerle dijital biletleme iş akışları

Dijital bir biletleme sistemi, tespit edilmesi halinde anormallığı gündeme getirebilir. Ayrıca çözüm için bir teknik eleman atanabilir. Ayrıca, bu teknik elemanla birlikte bu eylem için öğeleriyle birlikte ayrıntılı bir arıza teşhisi de sağlamaktadır.

### 5-SONUÇ

Otellerde, IoT tabanlı bina yönetim sistemlerinin uygulanmasına bağlı olarak, otel sınırları içindeki elektromekanik tesisatın, kapsamlı bir şekilde izlenmesi sonucu, yüksek kaliteli hizmetin ve misafir konforunun en üst düzeye çıkmasını ve giderlerin en aza indirilmesine imkan sağlayacaktır.

### KAYNAKLAR

[1] Levent YILMAZ "HVAC tesisatında IoT tabanlı bina yönetim sistemi(BMS)" seminer notu-2018

### ÖZGEÇMİŞ

#### Levent YILMAZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Makine mühendisliği Bölümü mezunudur. MMO ve TTMD üyesidir. Uzun yıllar mekanik tesisat mühendisliği alanında tasarımcı ve uygulamacı olarak çalıştı. Uzmanlık alanı, ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, kütle transferi, borulama, yangın tesisatı ve yanma teknolojileridir. Halen Eco Europe Engineering firmasında danışmanlık hizmeti vermektedir.



# DİJİTALLEŞEN İNŞAAT SEKTÖRÜ VE ISO 19650 STANDARDI

*Digitalized Construction Industry and ISO 19650 Standard*

Fulya Gökşen

## ÖZET

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), bir yapı veya altyapı projesinin tüm yaşam döngüsünü yönetmek ve planlamak için kullanılan bir dijital temsildir. Projede yer alan paydaşlar arasında daha iyi koordinasyon sağlayarak potansiyel sorunları oluşmadan önce belirlemeye ve çözmeye yardımcı olmaktadır. BIM'i doğru kullanmak amacıyla ulusal ve uluslararası standartlar oluşturularak, ürünlerin, hizmetlerin ve sistemlerin tasarımında, üretiminde ve kullanımında tutarlılık ve uyumluluk sağlamak adına bu standartlardan faydalanılmaktadır. BIM'in yapı sektöründe aktif kullanılması ve benimsenmesi için eğitim düzenlenmesi gerekliliği ve bu tip eğitimlerde standartların önemli bir yere sahip olması sebebiyle çalışmada, uluslararası bir standart olan ISO 19650 serisi incelenmiştir. Bu kapsamda temel kavramlar, farklı bilgi gereksinim türleri ve seviyelerinin BIM için ne anlama geldiği özetlenmiş, Birleşik Krallık BIM Çerçevesi kapsamında yer alan başlıklar üzerinden hangi standardın hangi aşamada devreye girdiği ve nasıl fayda sağlayabileceği ortaya konmuştur. Sonuçta, sektörü bu yönde bilgilendirmek ve kullanımını teşvik etmek amaçlanmış olup, ISO 19650 uyarınca BIM'deki süreçleri benimseyen bir projede sağlanan faydalar vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** ISO 19650 Standardı, Bina Bilgi Modellemesi (BIM), Dijitalleşme.

## ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) is a digital representation used to manage and plan the entire lifecycle of a building or infrastructure project. It provides better coordination between stakeholders involved in the project, helping to identify and resolve potential problems before they occur. To use BIM correctly, national and international standards are established and used to ensure consistency and compliance in the design, manufacture, and use of products, services, and systems. Because of the need for training to be organized for the active use and adoption of BIM in the building sector and the importance of standards in such training, an international standard, ISO 19650 series, was examined in the study. In this context, the basic concepts, different types of information requirements, and levels of BIM are summarized. Furthermore, the headings within the UK BIM Framework have revealed which standard comes into play at which stage and how it can benefit. Ultimately, it is aimed to inform the industry in this direction and encourage its use, highlighting the benefits provided in a project that adopts processes in BIM according to ISO 19650.

**Key Words:** ISO 19650 Standard, Building Information Modeling (BIM), Digitalization.

## 1. GİRİŞ

Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), tasarım ve inşaatın işletme ve bakıma kadar projenin tüm yaşam döngüsünü yönetmek ve planlamak için kullanılan bir yapı veya altyapı projesinin dijital temsildir. Mimarlar, mühendisler, inşaat profesyonelleri ve tesis yöneticileri gibi farklı proje paydaşları arasında

daha iyi koordinasyon sağlar ve potansiyel sorunları oluşmadan önce belirlemeye ve çözmeye yardımcı olmaktadır. Başka bir ifadeyle projede görev alan tarafların eş zamanlı ve ortak olarak yararlanabileceği üç boyutlu bir bilgi paylaşımı ve iş akış sürecidir [21]. Binanın enerji verimliliği ve yapısal bütünlük gibi performansının farklı yönlerini simüle etmek ve analiz etmek amacıyla sanal bir modelini oluşturmanın yanı sıra, projeyi daha etkili bir şekilde planlamak ve yönetmek için kullanılacak maliyet ve zamanlama bilgileri gibi grafik olmayan verileri de içermektedir.

2011 yılında hazırlanan BIM Çalışma Grubu Strateji Belgesi, BIM'in yaygın şekilde kullanılmaya başlanması için bir strateji geliştirmek üzere bir hipotez ve çeşitli testler ortaya koymuştur. 2011'den bu yana, çeşitli Devlet Daireleri ve çeşitli özel sektör müşterileri bu uygulamayı test etmiştir. Uygulamayı erken benimseyen projelerin sonuçları, amaca yönelik, yapılandırılmış, doğrulanmış ve doğrulanmış bilgi modellerinin ve bunların işbirlikçi ve güvenli bir ortamda yönetilen değişimlerinin önemli bir değer olduğunu göstermiştir. İnşa edilmiş altyapımızı tasarlama, inşa etme, çalıştırma ve entegre etme şeklimizi değiştiren bina bilgi modellemesinin (BIM) benimsenmesinde, Birleşik Krallık'ın, yapılı çevre endüstrisinde "dijital teknolojinin kullanımını yerleştirmeyi ve artırmayı" yani dijital dönüşümü amaçlayan 2016-2020 Hükümet İnşaat Stratejisi mihenk taşı olarak adlandırılmaktadır. [8]

BIM ile üç boyutlu bir dijital dünya yaratılmaktadır fakat bu statik bir varlıktır. Model, fiziksel dünya verileri ile birleştirdiğinde BIM Dijital İkiz'e dönüşmektedir. Dijital ikizler, veriler, algoritmalar ve bağlamı bir araya getirmek için yapay zekâ (AI) ve makine öğrenimi (ML) ile entegre edilerek kullanılmaktadır. Dijital ikiz teknolojisinde bilgilerin güncel tutulması büyük önem taşımaktadır aksi takdirde üç boyutlu modelden farkı kalmaktadır. Dijital ikiz sektörde yaygın olarak havalimanı, hastane, ticari gayrimenkul ve tren istasyonu gibi projelerde tercih edilmektedir. Ayrıca akıllı şehirlere geçilen bu dönemde dijital ikiz önemli bir yere sahip olup insan, hacimler ve gayrimenkul varlıklar arasındaki ilişkinin yönetilmesini, akıllı şehirler için temel verilen oluşturulmasını sağlayabilecektir [21].

Ülkelerde BIM kullanımının yaygınlaşmasında devletlerce alınan kararlar, yasalar ve müşteri talebinin önemi büyüktür. Devlet desteği ile BIM kullanımının zorunlu tutulduğu ülkelerde sistemin ve süreçlerin düzeni için çeşitli standartlar belirlenmiştir [22]. BIM'i doğru kullanmak amacıyla oluşturulan standartlar, ürünlerin, hizmetlerin ve sistemlerin tasarımında, üretiminde ve kullanımında tutarlılık ve uyumluluk sağlamak için kullanılmaktadır. Maliyet, zaman, kalite, güvenilirlik ve verimliliği artırmaya yardımcı olur ve farklı pazarlar arasındaki engelleri azaltarak ticareti kolaylaştırabilirler. Ek olarak, yeni teknolojilerin ve uygulamaların geliştirilmesi için ortak bir platform sağlayarak inovasyonun teşvik edilmesine de yardımcı olabilir. Standartlar BIM'in süreç içerisindeki gereksinimleri ve gelişimi doğrultusunda güncellendiği için BIM'in yol haritası olarak ifade edilmektedir. Dolayısıyla BIM ile ilgili eğitimler planlanırken konunun doğru kavranabilmesi için standartlarla desteklenmesi gerekliliği ön plana çıkmış olup bu kapsamda yapılan araştırmalar, Dünya ve Türkiye'den incelenen örneklerin çoğunda BIM Standartları'na değinildiğini göstermektedir [22].

Bu kapsamda yer alan standartlar şu şekilde tanımlanabilir [20]:

ISO (Uluslararası Standardizasyon Örgütü), dünya çapında bir ulusal standart kuruluşları federasyonudur (ISO üye kuruluşları). ISO'lar teknik raporlar, spesifikasyonlar ve rehberlik biçiminde olabilir ve ürünlere, hizmetlere, süreçlere veya malzemelere yaklaşımda tutarlılığı sağlamak için kullanılır.

CEN (Ulusal Standartlar Kuruluşlarından oluşan Avrupa çapında bir kuruluş), Üyelerin ihtilaf halinde ulusal standartlardan feragat etmeleri beklenir. AB bazı durumlarda CEN'in AB mevzuatını destekleyen standartlar hazırlamasını talep eder.

BS (İngiliz Standartları), hizmetlerde, ürünlerde veya belirli sektörlerde en iyi uygulama ilkelerini kullanmak için dünya çapında giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu standartlar Birleşik Krallık ulusal standartlarıdır ve bir ürünün üretimi, bir sürecin yürütülmesi veya bir hizmetin sağlanması için kılavuz olarak kullanılacak bir yayın, şartname veya uygulamadır.

PAS (Kamuya Açık Spesifikasyonlar), sektör için özellikle acil bir ihtiyaca dayalı sektör gereksinimlerinden oluşturulan bir süreç, ürün veya hizmet için rehberlik sunan standartlardır. PAS belgeleri genellikle geliştirilerek İngiliz Standartları veya Uluslararası Standartlar haline gelir.

Standartlar, BIM süreçlerinin daha yaygın olarak benimsenmesini ve tedarik zinciri boyunca verilere erişilebilir olmasını sağlamaktadır [23]. Bu kapsamda Uluslararası standartların şekillenmesinde önemli bir rol oynayan BSI öncülüğünde gerçekleştirilen BIM eğitim içeriği incelendiğinde, BIM ile ilgili temel terminolojiyi, BIM uygulamasının arkasındaki mantığı vermek ve ISO 19650 uyarınca BIM uygulamasının etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olmak temel hedefleridir. Bu eğitim sayesinde [20]:

1. Uygulayıcı, BIM'in yapılı çevrede neden önemli olduğunu, işbirlikçi çalışma ilkeleri ve proje teslimatıyla ilişkili bilgi yönetimi, bilgi alışverişi, veri şeması ve kalitesi konusundaki temel bilgilere sahip olacaktır.
2. Uzman, uygulayıcı bilgilerine ek olarak, bilgi güvenliği, bilgi yönetim ilkeleri yoluyla sağlık ve güvenlik uygulamalarının iyileştirilmesi konularına hakim olacaktır.
3. Sertifikalı Uzman ise, uygulayıcı ve uzmana ek olarak, iş birliği dayalı çalışma ve bilgi yönetimi ilkelerinin uygulanması konusunda sektörde kanıtlanmış bir deneyime sahip olacaktır.

BIM Eğitimi'nin yapı sektörü için gerekliliği ve bu tip eğitimlerde standartların önemli bir yere sahip olması sebebiyle çalışmada, ISO 19650 serisi incelenmiş, Birleşik Krallık BIM Çerçevesi kapsamında yer alan başlıklar üzerinden hangi standardın hangi aşamada devreye girdiği ve nasıl fayda sağlayabileceği ortaya konmuştur. Dolayısıyla, sektörü bu yönde bilgilendirmek ve kullanımını teşvik etmek amaçlanmıştır.

## 2. ISO 19650

Bu bölüm, ISO 19650 standardının yapı bilgi modellemesi ve bilgi yönetimi için ne anlama geldiğini özetlemektedir. Ayrıca, ISO 19650'nin hedef kitesinin kimler olduğu ve ISO 19650'nin diğer yönetim ve süreç standartlarıyla nasıl ilişkili olduğu, bunun bir projede uygulanması durumunu yeniden ifade eder. ISO 19650, proje yaşam döngüsü boyunca dijital bilgilerin oluşturulması, yönetimi ve dağıtımı için bir çerçeve sağlayan BIM ve bilgi yönetimi için uluslararası bir standarttır. İngiltere BIM Çerçevesi ve mevcut İngiltere 1192 standartlarıyla yakından uyumludur.

ISO 19650, Yapı bilgi modellemesi (BIM) ve yönetiminde, varlığın sözleşmesi, tasarımı, inşası, işletilmesi, bakımı ve yıkımını kapsayan dolayısıyla her aşamasında bilginin etkin yönetimi için işbirlikçi süreçleri tanımlayan bir dizi uluslararası standarttır. Bu standartlar, yaşam döngüleri boyunca yapılı çevre ile ilgili dijital bilgilerin oluşturulması, kullanılması, yönetimi ve bilgi değişimi için yönergeler sağlar [1-3]. İngiltere Hükümeti'nin 2011 yılında BIM Level 2 girişimini takiben, bir dizi ulusal standart ve halka açık spesifikasyonlar üretildi [2;3]. BIM Level 2 ise [4] kısaca, işbirlikçi bir 3D ortamda paydaşları bir araya getiren bilgi modelini oluşturmak olarak özetlenebilir.

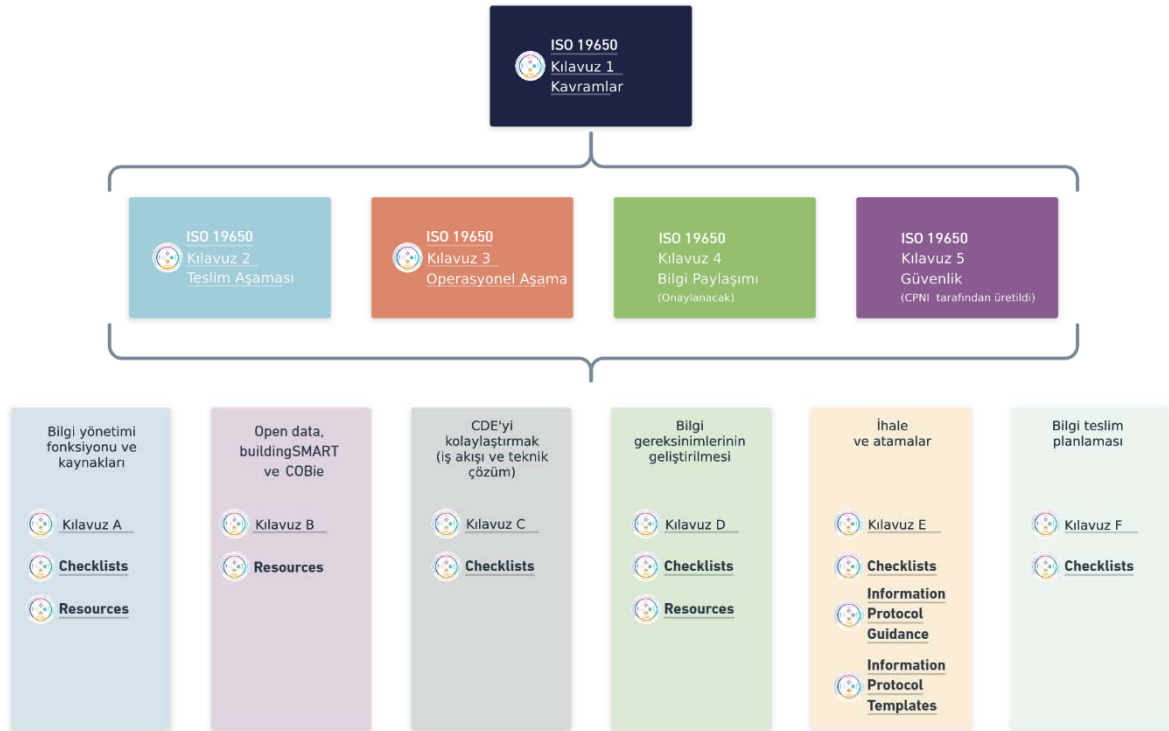
Birleşik Krallık'ta 2007'de ortaya çıkan BS 1192 yönetmeliğinin oluşturulması ile bu bölgede BIM'in benimsenmesi, süreçleri organize etmek, kolaylaştırmak ve bilgileri yönetmek gibi hedefler gerçekleştirilmiştir. 2013 yılında, yapı bilgi modellemesi kullanan projelerin teslim aşaması için bilgi yönetimi şartnamesi olan PAS 11922 (PAS-Kamuya Açık Spesifikasyonlar) geliştirilmiştir. PAS-Kamuya Açık Spesifikasyonlar-, BSI-İngiliz Standartları Enstitüsü- tarafından belirlenen yönergeleri izleyerek acil pazar ihtiyacını karşılamak üzere sponsor kuruluşlar tarafından geliştirilen halka açık spesifikasyonlar, standartlar, hızlı uygulama kuralları veya kılavuzlardır. Bu normlar yıllar geçtikçe yaygınlaşmaya başlayarak, diğer ülkelerin de ilgisini çekmeye başladı. Bununla birlikte, uluslararası bir standart oluşturma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Böylece, PAS 1192, 2018 yılında BS EN ISO 19650'nin temelini olmuştur. Bu nedenle özünde BIM Level 2 sürecinin uluslararasılaştırılması olarak adlandırılmaktadır. [1; 5; 6] British Standards Institution (BSI), the UK BIM Alliance and the Centre for Digitally Built Britain (CDBB) bu alandaki üç lider organ olarak öne çıkmakta olup ISO 19650 standardının benimsenmesi ve uygulanması için bir kılavuz çerçeve oluşturmak üzere birlikte hareket etmiştir [1].

ISO 19650 serisi başlangıçta iki bölüme ayrılmıştır (Şekil 1): ISO 19650-1, BIM ve bilgi yönetimi için kapsayıcı ilkeler ve gereklilikler sağlarken, ISO 19650-2, dijital bilginin organizasyonu ve yapılandırılması için özel kılavuzlar ve gereksinimler sağlar. Bu standartlar, dijital teknolojilerin kullanımını ve veri paylaşımını teşvik ederek bina ve inşaat endüstrisinin verimliliğini ve etkinliğini artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, ISO 19650, ülkelerin yerel bilgileri ve önemli özelliklerini içeren bir ek hazırlamasına izin vermiş, böylece ISO'nun benimsendiği ülkeye uyarlanabilirliği artırılmak istenmiştir [7].



Şekil 1. Zaman Çizelgesi [19].

Günümüzde ise ISO 19650 6 bölümden oluşmakta olup 4. ve 6. bölümler hala geliştirilme aşamasındadır (Şekil 2).

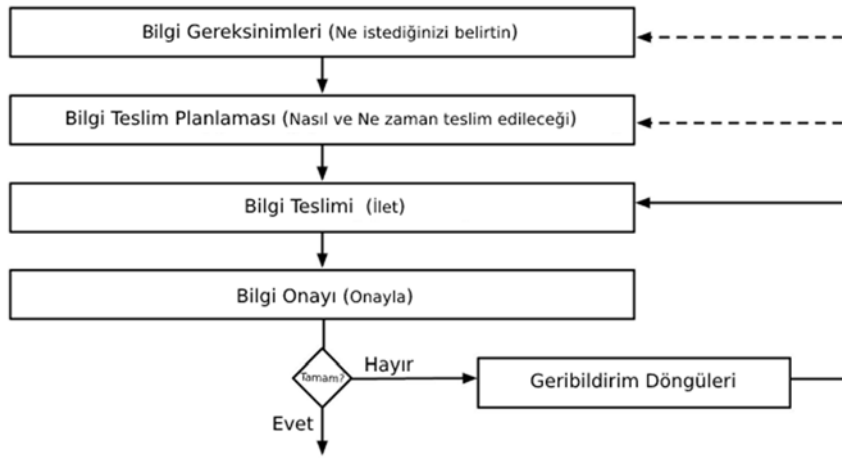


Şekil 2. ISO 19650 Standartları [14].

## 2.1. BS EN ISO 19650-1: Kavramlar ve ilkeler:

Bu belge [2;8;9], ISO 19650 serisinde kullanılan bilgi yönetimi kavramlarını ve ilkelerini özetlemektedir. Stratejik planlama, ilk tasarım, mühendislik, geliştirme, dokümantasyon ve inşaat, günlük işletme, bakım, yenileme, onarım ve kullanım ömrü sonu dahil olmak üzere herhangi bir inşa edilmiş varlığın tüm yaşam döngüsü kapsayan bilgi yönetimidir. Dolayısıyla bu sürecin yönetimini iyileştirerek verimliliğin artırılmasını hedeflemektedir. Tüm aktörler için işbirlikçi çalışmanın planlanması, teslim aşaması, operasyonel aşama, modeller arası bilgi aktarımı, bilgilerin saklanması ve yönetimi amacıyla ortak veri ortamı (CDE) geliştirme, bilgi ihtiyaç düzeyi ve sınıflandırma (Uniclass-BK, Omniclass-ABD) dahil olmak üzere tüm bilgileri yönetmek için çerçeve öneriler sağlamakta olup ilgili terimlerden bahsedilmektedir.

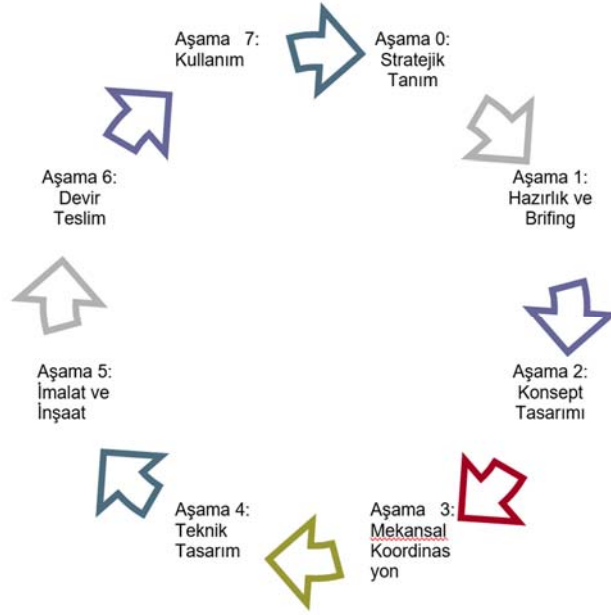
ISO 19650-1'den alınmış olan Şekil 3 sürecin nasıl işlediğini ifade eden bir akış şemasıdır.



Şekil 3. Üst düzey bilgi sağlama akış şeması [8].

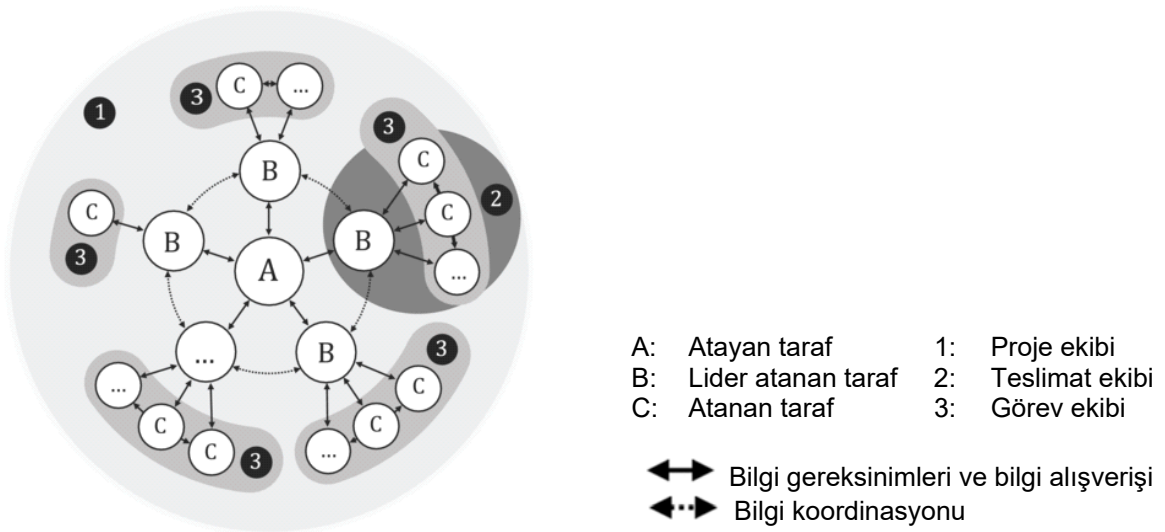
## 2.2. BS EN ISO 19650-2: Varlıkların teslim aşaması:

Bir projenin bilgi teslimatı [10;12], genelde inşa edilmiş bir varlığın tüm ömrünü kapsayan aşamalar dizisini tanımlayan bir "İş Planı" aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Birleşik Krallıkta proje aşamaları RIBA iş planı ile açıklanmaktadır. Bu plan sekiz aşama olup projede yer alacak olan herkese yardımcı olmak için tasarlanmıştır. Bu plana göre, 0-4. Aşamalar genellikle birbiri ardına gerçekleştirilecektir. Müşteri gereksinimlerinin netleşerek ayrıntılı bilgilerin 3. aşama ve sonrasında iletmeye başlayacağı söylenebilir. 4. aşamada (yani teknik tasarım), projeyi üretmek/inşa etmek için gerekli tüm tasarım bilgileri eksiksiz olmalıdır. 4. ve 5. Aşamalar, çoğu proje için programda eş zamanlı olacaktır. 5. Aşama, yüklenicinin sahayı devralmasıyla başlar ve uygulamanın tamamlanması ile sona erer. 6. Aşama, uygulamanın hemen ardından binanın müşteriye teslim edilmesiyle başlar ve sorumluluk süresinin sonunda biter. 7. Aşama, 6. Aşama ile eşzamanlı olarak başlar ve binanın ömrü boyunca sürer. Özetle, Aşama 0'ın sonucu bir proje başlatma kararı olabilir, 1-6 arasındaki aşamalar proje sürecini, 7. Aşama, binanın veya varlığın devam eden kullanımını temsil eder [11].



Şekil 4. RIBA İş Planı 2020 Şablonu [11]

İş birliği ve etkin ekip çalışması, ISO 19650 serisinin merkezinde yer alan bir parametredir, dolayısıyla bu bölüm, aktörleri ve faaliyetleri genel proje ekibi bağlamında açıklamak için hazırlanmıştır. Aktörler bu standartta taraf olarak anılır ve üç tür ekip tanımlanmaktadır. Bunlar; "Atayan Taraf, Lider Olarak Atanan Taraf ve Atanan Taraf ile Proje Ekibi, Teslimat Ekibi ve Görev Ekibi"dir. Şekil 5 (bkz. ISO 19650-2 Şekil 2), bilgi yönetimi açısından bu taraflar ve ekipler arasındaki arayüzü göstermektedir. Atayan taraf, müşteri veya müşteri adına bilgileri yöneten taraftır. Lider olarak atanan taraf, müşteri tarafından atanan bir taraftır. Atanan taraf, lider olarak atanan tarafça atanan taraftır. Atanan taraf, bilgiyi sağlayan taraftır. Proje ekibindeki konumunuz ve gerçekleştirdiğiniz faaliyet ne olursa olsun, ISO 19650 serisi, hangi bilgilere ihtiyacınız olduğunu ve hangi bilgilerin sizden istendiğini değerlendirmenize yardımcı olur. Ayrıca, diğer kişi ve kuruluşlarla nasıl koordine edilmesi ve paylaşılması gerektiğini düşünmenize de yardımcı olur. [10;12] Bu faaliyetlerin ve çıktıların çoğu, varlık yaşam döngüsünün operasyonel aşaması olan ISO 19650-3'te tekrarlanır.

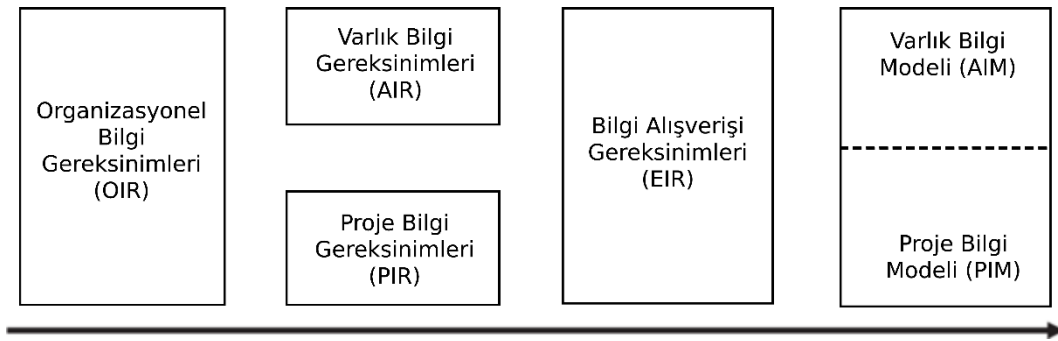


Şekil 5. Bilgi yönetimi amacıyla taraflar ve ekipler arasındaki arayüzler [12].

ISO 19650 serisinin uygulanması, öncelikle proje teslimi ve/veya varlık yönetimi ile ilişkili kişiler ve kuruluşlar arasındaki iş birliğine dayalı bir standarttır. Bu iş birliğinin başarılı olması için, proje teslimi ve varlık yönetimi boyunca bir dizi girdi ve çıktı ISO 19650-1'de tanımlanmıştır (kılavuz şekil 3). Farklı bilgi gereksinimleri biçimleriyle ilgili olarak ISO 19650-1 tanımlanan kavram ve ilkeler bu belgede uygulanmıştır. Bu kavram ve ilkelerin uygulanması, varlık yönetimi faaliyetlerine yanıt verecek şekilde tanımlanmıştır. Bunu desteklemek için, bilgi gereksinimlerinin ilerlemesinin basitleştirilmiş bir gösterimi Şekil 6'da yer almaktadır. Şema, farklı türdeki bilgi gereksinimlerinin nasıl birbirini beslediğini ve nihayetinde bilgi modelinin teslimatı ile sonuçlandığını ifade etmektedir. [13]

Bu şema ISO 19650 serisine göre bina bilgi modellemesi (BIM)" aracılığıyla üç ayrı yolu tanımlamaya yardımcı olur [12]:

1. Varlık yönetimi hususları olmadan proje teslimi: PIR-EIR-PIM
2. Proje teslimi hususları olmaksızın varlık yönetimi: OIR-AIR-AIM
3. Birleşik proje teslimi/varlık yönetimi: OIR-AIR-EIR-PIM-AIM ve PIR-EIR-PIM-AIM



Şekil 6. Bilgi gereksinimlerinin ilerlemesinin basitleştirilmiş gösterimi [13]

### 2.3. BS EN ISO 19650-3:2020: Varlıkların operasyonel aşaması.

Bu belge [15;16], her tür varlığa ve varlıkların işletme aşamasında yer alan her tür ve büyüklükteki kuruluş tarafından uygulanabilir. Belgedeki gereksinimler, söz konusu kuruluş tarafından gerçekleştirilen doğrudan eylemlerle sağlanabilir veya devredilebilir. Bu kılavuz, altyapı ve bina varlıklarının sahibi olmak, işletmek ve bakımını yapmaktan sorumlu kişiler tarafından okunmak üzere tasarlanmıştır. İçeriğin çoğu bağımsızdır ancak bazı unsurlar 2. bölüme atıfta bulunur. ISO 19650 Bölüm 3 özellikle, bilgi yönetimi sürecinin uygulanabileceği farklı kullanım durumlarını ve ISO'nun uygulanmasında yer alan farklı organizasyonel rolleri, süreç adımlarının akış şemasını, sürecin belirli bir tetikleyici olaya (anket) uygulanmasına ilişkin bir örneği ve süreç sonucunda sağlanan bilgilerin mevcut bilgi sistemlerine nasıl dahil edilebileceğini açıklar.

Varlık yönetimi bağlamındaki bilgiler, bilgilerin belirlenmesini, üretilmesini, değiş tokuş edilmesini, kontrol edilmesini ve onaylanmasını gerektirir. Bilgiler yapılandırılmış ve tutarlı olmalı ve mümkün olduğunda öngörülebilir ve tekrarlanabilir sonuçları desteklemelidir. Bilgi kendi başına ve kendi performans kriterleri ile değerli bir varlık olarak görülmelidir. Performans, bir yatırım getirisi veya yükümlülüğün azaltılması ile olan bağlantısını ölçerek ekonomik olabilir ve ayrıca varlık yönetimi sürecini desteklemekle ilgili olabilir [15;16].

Varlık yönetimi, ISO 55000'de "varlıklardan değer elde etmek için bir kuruluşun koordineli faaliyeti" olarak tanımlanır. Bir varlık, "bir kuruluş için potansiyel veya fiili değeri olan bir öge, şey veya varlık" olarak tanımlanır. Varlık yönetimi, ISO 55000'de toplu olarak bir varlık portföyü olarak bilinen binalar ve tesisler de dahil olmak üzere her türlü varlığı kapsar. Varlık yönetimi, ISO 19650-1'de "bir varlığın kullanıldığı, çalıştırıldığı ve bakımının yapıldığı yaşam döngüsünün bir parçası" olarak tanımlanan operasyonel aşama dahil olmak üzere varlık portföyünün varlık yaşam döngüsünün tüm bölümlerini kapsar. İşletme aşaması, varlıkların kuruluşa değer kattığı ve genellikle inşaat, genişletme veya büyük değişikliklerden geçmeyecekleri zamanı ifade eder. Bununla birlikte, küçük ölçekli bileşenlerin teftişleri, bakımı ve değiştirilmesinin bir sonucu olarak genellikle sürekli bir küçük değişiklikler akışı olacaktır.

ISO 55000 varlık yaşam döngüsü, oluşturmayı veya edinmeyi, çalıştırmayı ve sürdürmeyi ve elden çıkarmayı veya değiştirmeyi içerir [15;16].

ISO 19650 serisi, varlık yönetimini destekler ve hem 2. bölümdeki proje faaliyetlerini hem de 3. bölümdeki varlıkların operasyonel faz faaliyetlerini içeren bilgiye yaklaşımları tanımlar. Şekil 7, teslimat aşaması faaliyetler (ISO 19650-2'de tanımlanmıştır) ve işletim aşaması faaliyetler (ISO 19650-3'te tanımlanmıştır) arasındaki ilişkiyi göstermektedir [15;16].



- AIM: Varlık Bilgi Modeli  
PIM: Proje Bilgi Modeli  
A: Teslimat aşamasının başlangıcı- ilgili bilgilerin AIM'den PIM'e aktarımı  
B: İşletme aşamasının başlangıcı- ilgili bilgilerin PIM'den AIM C'ye kullanım sonrası/uygulama değerlendirmesi veya performans incelemesine aktarılması  
C: Kullanım sonrası/uygulama değerlendirmesi veya performans incelemesi  
D: İşletim aşamasında tetikleyici olaylar

NOT: Bilgiler teslimat aşamasında PIM ve AIM arasında ve ayrıca A ve B noktalarında aktarılabilir.

Şekil 7. Bir varlığın yaşam döngüsü boyunca bilgi yönetimi [15].

Çoğu standart gibi, ISO 19650-3 de isteğe bağlı bir belgedir. Ancak ISO 19650-3'te tanımlanan yaklaşımların izlenmesi, bilgi yönetimi süreçlerinin verimliliğini ve etkinliğini artırmalı ve tüm tarafların, özellikle de atayan taraf (varlık sahibi/işletmeni) hedeflerini desteklemelidir. Birden fazla atanmış taraf, etkili ve verimli bir şekilde bilgi üretebilir. Küresel projelerde daha etkili iş birliğini teşvik edecek ve her türlü inşaat işinde çalışan tasarımcıların ve müteahhitlerin daha net ve verimli bilgi yönetimine sahip olmalarını sağlayacaktır. ISO 19650-3, bilgilerin güvenli, kolayca geri alınabilmesi ve fiziksel ve teknolojik bozulma veya eskimeye karşı korunması için saklanmanıza yardımcı olacaktır. [15;16]

#### 2.4. BS EN ISO 19650-4:2022 Bilgi Paylaşımı:

Uluslararası BIM standartları serisinin dördüncüsü olan bu belge, ortaya çıkan proje bilgi modelinin veya varlık bilgi modelinin kalitesini sağlamak için ISO 19650 serisi tarafından belirtilen bir bilgi paylaşımını gerçekleştirirken karar verme süreçlerini ve kriterleri belirtir. ISO 19650-1'deki kavramların uygulanmasını detaylandırır ve ISO 19650-2 kapsamındaki teslimat aşamaları ve ISO 19650-3 kapsamındaki operasyonel tetikleyici olaylar içindeki herhangi bir bilgi alışverişi için geçerlidir [17]. Bina portföyleri, kampüsler, altyapı ağları, bireysel binalar ve altyapı parçaları dahil olmak üzere her boyut ve karmaşıklık seviyesindeki inşa edilmiş varlıklar için geçerlidir. Kullanıcılar genellikle; BIM yöneticileri, koordinatörleri, modelleyicileri, uzmanları, teknisyenleri, varlık ve tesis yöneticileri olacaktır [14]. Bilgi alışverişi, bilgi üretimi ve tüketimi sürecinde her seviyede proje ekipleri ile varlık/tesis yönetimi ve operasyon ekipleri arasında gerçekleşir. Bilgilerin güvenilirliğini ve süreçlerin tekrarlanabilirliğini sağlamak için uygulanması kritik öneme sahiptir. Bir veri dosyası [17]:

- Tanımlı bir adlandırılma sistemine sahiptir,
- Ortak bir veri ortamı (CDE) kullanılarak alınabilir; (CDE iş akışı, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış bilgilerin toplanması, yönetilmesi ve dağıtılması için kullanılacak süreçleri tanımlar ve CDE çözümü, bu süreçleri mümkün kılan teknolojidir),
- Gözden geçirme ve sistematik arşivleme kullanılarak kalıcı hale getirilir.

Temelde önemli olan tüm paydaşları bir araya getirebilecek bir altyapı sağlayabilmektir.



## 2.5. BS EN ISO 19650-5:2020: Bilgi yönetimine güvenlik odaklı yaklaşım:

Bu belge, Proje sürecinde güvenlik odaklı bilgi yönetimi için ilke ve gereklilikleri içermektedir. Diğer bir deyişle herhangi bir girişimin, projenin, varlığın, ürünün veya hizmetin bir parçası olarak veya bunlarla bağlantılı olarak elde edilen, oluşturulan, işlenen ve saklanan hassas bilgilerin dikkatli yönetimini içermektedir [18;8].

Uyumluluğu izleme ve denetleme ihtiyacı da dahil olmak üzere hassas bilgilere erişimi olan kuruluşlar genelinde uygun ve orantılı bir güvenlik zihniyeti ve kültürü oluşturmak ve geliştirmek için gerekli adımları ele alır. Özetlenen yaklaşım, hassas bilgilerin elde edildiği, oluşturulduğu, işlendiği ve/veya depolandığı, planlanmış veya mevcut bir girişimin, projenin, varlığın, ürünün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca uygulanabilir. Bu belge, varlıkların veya ürünlerin yaratılması, tasarımı, inşası, imalatı, işletilmesi, yönetimi, değiştirilmesi, iyileştirilmesi, yıkımı ve/veya geri dönüşümünde bilgi yönetimi ve teknolojilerinin kullanımına dahil olan herhangi bir kuruluş tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır [18;8].

## 3. DEĞERLENDİRME

**Tablo 1.** Birleşik Krallık BIM Çerçevesi Kapsamında ISO 19650 Standartlarının Değerlendirilmesi [8].

Birleşik Krallık BIM Çerçevesi	Temel Faydalar	Referans
<b>Bilgi Gereksinimleri</b>	Bilginin test edilebilmesini ve takibinin kolay olmasını sağlamaktadır. İş hedeflerini ve operasyonel ihtiyaçları karşılarken bilginin kaybolması, kötüye kullanılması veya değiştirilmesi riskini ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, karar vermek için doğru bilginin edinilmesini sağlamaktadır.	ISO 19650-2, 5.1 ISO 19650-3, 5.1 ISO 19650-5, 9 BS 8536-1/2 Kılavuz Bölüm A, D Kılavuz Bölüm 2, 3 GSL Kılavuzu
<b>İhale</b>	Yapılandırılmış bilgileri kullanıma sunarak tedarikçilerin proje risklerini değerlendirmesine ve maliyetlendirmesine yardımcı olmaktadır. Potansiyel tedarikçilerin yetenek ve kapasitelerini etkili bir şekilde değerlendirmek için doğru bilgilerin alınmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, bir proje üzerinde çalışan kuruluşların yetenekli, yetkin ve brifingi karşılayacak düzeyde olup olmadığı ölçülebilmektedir.	ISO 19650-2, 5.2-4 ISO 19650-3, 5.2-4 Kılavuz Bölüm E Bilgi Protokolü
<b>Bilgi teslimat planlaması</b>	İzlenecek standartları, yöntemleri ve prosedürleri belirleyerek tutarlı bilgi üretimini sağlamaktadır. Belirtilen yöntemlerin bilgi üretimi öncesinde test edilmesi ile geçerliliği sağlanmaktadır. Dolayısıyla, doğru bilginin, doğru zamanda, doğru kişilere ulaşması sağlanır.	ISO 19650-2, 5.5 ISO 19650-3, 5.5 Kılavuz Bölüm C Kılavuz Bölüm F
<b>Bilgi teslimatı</b>	Gerektiğinde başkaları tarafından üretilen bilgilere erişerek varsayımları azaltmaktadır. İlgili standartlara, yöntemlere ve prosedürlere erişim sağlayarak yeniden çalışmayı azaltmaktadır. Dolayısıyla, tutarlı ve güvenli bilgi sağlanmaktadır.	ISO 19650-2, 5.6 ISO 19650-3, 5.6 BS 1192-4 PAS 1192-6 Kılavuz Bölüm B Kılavuz Bölüm E Kılavuz Bölüm F
<b>Bilgi kabulü</b>	Bilgiler teslim edilmeden önce sağlam bir onay ve yetkilendirme prosedüründen geçmektedir. Sağlanan bilgileri bilgi gerekliliklerine ve ilgili standartlara, yöntemlere ve prosedürlere göre test etme yeteneği sayesinde daha kolay doğrulama sağlamaktadır. Dolayısıyla, teslim alınan bilginin brifingi karşıladığından emin olmak için, bilgi gereksinimlerinin yanı sıra bilgi standardı ve bilgi üretim yöntemleri ve prosedürlerine göre doğrulama yapılabilmektedir.	ISO 19650-2, 5.7 ISO 19650-3, 5.7 Kılavuz Bölüm 3

ISO 19650 standartları, Birleşik Krallık BIM Çerçevesi kapsamında yer alan başlıklar üzerinden incelendiğinde, hangi standartların hangi aşamada devreye girdiği ve nasıl fayda sağladığı Tablo 1'de özetlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Endüstrinin süreçlerini ve üretkenliğini iyileştirme, dijital dönüşüme doğru ilerleme ihtiyacından dolayı birçok ülkede BIM bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bilgiyi yapılandırmamıza yardımcı olan bir metodoloji sağladığı için bilgi yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bilginin endüstri standartlarını kullanarak yapılandırılması, iş birliğinin geliştirilmesine yardımcı olur. Bu, bilginin hem insanlar hem de teknoloji tarafından birleştirilebileceği anlamına gelir ve böylece ondan daha değerli bilgiler elde etmemizi desteklemektedir. Sektörde aynı bilgi yapılarını kullanmak tutarlılık, tekrar ve öngörülebilirlik sağlayacaktır.

Çalışmada BIM süreçleri için uluslararası yapı sektöründe önem taşıyan ISO 19650 serileri incelenmiş ve standartlar çerçevesinde belirtilen önemli konular vurgulanmıştır. Bu kapsamda, ISO 19650 uyarınca BIM'deki süreçleri benimseyen bir projede:

- Varlık sahibi veya müşterisi tarafından ihtiyaç duyulan bilgiler ve bunların üretimini ve kontrolünü yönetecek yöntemler, süreçler, son tarihler ve protokoller net bir şekilde tanımlanmış olacaktır. Dolayısıyla, daha iyi bilgi yönetimi, daha açık ve net ilişkiler, taraflar arasında daha fazla iletişimden söz edilebilecektir.
- Doğru bilginin, doğru zamanda, doğru kişilere ulaşması sağlanmış olacaktır.
- Üretilen bilginin miktarı ve kalitesi, sağlık ve güvenlikten ödün vermeden, ihtiyacı karşılayabilecek seviyede olacaktır. Çok fazla bilgi, tedarik zinciri tarafından boşa harcanan çabayı temsil etmekte olup az bilgi ise, müşterilerin veya varlık sahiplerinin projeleri/varlıkları hakkında bilgisiz kararlar almalarına neden olacaktır.
- Bilginin takibi kolaylaşacak, iş hedefleri ve işletme ihtiyaçları karşılanırken bilginin kaybolması, kötüye kullanılması veya değiştirilmesi riski ortadan kaldırılmış olacaktır.
- Yaşam döngüsünün her aşamasında, özellikle proje teslimi ile varlık işletimi arasında verimli ve etkili bilgi aktarımı sağlanabilecek olup iş birliğini destekleyen bir süreç gerçekleşecektir.
- Teknik ve kalifiye personellerle çalışma olanağını arttırmaktadır.

Sonuçta standartlar dahilinde gerçekleştirilen, tasarım, inşaat ve varlık yönetimi faaliyetlerinde israfın, maliyetlerin ve riskin azaltılması, verimliliğin, binaların kalitesinin ve sürdürülebilirliğinin artması sağlanmış olacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1]. SHILLCOCK, P. "From BS 1192 to ISO 19650 and everything in between. NBS Enterprises". Url: <https://www.thenbs.com/knowledge/from-bs-1192-to-iso-19650-and-everything-in-between>. Son Erişim Tarihi: 15.01.2023.
- [2]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. "ISO 19650:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. Geneva", Url: <https://www.iso.org/standard/68078.html>. Son Erişim Tarihi: 15.01.2023.
- [3]. THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). "What happens now that BIM's gone global?", Url: <https://www.bsigroup.com/en-GB/blog/Built-Environment-Blog/what-happens-now-that-bims-gone-global/>. Son Erişim Tarihi: 20.01.2023.
- [4]. BIM LEVEL 2. 2021. "NBS Enterprises". Url: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BIM\\_level\\_2](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BIM_level_2). Son Erişim tarihi: 23.01.2023.

- [5]. BIM WIKI. PAS 1192-2. 2020. Url: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/PAS\\_1192-2](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/PAS_1192-2). Son Erişim Tarihi: 15 Ocak 2023.
- [6]. COSTA, A. P., CORRÊA, K. M. A. ., MİRANDA, E. de M. ., and RUSCHEL , R. C. “Panorama internacional e status de adoção da ISO 19650. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 3(00)”, 1–12. Url: <https://doi.org/10.46421/sbtic.v3i00.599>, 2021.
- [7]. SHILLCOCK, P., “ISO 19650: When you should adopt it and why”. BIM+. Url: <https://www.bimplus.co.uk/analysis/iso-19650-timetableimplementation/#:~:text=and%20best%20practice.,The%20ISO%2019650%20series%20represents%20the%20latest%20industry%20standards%20and,internationally%20agreed%20sets%20of%20standards>. Son Erişim Tarihi: 23.01.2023, 2019.
- [8]. ISO STANDARDS, Url: <https://www.iso.org/standards.html>. Son Erişim Tarihi: 23.01.2023.
- [9]. BOUTLE, A., CROFT, A., DODD, P., HOLMES, S., HOOPER, E., FORD, J., ... ZAHİRODDİNY, S., “Information Management according to BS EN ISO 19650. Guidance Part 1: Concepts”, Ed: Churcher, D., Davidson S., Kemp A., UKBIM ALLIANCE, CDBB, BSI, 2019.
- [10]. BOUTLE, A., CROFT, A., DODD, P., HOLMES, S., HOOPER, E., FORD, J., ... WİNFİELD, M., “Information Management according to BS EN ISO 19650. Guidance Part 2: Processes for Project Delivery, (2.baskı)”. Ed: Churcher, D., Davidson S., Kemp A., UKBIM ALLIANCE, CDBB, BSI. 2019.
- [11]. RIBA. 2020. “Plan Of Work Overview”. [online] London: RIBA. Url: <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/resources-landing-page/riba-plan-of-work#available-resources>. Son Erişim Tarihi: 23.01.2023.
- [12]. UK BIM FRAMEWORK, “Information management according to BS EN ISO 19650. Guidance Part 2: Processes for Project Delivery”. Url: <https://www.ukbimframework.org/wp-content/uploads/2019/11/ISO-19650-Guidance-Part-2-Single-Page-Print.pdf>. Son Erişim Tarihi: 30.01.2023.
- [13]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. “International Organization For Standardization. ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets”. Url: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-3:ed-1:v1:en>. Son Erişim Tarihi:30.01.2023.
- [14]. UK BIM FRAMEWORK GUIDANCE, Url: <https://ukbimframeworkguidance.notion.site/UK-BIM-Framework-Guidance-20a045d01cfb42fea2fef35a7b988dbc>, Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [15]. ISO 19650 Guidance 3: Operational phase, Url: <https://ukbimframeworkguidance.notion.site/ISO-19650-Guidance-3-Operational-phase-5c1d1f1ea41a4c428a0cd3777ba01b6d>, Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [16]. ISO, “Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling - Operational phase of the assets”, Url: BS EN ISO 19650-3:2020 | 31 Aug 2020 | BSI Knowledge (bsigroup.com), Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [17]. ISO 19650-4:2022 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 4: Information Exchange, Url: <https://www.iso.org/standard/78246.html>, Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [18]. ISO 19650-5:2020(en) Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 5: Security-minded approach to information management. Url: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-5:ed-1:v1:en>, Son Erişim Tarihi: 27.02.2023.
- [19]. AUSTRALIA AND NEW ZEALAND GUIDE TO ISO 19650. “ISO 19650 -Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -Information management usingbuilding information modelling”.
- [20]. BSI (British Standards Institute), “Eğitim Akademisi-Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) Temel Eğitim Notları”. 2021.
- [21]. KILINÇARSLAN T., “BIM'den Dijital İkiz'e”. TTMD E-Dergi, Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat. Sayı 131, S 54-67.



- [22]. ŞEN G. E., “BIM Kullanıcılarının Kuramsal BIM Bilgi Düzeyini Anlama Ve Kuramsal BIM Eğitimi Gereksinimi Üzerine Bir İnceleme”. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimari ve Kentsel Enformatik, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. 2022.
- [23]. BSI, “PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capitalanddelivery phase of construction projects using BIM”, London, British Standards Institution. 2013.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fulya GÖKŞEN

1991 yılı Kahramanmaraş doğumludur. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans, 2018 yılında Enerji Etkin Bina Tasarımı üzerine Yüksek Lisans eğitimini tamamlamış olup devamında Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Ana Bilim Dalında Doktora eğitimine başlamış ve halen devam etmektedir. 2014-2017 yılları arasında özel sektörde Mimar olarak çalışmış, 2017 yılında itibaren Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Araştırmalarını, enerji etkin bina tasarımı ve bina performans simülasyonları üzerine devam ettirmektedir. 2022 yılından itibaren IBPSA Türkiye yönetim kurulu üyesidir.



# YÜKSEK PERFORMANSLI BİNA TASARIMINDA DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN YARATTIĞI FIRSATLAR

*Opportunities Created by Dijital Transformation in High Performance Building Design*

**Gülsu Ulukavak Harputlugil**

## ÖZET

Yüksek Performanslı Binalar (High Performance Buildings), çağdaşları ile karşılaştırıldığında, çoğundan ölçülebilir derecede daha iyi performans gösteren binalardır. Bina tasarımı, mühendisliği ve inşaatında en son teknolojiyi temsil ettikleri için, kullanıcılarının sağlığı ve refahını koruma, yatırımın geri dönüşünü sağlama, sınırlı doğal kaynakların verimli kullanımını sağlama ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirme yönünde öncü bir işlevi vardır. Sosyal konutlardan, prestijli ofis binalarına kadar geniş spektrumdaki herhangi bir bina tipi "yüksek performanslı bina" olabilir.

Yapı sektöründe, "yüksek performanslı bina" elde edebilmek, bütünlük tasarım ve sistem çözümü anlayışı ile, tasarım süreci başından itibaren performansın değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Günümüzde, disiplinlerarası çalışmayı kolaylaştıran, tasarım süreci boyunca tasarım kararlarının ve dolayısıyla bina performansının değerlendirilmesine yönelik olarak sayısal uygulamalar (bina performans modelleme/simülasyon araçları) giderek önem kazanmaktadır.

Bu bildiride, yüksek performanslı bina elde etme sürecinin, dijital platformda yürütülmesinin yaratacağı avantajlar ele alınacaktır. Farklı disiplinlerin, aynı platform üzerinde tasarımın gelişmesine ve iyileştirilmesine sunacağı katkının değerlendirilmesi, tasarımda karar alma sürelerine ve maliyetlere olan etkisinin tartışılması ile, bina elde etme sürecinin bütünüyle dijital dönüşümünün yaratacağı fırsatların ortaya çıkartılması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı performansı, Yüksek performanslı bina, Performans analizi, Modelleme, Simülasyon

## ABSTRACT

High Performance Buildings are buildings that perform better than most compared to their contemporaries. As they represent the latest technology in building design, engineering and construction, they have a pioneering function in protecting the health and well-being of their users, ensuring return on investment, ensuring efficient use of limited natural resources and minimizing negative impacts on the environment. Any building type in a broad spectrum, from social residences to prestigious office buildings, can be a "high performance building". In the building sector, obtaining a "high performance building" requires an integrated design and system solution approach to evaluate the performance from the beginning of the design process. Today, software applications (building performance modeling / simulation tools) are becoming increasingly important for the evaluation of design decisions and therefore building performance during the design process. In this paper, the advantages of running the high-performance building process on the platform formed by modeling tools and simulation software will be discussed. By evaluating the contribution of different disciplines to the development and improvement of design on the same platform it is aimed to reveal the opportunities to be created by the digital transformation of the building design process.

**Key Words:** Building performance, High performance building, Performance analysis, Modelling, Simulation.

## 1. GİRİŞ

Dünyada son 20 yılda önemli değişimler gerçekleşti. İkininli yıllara yaklaşırken, uzak bir gelecekte dünyayı bekleyen çevresel sorunlar ve iklim değişiminin yaratacağı olumsuzluklardan söz edilmekte ve önlem alınması gerektiği dillendirilmekteyse de, dünya tüm öngörülerle beklenenden çok daha kısa sürede karşılaştı. Dünyanın sıcaklığının artması ile birlikte, aşırı iklim koşullarının oluştuğu, kuraklık ve orman yangınlarının arttığı, deniz seviyesinin yükseldiği, ekosistemlerin değiştiği bir dünya ile karşı karşıya kalındı. Atmosferdeki karbon emisyon miktarının geri dönüşsüz seviyelerde artması, küresel ısınma ve yarattığı iklim değişiminin hissedilir ölçüde tüm dünyayı etkisi altına alması, dünyanın geleceği hakkındaki endişelerin daha yüksek sesle dile getirilmesine, ülkeler ve devletler bazında ortak görüş ve zorunlu işbirliklerinin oluşmasına neden oldu. Bu koşullarda, yapılı çevreyi inşa etmekten sorumlu profesyonellerin, gelecek için derhal acil eylem planları geliştirmeleri gerekliliği ortaya çıktı. Dahası, Covid-19 salgını yeni bir tehdit olarak baş gösterdi ve dünyayı etkiledi. Covid-19 salgını ilk değil ve pandemiye neden olan son virüs olmadığı da bilinen bir gerçektir. Bu yüzden pandeminin neden olduğu sorunlara da hazırlıklı olmak gerekmektedir. Bunu sadece sağlıkçıları ilgilendiren bir konu olarak ele almak son derece yanlış olur. Sağlıklı bir çevreden sorumlu profesyonellerin tüm bakış açılarını ve uygulama pratiklerini değiştirecek yeni bir yaklaşıma gereksinimi vardır. Bu bağlamda, yapılı çevredeki konfor ve sağlık koşullarını dikkate alan bir yaklaşım, zaman kaybetmeden yaygın bir şekilde uygulamaya konulmalıdır.

Tarım, atık ve ulaşım sektörü ile birlikte bina sektörünün karbon emisyonlarına büyük katkı sağladığı bilinmektedir. IEA raporuna [1] göre, bina sektörü dünya çapında küresel nihai enerji tüketiminin %30'undan ve enerji ile ilgili CO2 emisyonlarının %28'inden sorumlu görünmektedir. Türkiye'deki yapı sektörüne baktığımızda, resmi istatistiklerde [2] binaların toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30'unu tükettiği görülmektedir. İmalat ve inşaat sektörü, konut ve hizmetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları yaklaşık %30-35 paya sahiptir. Bu bilgi bize, hem yeni binalar hem de mevcut bina stoku için binaların gelecek projeksiyonları hakkında daha fazla düşünmemiz için bir öngörü sağlamakta ve bize yapılı çevre üzerindeki sorumluluğumuzu tekrar tekrar hatırlatmaktadır.

Ancak kötümser olmanın ve vazgeçmenin de hiç gereği yoktur. Hiçbir şey yapmanın bedelinin daha ağır olacağı bilinciyle, geleceğimiz için bir şans yaratacak birçok fırsatı değerlendirmeye ihtiyaç vardır. Ülkeler, hükümetlerin 2030 veya 2050 projeksiyonları, artan yenilenebilir enerjinin yönünü, iklimle duyarlı / uyurlanabilir kentsel yerleşimleri, neredeyse sıfır enerjili bina ilkelerini, akıllı binaları ve günlük hayatımıza getirdiği teknolojiye yönelik çalışmalarını ve düzenlemelerini hızlandırmışlardır. Sadece yeni binalar için değil, mevcut binaların iyileştirilmesi ve uyumlandırılması için gerekenler de hızla devreye alınmaktadır.

Bu bağlamda, farklı ölçeklerde olmak üzere, bina ve bina sistemleri bazında yüksek performans hedeflerinin tanımlanması ve hem yeni binalar için, hem de mevcut binalar için sonuç performans odaklı yeni stratejilerin geliştirilmesine yönelinmiştir. En yüksek standarttaki sağlık ve konfor koşullarının, en düşük karbon emisyonu ile ve en yüksek kaynak verimliliğinde gerçekleştirilebilir kılınması hedeflenmektedir. Bu hedef, "yüksek performanslı bina" hedefidir. Bu çalışmada yüksek performansın tanımından başlamak üzere farklı yöntemlerinin bir değerlendirilmesi yapılmakta ve tasarımda gerçekleşen dijital dönüşümün yarattığı fırsatlar ve kısıtlar tartışmaya açılmaktadır.

## 2. YÜKSEK PERFORMANSLI BİNA TANIMI

Bir binanın performansı (veya verimliliği), fiziksel, sosyal veya çevresel bağlamda belirlenmiş kriterlere göre ne kadar iyi işletilebildiğinin ölçüsüdür [3]. Bir binanın ısı kayıp ve kazançları dengesi, hava ve su

sızdırmazlığı, gürültü kontrolü, strüktürel performansı, kaynak kullanımı (su, enerji, malzeme), yangın performansı vb. tüm parametrelere dayalı olarak performans değerlendirilebilir. Burada sadece binanın işletim süreci değil, binanın tasarımı ve inşası için gerekli kaynakların etkili bir şekilde kullanılıp kullanılmadığı da bir performans ölçütü olarak ele alınabilir.

De Wilde [4] bina performansını şöyle tanımlamaktadır:

*“Bina performansı, bir nesne olarak bina veya bir inşaat süreci olarak bina ile ilgilidir. Bu yaklaşımın üç ana görüşü vardır: mühendislik, süreç ve estetik bakış açısı. Mühendislik görüşü, bir binanın görevini ve işlevlerini ne kadar iyi yerine getirdiğiyle ilgilidir. Süreç görüşü, inşaat sürecinin binaları ne kadar iyi ortaya çıkarttığı ile ilgilidir. Estetik görüş, bir sunum veya takdir biçimi olarak binaların başarısıyla ilgilidir.”*

Bu tanımdan yola çıkarak, bu çalışma kapsamında bina performansı bir mühendislik bakış açısı ile değerlendirilmektedir. Burada, binanın tüm sistemlerinin entegre bir bütün olarak tek bir performans hedefine yönelik en iyi şekilde çalışması beklenmektedir. Performansa dayalı değerlendirmede binanın amaca yönelik işlevi barındırması gerekir. Bu bağlamda tasarım aşaması son derece önemlidir, çünkü binanın kullanım sürecindeki performansını belirleyecek pek çok karar bu aşamada alınmaktadır. “Yüksek performanslı bir bina” tasarlayabilmek için, binanın amaçlanan kullanımı tam karşılması, bir başka deyişle tasarımcıların kullanıcı gerekliliklerini tam olarak anlaması son derece önemlidir, ancak yeterli değildir. Tasarımcı aynı zamanda binanın kullanıcı gerekliliklerini karşılamak için hangi özelliklere sahip olması gerektiğini de anlamış olmalıdır.

Burada iki farklı dilden söz edilebilir. Kullanıcı ihtiyacı dili, kullanıcının iyi anladığı ve çoğunlukla işleve yönelik gerekliliği ortaya koyan bir dildir. Binanın ihtiyaç programında yer alan gereksinimleri çoğunlukla mekanın kullanımını tarif eden, işlevin mekansal karşılığının belirlendiği kısa bilgi notlarıdır: 25 kişilik, farklı oturma düzeninde hizmet verebilecek bir toplantı salonu gibi. Diğer yandan performans gerekliliği sıradan bir kullanıcı için bir anlam ifade etmeyen, uzmanlık dilidir ve kullanıcı ihtiyacını performans gerekliliğine çevrilmesini gerektirir. Aynı toplantı salonu için bu kez ortam sıcaklığı, hava hareket hızı, ihtiyaç duyulan taze hava miktarı, masa üstü aydınlık düzeyi, arka plan gürültü seviyesi gibi farklı uzmanlıkları ilgilendiren bir dizi gereklilik ortaya çıkmaktadır (Tablo 1) [5].

Tablo 1. Kullanıcı ihtiyacı ile performans gereksinimi karşılaştırması [5]

Kullanıcı ihtiyacı	Performans gereksinimi
En fazla 25 kişi ile farklı oturma düzeninde (yuvarlak masa veya derslik) toplantı yapabilmeye imkanı sağlayacak bir mekan	<ul style="list-style-type: none"><li>- gereken mekan: 3m<sup>2</sup>/kişi</li><li>- mekan biçimi: en/ boy oranı &lt; 1.5:1</li><li>- havalandırma: her bir kişi ve her saat için 30 m<sup>3</sup> taze hava</li><li>- iç ortam hava sıcaklığı: 19°C &lt; t &lt; 21°C</li><li>- arka plandaki gürültü düzeyi (dış ortam kaynaklarıyla oluşan): en fazla 35dB(A)</li><li>- reverberasyon süresi: 0.8 – 1.0 sn</li><li>- masa üstü aydınlatma düzeyi: en az 500 lux</li></ul>

Bina performansının gereklilikleri tanımlanırken, binanın kullanımı sırasında gereken kalite düzeyinin belirlendiği unutulmamalıdır. Bunu sağlamaya yönelik olarak farklı yaklaşımlar tanımlamakta, ancak herhangi bir çözüm önerilmemektedir. Böylece, tasarım ve mühendislik sürecinde yaratıcı çözümlere imkan sağlanmaktadır.

Farklı pek çok disiplini ilgilendiren gereksinimlerin çözüme ulaştırılması ve bir bütün olarak performans gösterebilmesi için, binaların farklı dinamik koşullar altında işletildiği ve bu sürekli değişen koşullara cevap verebilir nitelikte tasarlanması gerektiği gözetilmelidir. Bu nedenle, yüksek performanslı binalar tasarlayabilmek için, çok disiplinli ve bütüncül bir tasarım süreci uygulanmalıdır.

Bütüncül yapı tasarımı, disiplinler arası paylaşımı esas alan, “bütünleşik tasarım (*integrated design*)” ve “bütünleşik ekip (*integrated team*)” gibi iki temel kavrama dayalı yürütülen bir süreçtir. Bütünleşik

tasarım yaklaşımı, tasarım sürecine dahil olan tüm paydaşların (kullanıcı, işveren, teknik ekip, vb.) malzeme, sistem ve bileşen bazında proje hedeflerine pek çok farklı perspektiften bakabilmelerini gerektirir. Bu yaklaşım, aynı zamanda, geleneksel tasarım anlayışından ayrılarak; tasarım süreci boyunca birbirinden ayrı çalışma yürüten teknik ekibin çalışma yönteminin yön değiştirmesi /evrilmesi anlamına gelmektedir.

Bütüncül yapı tasarımı pratikte, bütünlük ekip çalışmasını da getirmektedir. Tasarım sürecine dahil teknik ekip ve tüm paydaşlar sürecin en başından itibaren birlikte çalışarak, maliyet, yaşam kalitesi, esneklik, çevresel etki, üretkenlik, yaratıcılık ve kullanıcı konforu açısından tasarımı sürekli değerlendirebilmelidir.

Bina tasarımında, tam anlamıyla bütüncül bir yaklaşım gösterebilmek için, tasarım hedefleri birbirleri ile tam bir uyum ve denge içerisinde olacak şekilde ele alınmalıdır. Yüksek performanslı bina tasarımında gözetilmesi gereken başlıca hedefler; i) sürdürülebilirlik (çevresel etki, enerji, su ve malzeme korunumu), ii) sağlık ve konfor (kullanıcı memnuniyeti), iii) güvenlik, iv) maliyet etkinliği ve v) erişilebilirlik olarak sıralanabilir. Ayrıca toplumsal ve kültürel bağlamın da gözetilmesi şarttır.

Bu sayılan hedeflerle ilişkili olmak üzere, binayı beş temel alt sistemde değerlendirmek gerekir. Bunlardan birincisi yapı kabuğudur. Yapı kabuğu, iç ortam ile dış ortamı birbirinden ayıran yapı bileşenlerinden oluşan ve performansı pek çok açıdan etkileyen önemli bir alt sistemdir. İkincisi servis sistemleri olarak adlandırılan, binaya ait tüm mekanik sistemlerin (HVAC, elektrikli sistemler, sıhhi tesisat, dişey sirkülasyon ve güvenlik) dikkate alındığı bir alt sistemdir. Üçüncü sistem olarak binanın dişey ve yatay, durağan ve hareketli yüklerle karşı stabilitesini sağlayan bina bileşenlerini içeren taşıyıcı sistemler dikkate alınmalıdır. Bu alt sistem, fiziksel performansın en önemli bileşenlerinden biridir. Dördüncü alt sistem iç bölmeler ve bitirmelere aittir. Konfor ve sağlık açısından dikkate alınmayı gerektiren tüm bileşenler (bölmeler, bitirmeler, aydınlatma, akustik, mobilya, vb.) bu alt sistemde yer alır. Son olarak arsa koşulları da bir alt sistem olarak gözetilmelidir. Peyzaj ve bina çevresi destek hizmetleri (otopark, drenaj, bitki örtüsü, vb.) ile iklimsel koşullar ve topoğrafya performansı belirleyen bir alt sistem olarak gözetilmelidir.

Bu bina sistemlerinin entegrasyon potansiyelini analiz ederken, her bir sistemin tüm tasarım yaklaşımı içerisinde nasıl bir rol oynayacağını iyi anlaşılmış olması gerekir. Burada söz konusu olan, sistemler ile ilişkili bazı teorik bilgiler bütünüünün bilinmesi değildir. Sonsuz sayıdaki sistem kombinasyonu, sonsuz sayıdaki tasarım alternatifleri ile yine sonsuz sayıdaki yollarla entegre edilebilir. Burada söz konusu olan bu beş temel sistemin belirleyici biçimde bina performansının iyileştirilmesinde etkin olması ve bu nedenle bir arada ele alınmak zorunluluğunda olunmasıdır.

### 3. PERFORMANS DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Bina performansının değerlendirilmesinde bir binanın kullanıcı ihtiyaçlarını ne oranda karşılayabildiği, bunun bina ihtiyacını tanımlayacak bir formüle nasıl getirilebileceğinin doğru tanımlanması gerekmektedir. Bunun niceliksel olarak belirlenmesinde bir dizi yöntemden bahsedilebilir. Bu yöntemlerin bazıları, yeni bina tasarımları için kullanılabilirken, bazıları da mevcut binalar için uygulanabilir. De Wilde [4] bu yöntemleri dört kategoride değerlendirmektedir: i) fiziksel test ve ölçüm, ii) hesaplama ve simülasyon, iii) uzman görüşü ve iv) paydaş görüşü.

#### 3.1. Fiziksel Test ve Ölçüm

Fiziksel test ve ölçüm genellikle en klasik yöntem olarak karşımıza çıkar. Burada bina işletimdeki canlı olarak binanın gözlenmesi ve test edilmesi söz konusudur. Bazen binanın sadece bir bölümü (bir alt sistemi) laboratuvar koşullarında kontrollü olarak test edilmekte veya ölçülmektedir. Bina bütünüünde, ölçek ve yüksek maliyet nedeniyle laboratuvar koşullarına dayalı test mümkün olmasa da, bazı hayati konularda (yangın güvenliği veya deprem) bütüncül teste gereksinim duyulabilmektedir. Ölçüm ve test koşulları belirli bir süre boyunca sürekliliği gerektiren kayıtlara (*monitoring*) dayalı gerçekleşmektedir.



### 3.2. Hesaplama ve Simülasyon

Performans değerlendirmede hesaplama ve simülasyon uygulamaları özellikle yeni bina tasarımında en yaygın başvurulan yöntemlerden biridir. Binayı sanal olarak değerlendirmesi ve tasarımı yönlendirmeye imkan vermesi, tasarım sürecinde performans açısından çeşitli alternatifler arasından seçim yapabilmeyi kolaylaştırır. Mevcut binalar için de binaya fiziksel olarak erişmeyi gerektirmeden, uzaktan değerlendirmeye imkan verir. Simülasyon, önemli performans göstergelerinin yüksek maliyetli ölçümler olmadan analiz edilmesine olanak tanıyan gerçek binanın bir soyutlamasıdır. Enerji talebi, iç mekan çevre kalitesi (termal ve görsel konfor, iç mekan hava kalitesi vb.), HVAC ve yenilenebilir sistem performansı, kentsel düzeyde modelleme, bina otomasyonu ve işletim optimizasyonu bina performans simülasyonunun önemli yönleridir [4,6-8]. Hesaplama ve simülasyon arasındaki en önemli fark, en fazla 10 değişkene kadar hesaplamaların el ile de yapılabilmesi ancak bunun ötesindeki her şeyin simülasyonla çözülebilmesidir. Örneğin tek bir modeldeki 10000 değişken simülasyon ile kolayca çözüme ulaştırılabilir.

### 3.3. Uzman Görüşü

Alan uzmanlarınca, bilgi ve tecrübelerine dayalı değerlendirme, uzmanlık görüşünü içerir. Uzman görüşüne dayalı değerlendirmenin gerekli olduğu durumlarda gözetilmesi gereken bir kaç önemli nokta vardır. Öncelikle uzman görüşünde şeffaflık son derece önemlidir. Uzmanın kim olduğunun bilinmesi hangi araçları kullandığının açıklanması gerekir. Ayrıca uzmanın bağımsız olması, herhangi bir menfaate dayalı çalışma yürütmüyor olması şarttır. Önemli bir başka konu da tarafsızlıktır. Uzman görüşü herhangi bir ön yargı taşımamalıdır. Son olarak uzmanın görüşünü oluştururken doğrulama çalışmaları yürütülmeli ve ampirik kontrol yöntemleri kullanılmalıdır.

### 3.4. Paydaş Görüşü

Binaların aslında kullanıcı için inşa edildiği bilgisinden yola çıkarak kullanıcının merkeze alındığı bir yaklaşımla paydaş görüşü üzerinden değerlendirme gerçekleştirilebilir. Her ne kadar burada subjektif (yanlı) bir değerlendirme olsa da, kişisel beklentiler ve memnuniyete dayalı paydaş görüşü, gerçek bina performansını temsil etmesi açısından değer taşır. Bu görüşün, genel geçer bir yargıya dönüştürülmesi, daha karmaşık bir süreci gerektirmektedir. Paydaş görüşüne dayalı değerlendirme, kullanım sonrası değerlendirme (*post-occupancy evaluation-POE*) olarak da bilinir.

## 4. DİJİTAL DÖNÜŞÜMDE FIRSATLAR VE KISITLAR

Yüksek performanslı bina elde etme hedefine dönük olarak, tasarım sürecinin başından itibaren disiplinler arası bir ekip çalışması ve bütünleşik tasarım anlayışının gözetilmesinin gerekli olduğu artık bilinmektedir. Bu bağlamda, beklenen (hedeflenen) performansla erişilebilirlik için, farklı uzmanların aynı dili konuşabildiği, eş zamanlı veri alışverişinde bulunulabilen ve sürekli performans ölçümünün mümkün olabildiği bir ortamın oluşturulabilmesi şarttır. Bugün bilgisayar teknolojisinin geldiği noktada, çeşitli yazılımlar söz konusu bu ideal ortamın oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Yapı elde etme süreci, giderek daha fazla dijital platformlar üzerinden yürütülür hale gelmiştir. Yapı bilgi modellemesi (BİM) yazılımları sayesinde, bina malzeme ve bileşenleri ölçeğinde gereken performansın hesaplanabilmesini sağlayacak veri girişi mümkün olmakta, farklı uzmanların aynı model üzerinde üç boyutlu olarak verileri işleyebilmesi sağlanmaktadır.

Bugün halen gerçek performansın belirlenmesinde binanın inşa edilmiş ve kullanılıyor olması gerektiği düşünülse de, çok yakın bir gelecekte dijital ikiz uygulamasından daha fazla söz ediliyor ve yararlanılıyor olacaktır. Bina elde etme süreci hızla dijitalleşmekte, hatta sadece tasarımı değil, işletimi de tamamen dijital bir işleyişe bırakılmaktadır. Dijital ikiz, bina sektörü için önemli bir dönüşümün fırsatını sunmaktadır. Şimdiye kadar, modelleme ve simülasyon aracılığı ile, sanal binayı, sanal değerlendirmeye tabi tutarak elde edilen verileri gerçek binada uygulamak ve benzer sonuçlar elde etmeyi beklemek söz konusu iken, dijital ikiz, fiziksel binayı tüm sistemleri ile birlikte eşleştiren,

dinamik, öğrenen, etkileşimli bir teknoloji ile gerçek bina ve sanal binayı eşlemektedir. Modelleme ve simülasyon yoluyla binaların sonuçta ortaya çıkaracakları performansın önceden “tahmin edilmesi” mümkün iken, bu fırsat sayesinde gerçek binanın performansının “bilinmesi-denetlenmesi-iyileştirilmesi” sağlanabilecektir.

Bu olağanüstü dönüşümün gerçekleşebilmesinin önünde şimdilik bir kaç zorluk bulunmaktadır. Bunlardan birincisi söz konusu teknolojiye erişim ve yaygın kullanım olanağının bulunabilmesidir. Bu teknolojinin tam anlamıyla kullanılabilir olması, tasarım ve üretim ekibinin tüm paydaşlarının bu araçları kullanabiliyor olmasını gerekli kılar. Burada kullanım kolaylığı dışında, maliyet optimizasyonu ve hızlı üretim zorunluluğu önemli diğer iki faktördür. Ayrıca, yasal gereklilikler ve beklentilerin de, dijital dönüşüm ile elde edilen fırsatlara uyum sağlayacak esnekliğe sahip olması beklenir. Özellikle, dinamik ve öğrenen bir teknoloji ile binaların dijital ikizlerinin oluşturulması ve nesnelerin interneti (IoT) aracılığı ile sürekli izlenebilir olmasının getireceği yasal sorunlar/yükümlülükler net bir şekilde tanımlanmış olmalıdır.

## SONUÇ

Yüksek Performanslı Binalar, çağdaşları ile karşılaştırıldığında, çoğundan ölçülebilir derecede daha iyi performans gösteren binalardır. Bina tasarımı, mühendisliği ve inşaatında en son teknolojiyi temsil ettikleri için, kullanıcılarının sağlığı ve refahını koruma, yatırımın geri dönüşünü sağlama, sınırlı doğal kaynakların verimli kullanımını sağlama ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirme yönünde öncü bir işlevi vardır. Sosyal konutlardan, prestijli ofis binalarına kadar geniş spektrumdaki herhangi bir bina tipi “yüksek performanslı bina” olabilir.

Bina performansının değerlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılabilir ancak bilgisayar teknolojisinin sağladığı olanaklar, bugün için çoğunlukla performans hedefine erişmede bilgisayarla modelleme ve simülasyonlardan yararlanmayı ön plana çıkarmaktadır. 1970'lerden bu yana, bina simülasyonundaki gelişme ve ilerleme, son 10 yılda bambaşka bir boyut kazanmış ve artık binayı tamamıyla etkileşimli, öğrenilebilir bir teknoloji aracılığı ile tasarımdan, uygulama ve kullanım süreçlerini de kapsayacak şekilde dijital ikiz aracılığıyla izleme ve değerlendirme imkanı sunar hale getirmiştir.

Yaşanabilir, sürdürülebilir, temiz bir gelecek için yapılı çevreden sorumlu profesyonellerin, teknolojinin sunduğu tüm imkanlardan yararlanarak, daha az kaynak tüketen ama daha yüksek yaşam standardı ve konforu vaadeden yüksek performanslı binaların gerçekleşmesini sağlamaları beklenmektedir. Bu noktada dijital dönüşüme direnmek yerine uyum yollarını aramak gerekmektedir.

Yakın gelecekte, bina performansı hakkındaki anlayışın değişmesi, bina tasarımı ve mühendislik hizmetlerinin tamamen dijital dönüşüme ayak uydurması beklenmektedir. Bunu destekleyecek nitelikte, sivil toplum kuruluşları, meslek odaları ile üniversiteler ve araştırma kuruluşları öncü projeleri hayata geçirecek, bina endüstrisine ilham veren çalışmalara hız vermelidir. Yüksek Performanslı Binalar hakkındaki mevcut teorinin bölgesel bağlamı gözeterek şekilde uyarlanması ve değiştirilmesi ile Türkiye'de yeni Yüksek Performanslı Binaların tasarımını ve yapımını teşvik etmeye yönelik yasal düzenlemelerin de hayata geçirilmesi önem taşımaktadır. Gerek eğitim, gerekse araştırma olanaklarının, yerel ve bölgesel bazda ele alınacağı, bir mükemmeliyet merkezi olarak çalışabilecek, araştırma ve uygulama merkezlerinin kurulması desteklenmeli ve teşvik edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] IEA, “World Energy Outlook 2019”, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>, 2019.
- [2] UNFCCC, 2019 Türkiye'nin Ulusal Sera Gazı Envanter Raporu (NIR) 1990-2017, <https://unfccc.int/documents/194819>
- [3] REF\_WEB [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Building\\_performance](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Building_performance)



- [4] de Wilde, P., "Building Performance Analysis" Chichester: Wiley-Blackwell, 2018.
- [5] Spekkink, D., "Performance Based Design of Buildings", PeBBu Domain 3 Final Report, Rotterdam, The Netherlands, 2005.
- [6] Clarke, J. A., Energy simulation in building design (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [7] Hensen, Jan., Lamberts, Roberto. Building performance simulation for design and operation. Abingdon, Oxon: Spon Press. 2011.
- [8] Clarke, J. A.; Hensen, J. L. M. "Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements" Building and Environment. Fifty Year Anniversary for Building and Environment. **91**: 294–306, 2015.

## ÖZGEÇMİŞ

### Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL

1975 yılında Ankara'da doğdu. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde lisans, 2001 yılında yüksek lisans ve 2009 yılında doktora eğitimini tamamladı. 1998-2006 yılları arasında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde, 2006-2014 yılları arasında Karabük Üniversitesi Safranbolu Fethi Toker Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde görev yaptı. 2014 yılından bu yana Çankaya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2005 yılı altı ay süre ile, Hollanda Eindhoven Teknik Üniversitesi (TU/e) "Bina Fiziği ve Sistemleri" Bölümü'nde araştırmacı olarak bulunmuş, Ekim 2010-Nisan 2011 arasında altı ay süre ile Hollanda Delft Teknik Üniversitesi (TUDelft) OTB Araştırma Enstitüsü'nde doktora sonrası araştırmacı (post-doc) olarak çalışmıştır. Araştırmalarını, bina performans değerlendirme, bina performans simülasyonları ve bina performansı/ kullanıcı davranışı ilişkileri üzerine devam etmekte, ulusal ve uluslararası projelerde yürütücü ve alan uzmanı olarak görev yapmaktadır. IBPSA-Türkiye bölge temsilciliği başkanı ve IEA-EBC ExCo üyesidir. Evli ve iki çocuk annesidir.



# KÖMÜR YATAKLARINDAKİ METAN GAZININ (CBM) VE FAYLARIN (KIRIKLARIN) JEOFİZİK – SİSMİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

*Determination Of Coal Bed Methane Gas (CBM) And Faults (Fractures) By Geophysical Seismic Methods*

**A. Uğur Gönülalan**  
**Orhan Güreli**

## ÖZET

Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişiminin en temel ihtiyaçlarından biridir. Bugün dünyada tüketilen enerjinin %83,1'lik kısmı; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynakların elde edilir.

Sondajla kömür aramak, hem uzun zaman alacağı gibi hem de yüksek maliyetlere neden olabilmektedir. Sondaj öncesi çalışmaları yönlendirecek, arama süresini kısaltacak, sondaj derinliğini ve yerlerini belirleyecek arama-araştırma çalışmaları yapılır. Bu çalışmalar, detaylı jeolojik harita yapımı, tektonik ve yapısal çatının belirlenmesi amacıyla yapılır.

Petrol & doğalgaz, maden/kömür ve jeotermal aramacılığı için sondaj öncesi arama faaliyetleri Jeofizik yöntemlerle yapılır. Bu yöntemler: Gravite, Manyetik, Elektrik, Elektromanyetik, Self Potansiyel, Sismik ve Kuyu Jeofizik Ölçüsüdür.

Sondaj teknolojisi ile günümüzde kömür kökenli doğal gaz (CBM-Coal Bed Methane ) işletmeciliği de bilindiği gibi grizu facialarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, ülkemizde uzun yıllar CBM üretimi yapılamamıştır. Oysa kömür işletmeciliği öncesinde bu gaz çıkarılırsa, grizu faciaları önemli ölçüde engellenecektir.

Jeofizik yöntemlerden birisi olan sismik yansıma yöntemi, kömür gibi tabakalar halinde oluşan ve çevre kayalara göre yeterli akustik empedans farkı yaratan ortamlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Kömür sahalarının tektonik yapısı, Yüksek Ayrımlı Sismik Yansıma Yöntemiyle ortaya çıkartılabilir. Sahadaki kömür üretiminin sürdürülebilmesi için, fayların yerlerinin, doğrultularının, eğimlerinin, atımlarının ve birbirleriyle olan ilişkilerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Metan gazı, Sismik Yansıma Yöntemi, Kömür, Arama.

## ABSTRACT

Energy is one of the most basic requirements of a country's economic and social development. 83.1% of the energy consumed in the world today; It is obtained from fossil resources such as oil, natural gas and coal.

Coal exploration by drilling can take a long time and high costs. Exploration-research studies are carried out to guide the pre-drilling studies, shorten the project time, and determine the depth and locations of the drilling. These studies are carried out in order to make detailed geological maps and to determine the tectonic and structural framework.

Pre-drilling exploration activities for oil & natural gas, mineral/coal and geothermal exploration are carried out by Geophysical methods. These methods are Gravity, Magnetic, Electric, Electromagnetic, Self Potential, Seismic and Well Geophysical Measurement.

With the drilling technology, coal-based natural gas (CBM-Coal Bed Methane) operation significantly reduces the firedamp disasters today. However, CBM production could not be made in our country for many years. If this CBM is extracted before coal operation, firedamp disasters will be prevented to a great extent.

The seismic reflection method, which is one of the geophysical methods, is successfully applied in environments such as coal that form in layers and create sufficient acoustic impedance difference compared to the surrounding rocks. The tectonic structure of coal fields can be revealed by the High Resolution Seismic Reflection Method. In order to sustain coal production in the field, it is very important to know the locations, strikes, slopes, slips and relations of the faults with each other.

**Key Words:** Coal Bed Methane (CBM), Seismic Reflection Method, Coal, Exploration.

## 1. GİRİŞ

Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal gelişiminin en temel ve sürükleyici gereksinimlerinden biridir. Bu bakımdan, “Enerji Güvenliği”, ekonomik güvenliğin ve ulusal güvenliğin yaşamsal unsurlarındandır. Enerji, toplumsal yaşamımızı sürdürebilmemiz için gerekli olan hemen hemen tüm süreçler için vazgeçilmez bir girdi olup sanayi, ulaştırma, konut ve ticarethane gibi alt sektörlerde kullanılmaktadır.

Bugün dünyada tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynakların %83,1’lik kısmını oluşturmaktadır.

Türkiye dünyanın önemli enerji tüketicileri arasında yer almaktadır. Ulusal Enerji Denge Tablosu’na göre 2019 yılında, Türkiye’nin 144,2 milyon ton petrol eşdeğeri (tpe) olan birincil enerji arzında, 33,5 milyon tpe’lik kısım çevrim sektöründe değerlendirilirken, konutlarda ve sanayi sektöründe kullanılan elektrik miktarının düşmesi ile Türkiye’de birincil enerji arzında 2019 yılında %5 olan hidrolik enerji payı 2020’de %4’e düşmüştür. Doğal gazın konutlarda ve işyerlerinde ısınma amaçlı kullanımı ve ithalat anlaşmaları ile birincil enerji arzı içindeki payı 2020’de %27 olmuştur. Petrol ve kömürün paylarında ise herhangi bir değişim olmamıştır.

Türkiye’de enerji talebinin dışa bağımlılık oranı incelendiğinde 1990 yılında %51.6 iken 2020 yılında %70.1’e çıkmıştır.

Dışa bağıllığı azaltmak için yerli kaynaklarımıza dayalı ileriye dönük tutarlı enerji politikaları oluşturabilmek için işletilebilir kömür rezervlerimizin saptanması gerekmektedir.

Kömür üretimine yapılan yatırım karlı olmasına karşın yüksek risk oranı taşır. Ancak risk oranının en aza indirilmesi yeraltındaki kömür miktarının ve kömürün üç boyutlu uzanımının önceden sıhhatli bir biçimde kestirilmesini gerektirir. Bu işi büyük masraflar karşılığı çok sık aralıklarla mekanik delgi yerine gelişmiş teknoloji ile yapmanın tek yolu modern jeofizik yöntemleridir.

Sondajla kömür damarının özelliklerini belirlemek, hem uzun zaman alacağı gibi hem de yüksek maliyetlere neden olabilmektedir. Sondajlı aramalara başlamadan önce; çalışmaları yönlendirecek, arama süresini kısaltacak, sondaj derinliğini ve yerlerini belirleyecek sondaj öncesi arama-araştırma faaliyetlerinin ilk basamağı Jeolojik çalışmalar bölgesel detay jeolojik harita yapımı, stratigrafinin belirlenmesi, tektonik ve yapısal çatının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu çalışmalar jeokimya çalışmalarıyla desteklenir, Jeofizik-Sismik çalışma ve değerlendirmelere temel oluşturur ve daha sağlıklı programlanmasını sağlar. Özetle Yeraltı çalışmasının içeriği ne olursa olsun 3 boyutlu çalışmaların yapılmasında,

### 1. Jeoloji



2. Jeokimya
3. Jeodezi
4. Jeofizik

verilerinin entegre (koordine) edilmesi gerekir.

Jeofizik yöntemler birisi olan sismik yansıma yöntemi, kömür gibi tabakalar halinde oluşan ve çevre kayalarla göre yeterli akustik empedans farkı yaratan ortamlarda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

USA'da CBM ( coal bed methane ) üretimi ülke gaz toplamında %5. CBM işletilen, işletilecek ve terk edilmiş kömür ocaklarından üretiliyor. Özellikle işletilen ocaklarda grizu kazalarını minimuma indirilirken, emisyonların azaltılması ve ekonomik katkıları tartışılmazdır.

Kömür Sahalarında mevcut tektonik yapının Çok-Kanallı Yüksek Ayrımlı Sismik Yansıma Yöntemiyle ortaya çıkartılması gerekmektedir. Sahadaki kömür üretiminin kesintisiz sürdürülebilmesi için, fayların (kırıkların) yerlerinin, tiplerinin, doğrultularının, eğimlerinin, atımlarının ve birbirleriyle olan ilişkilerinin bilinmesi son derece önemlidir.

## 2. TÜRKİYE'NİN KÖMÜR POTANSİYELİ

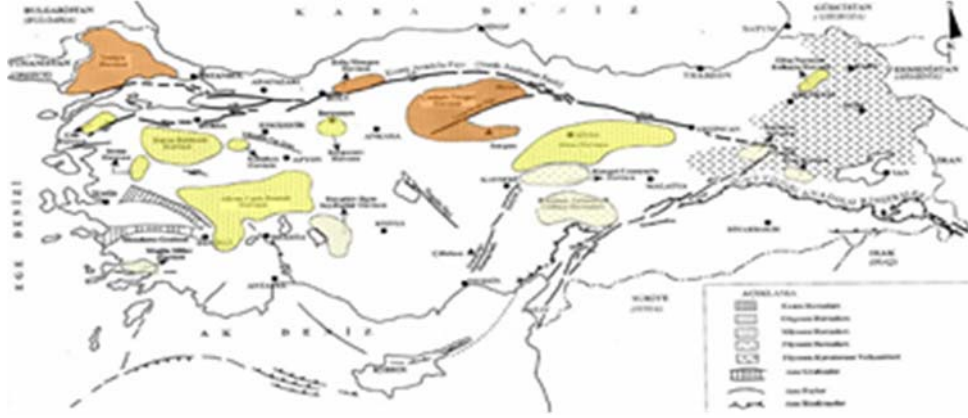
Madensiz sanayileşme, sanayisiz kalkınma mümkün değildir. Kalkınmanın sanayileşme ile sanayileşmenin ise doğal kaynakların akılcı kullanımıyla mümkün olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Kalkınmasını gerçekleştiren sanayileşmiş, gelişmiş ülkeler; ya kendi yer altı kaynaklarını ya da başka ülkelerden maden ham maddelerini ithal ederek sanayilerinin önünü açmışlardır. Mekanik Sondaj pahalı bir işlem olmasına karşın, ihtiyaç halinde yeraltı yapısı hakkında verilerin kesinliği, güvenilirliğine ihtiyaç duyulan bir uygulamadır. Ancak sondaj öncesi jeofizik verilere ihtiyaç her zaman vardır [6].

Kömür; bitki-fosil kökenli bir enerji hammaddesi olup, bitkilerin; zaman içinde, sıcaklık-basınç altında, değişim geçirmesi sonucu oluşur. Kömür; karbon, hidrojen, oksijen ve azottan oluşan, kükürt ve mineral maddeler içeren, fiziksel ve kimyasal olarak farklı yapıya sahip bir maddedir. Bu nedenle ana elemanı karbondur. Arz kabuğundaki tektonik sonucu, bu bataklıklar, silt ve diğer sedimanlarla birlikte derinlere gömülmüştür. Bu gömülme sonucu bitki artıkları yüksek sıcaklık ve basınçta maruz kalarak kömüre dönüşmüştür. İlk olarak turba oluşmuş, sonradan linyit meydana gelmiştir.

Bütün fosil yakıtlar arasında dünyada en çok bulunan, kömürdür. Verilere göre, mevcut maden teknolojisi ile ekonomik olarak üretilebilecek, toplam bir trilyon ton'un üzerinde kömür rezervi vardır. Kömür rezervleri, coğrafi olarak yaygın olup, bütün kıtalarda toplam 100 ülkede bulunmaktadır.

Zengin rezerv uzun süreli üretime işaretler. kömür rezervlerinin ömrü 240 yıldır.

Her ülkede olduğu gibi, ülkemizin kalkınmasında da enerji ve dolayısıyla enerji hammaddelerinin önemi çok büyüktür. Türkiye zengin kömür yataklarına sahiptir.



**Şekil 1.** Türkiye kömür rezervlerinin görünüşü [3].

Türkiye’de, linyit ve taşkömürü rezervleri görünür, muhtemel ve mümkün kategorilerinde hesaplanmakta olup, bu tür hesaplanma şekli ülkelerin önemli bir bölümünde kaynak niteliğinde görülmektedir [7].

Türkiye’de 736 milyon tonu görülür olmak üzere yaklaşık 1,52 [11] milyar ton taş kömürü ve 2019 sonu itibariyle 19,32 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır.

Zonguldak Havzası’ndaki %38 i görünür nitelikte olan taşkömürü rezervlerinin dışında, ekonomik işletilebilecek alanlardaki muhtemel ve mümkün rezervlerinde görünür rezerv kategorisine dönüştürülmesi için gereken etüt ve sondajlar yapılmalıdır.

Ülkemiz kömür kaynağı ve üretim miktarları açısından linyitte dünya ölçeğinde orta düzeyde, taş kömüründe (antrasit) ise alt düzeyde değerlendirilebilir. Ülkemizin linyit, asfaltit ve taşkömürü ile birlikte toplam kömür kaynağı yaklaşık 20,84 milyar ton’dur [11].

Linyit kaynağımızın çoğunluğu 1976–1990 yılları arasında bulunulmuştur. Daha sonra Trakya, Manisa-Soma-Eynez, Eskişehir-Alpu, Afşin-Elbistan ve Konya-Karapınar’da ilave linyit kaynakları tespit edilmiştir. Böylelikle; uzun yıllardır 8,3 milyar ton olarak bilinen linyit kaynağımız 2019 yılsonu itibariyle toplam 19,32 milyar tona ulaşmıştır.

Bununla beraber, ülkemiz linyit kaynaklarının ısı değerleri oldukça düşüktür. TKİ kaynak kömür miktarları içerisinde; 18,5 milyon ton bitümlü şeyl ve 70 milyon ton asfaltit rezervi de bulunmaktadır.

Linyit rezervlerimizin %92,5’ini elinde bulunduran kamu kuruluşları tarafından özel sektörün yatırım yapmasına yönelik geliştirilen tüm modellere karşın özel sektör firmaları tarafından linyit sektörüne ilişkin yatırımlar bir türlü gerçekleştirilememektedir [11].

Eskiden söylendiği gibi artık kömürler ne gözümüzün önünde, ne de kazmanın ucundadır. Kömür, artık yeraltında derinlerde, hem de çok derinlerde.

### **3. SONDAJ ÖNCESİ SİSMİK ARAMA YÖNTEMİ İLE KÖMÜR YATAKLARININ, FAYLARIN VE KÖMÜR KÖKENLİ DOĞAL GAZ (CBM) YERLERİNİN TESPİTİ**

#### **3.1. Tanımlar**

**A) Metan**, kimyasal formülü CH<sub>4</sub> (Karbon ve 4 Hidrojen atomu) olan bileşiktir. Normal sıcaklık ve basınçlarda gaz halinde bulunan metan, kokusuzdur. Doğalgazın bir bileşenidir ve önemli bir



yakıttır. Oksijenin varlığında bir mol metanın yanmasıyla bir mol karbondioksit ve iki mol su ve 55.5 MJ/kg ısı açığa çıkar:



Doğal metan hem zemin altında hem de deniz tabanı altında bulunabilir. Yüze ve atmosfere ulaştığında atmosferik metan olarak bilinir.

Endüstriyel devrimden önce (1750 yılında) atmosferdeki metan 720 ppb seviyesindeydi. 2000'li yılların başında metan seviyesi stabil bir seviyeye ulaşmış, ancak 2007'den beri atmosferdeki metan oranı hızlı bir artış göstermektedir. 2017 yılında, atmosferik metan 1850 ppb seviyesine ulaşmıştır.

1750'den beri Dünya'nın atmosferik metan konsantrasyonu yaklaşık %150 oranında arttı ve uzun süren ve küresel olarak karışan sera gazlarının toplam radyasyon zorlamalarının %20'sini oluşturuyor. (bu gazlar su buharı içermiyor; Sera etkisinin en büyük bileşeni).

Metan, sera gazlarının içerisinde, Küresel ısınmada oynadığı rol açısından, Karbondioksit'ten sonra ikinci sırada gelmektedir. Ayrıca çöplerdeki metandan yakıt elde edilebilir. Doğal metan gazları atmosfere zarar vermez [14].

**B) Grizu**, maden ocaklarının galerilerinde bulunabilen ve belirli konsantrasyonlara eriştiğinde patlayıcı hale gelebilen yanıcı gaz. Bu gaz çoğunlukla kömür madeni metanıdır.

%4-15 arası metan ile havanın birleşmesinden oluşan bu karışım, 650 °C'de 2 fazlı bir yanma gerçekleştirir. Bu karışım önce ani şekilde genleşir, daha sonra patlama merkezine doğru çok büyük bir kuvvetle gazı sıkıştırır. Büyük tahrip gücüne ve yıkım etkisine sahip bir patlamadır.

Kömür madenlerinin kabusu olan grizu, Türkiye'de de sık sık görülmektedir. Özellikle yaşlı kömür damarlarında grizu riski yüksektir. Yasalar doğrultusunda, metanın havada bulunma oranı hacimce %1'dir. Bu seviyeye ulaşıldığında acilen önlem alınması gerekmektedir. Bu oran %1'in üzerine çıkarsa maden ocağının acilen boşaltılması gerekir. Ocak derinliği, eğimi, üretim yöntemi, fay ve çatlak yapılar grizu riskini değiştiren faktörlerdir. Metalin metale sürtmesi, ocakta herhangi bir ateş parçası veya kullanılan çelik ekipmanların ısınması sonucu patlama oluşabilir [16].

Çok uzunca yıllardan beri ülkemizde grizu facialarıyla karşılaşmamıza ve alınması gereken önlemlerin de bilinmesine rağmen halen büyük kayıplar verdiğimiz grizu patlamaları maalesef devam etmektedir.

Maden galerilerinde standart ve gelişmiş havalandırma sistemleri bu işletmeciliğin temelidir. Bunun yanı sıra gelişen sondaj öncesi araştırmalar ve sondaj teknolojisi ile günümüzde kömür kökenli doğal gaz (CBM:Coal Bed Methane - KKDG) işletmeciliği de bilindiği gibi grizu facialarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

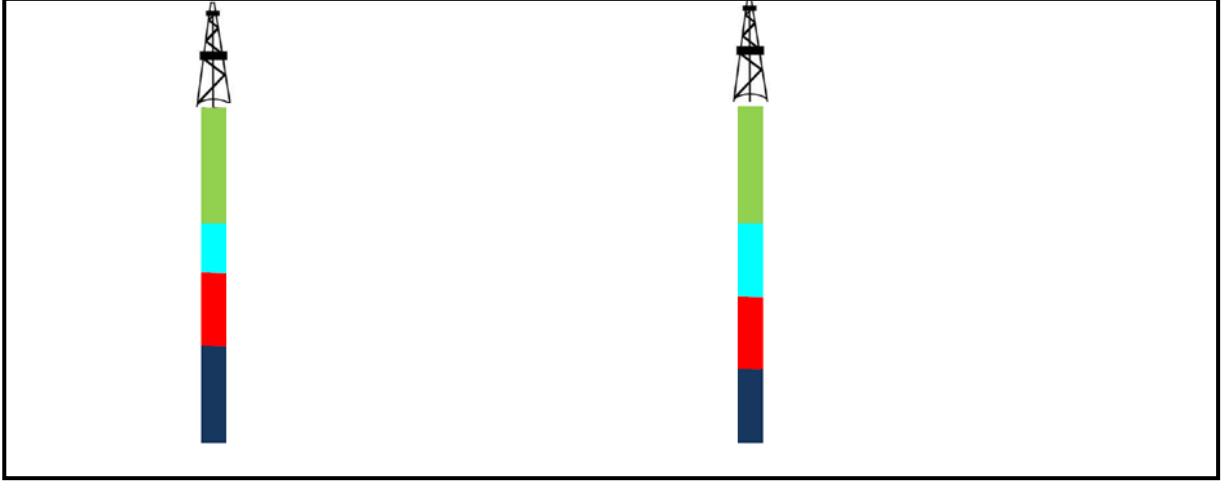
Ancak, ülkemizde KKDG işletmeciliği için CBM üretim denemeleri yürütülmüş ancak tecrübesiz ekipler nedeniyle sonuç alınamamış ve uzun yıllardır Türkiye'de CBM üretimi yapılamamıştır.

Oysa kömür işletmeciliği öncesinde bu gaz çıkarılırsa, grizu faciaları önemli ölçüde engellenecektir.

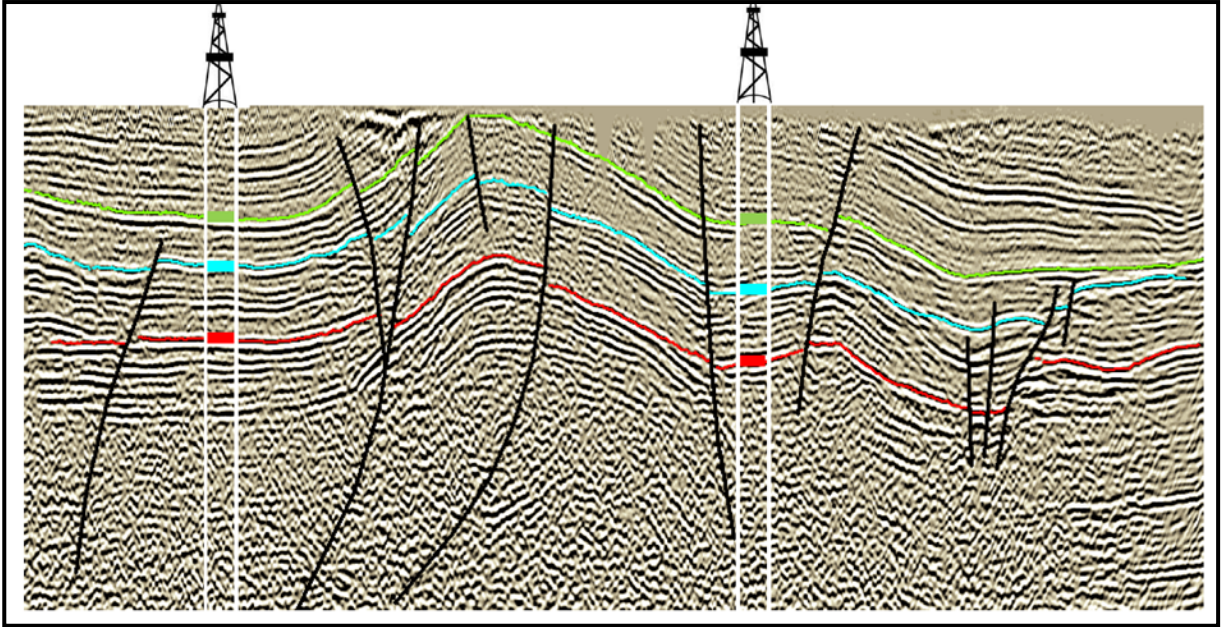
### 3.2. Fayların (Kırıkların) Tespiti

Stratigrafinin uyumsuzluğu ve geçilen formasyonların gerçek uzunluklarının farklı olduğu için sadece sondajla tesbit etmek zordur (Şekil 2).



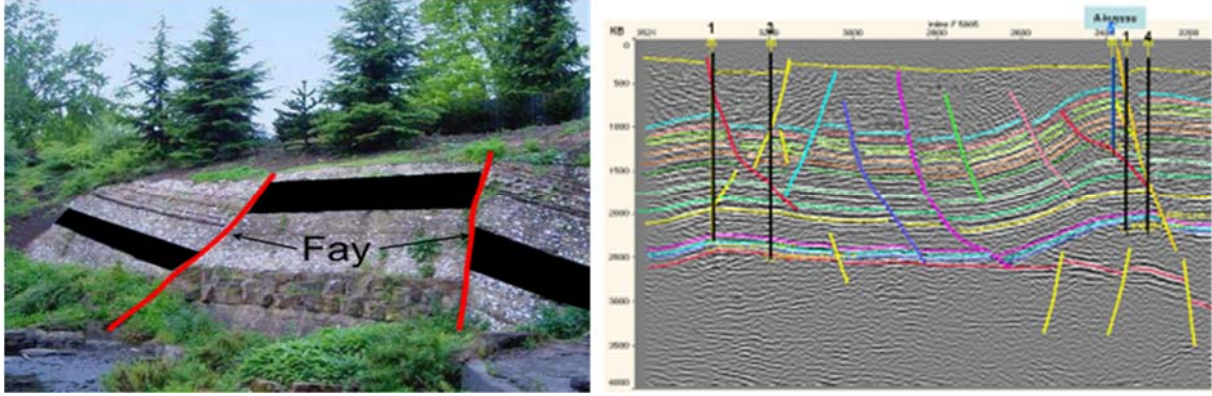


**Şekil 2.** Kuyudan elde edilmiş formasyon görüntüsü



**Şekil 3.** Kuyu ile korele edilmiş Sismik kesit

Jeolojik tabakaların yer içindeki görüntüsünü sadece kuyu ile ortaya çıkarmak mümkün değildir (Şekil 2), ancak sismik kesit ile görüntülemek mümkündür (Şekil 3).



Şekil 4. Fayların doğal ve sismik kesitte görünüşü [5].

Faylar yüzeyde gözle görülebilir, fakat derinlerdeki faylar kuyularla tam olarak tespit edilemez. Kuyularla tespit edilseler dahi, korelasyonları doğru yapılamaz (Şekil 4).

#### 4. JEOFİZİK YÖNTEMLER

Petrol & doğalgaz, maden/kömür ve jeotermal aramacılığı için Sondaj öncesi arama faaliyetleri Jeofizik yöntemlerle yapılır. Bu yöntemler: Gravite, Manyetik, Elektrik, Elektromanyetik, Self Potansiyel, Sismik ve Kuyu Jeofizik Ölçüsüdür.

Jeofizik araştırmalar üç aşamada yapılır: veri toplama, veri işlem ve veri değerlendirmedir. Maden (Kömür dahil) aramaları, kullanılan Jeofizik yöntemler ile daha hızlı daha ucuza ve çevreye zarar vermeden yapılabilmektedir. Gelişmiş ülkeler çoklu sondajlarla kömür belirleme yöntemlerini çoktan aşmış bulunmaktadır. Bugünkü teknoloji ile modern jeofizik yöntemleri kullanılarak, sondaj sayısı en aza indirilip yer altı kömür yatakları daha az bir maliyet ile görüntülenmektedir.

Jeofizik yöntemlerin genel amacı yeryüzünden veya kuyu içerisinden yapılan aletsel ölçümlerle yeraltının yapısını ve fiziksel özelliklerini belirlemektir. Sahanın karakterizasyonunun araştırılmasında, ilk olarak Jeofizik çalışmalar yapılmalıdır. Böylece, sahayı en iyi temsil edebilecek sondaj ve örnekleme noktalarının yerleri tespit edilir.

Herhangi bir jeofizik yöntemle yapılan saha çalışmalarındaki en önemli konulardan, ölçümlerin konumunu belirlemektir. Tek profil ölçümler için ilgi alanına göre stratejik konumlara yerleştirilir. Alansal kapsamı sağlamak için çoklu hatlara ve çoklu istasyonlara sahip bir ağ yapısı (grid) kullanılır. Bir sahanın tümü hakkında bilgi sağlamak için paralel hatlar boyunca birçok ölçü istasyonunda veri toplamak gerekir. Bir jeofizik araştırmada planlama, profilin boyuna, profiller arası uzaklığa, hedef boyutuna, derinliğine ve tespit edilebilirliğine bağlıdır. Bir profil boyunca veya profiller arasında ölçümlerin aralığı çok büyükse, küçük hedefler kaçırılabilir. Sahanın geometrisi, jeolojik yapının özellikleri, coğrafik ve beşeri unsurlar gibi faktörler göz önüne alınarak, bir saha için en uygun sayıda ölçü profili veya ölçüm noktaları belirlenmelidir. Bu hatlar jeolojik yapıları dik kesecek şekilde birbirine paralel atılmalıdır. Bazı durumlarda, özellikle jeolojik yapının yönü bilinmiyorsa, farklı yönlerde profil ölçümleri gerekli olabilir. En az iki ölçüm profili paralel hatları dik yönde kesmelidir. Bir sahada yapılacak jeofizik ölçüm sayısı, hedef ve probleme yönelik yeterli veri elde edilecek şekilde belirlenmelidir. Jeofizik çalışmalarda, araştırılan hedef konunun ve jeolojik yapının özelliklerine ve fiziksel parametrelerine (sismik hız, iletkenlik, yoğunluk vb) bağlı olarak uygun, en az iki yöntem seçilmelidir. Örneğin; sismik ve elektrik yöntemler gibi en az iki yöntemin birlikte kullanılması tercih edilmeli ve gerekiyorsa problemin çözümüne yönelik diğer jeofizik metotlar da kullanılmalıdır.

#### 4.1. Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler, 1900'lerin başından beri petrol endüstrisinde kullanılmaktadır. Sismik yöntemler en çok petrol aranması aşamasında, yapıların derinliklerini ve şekillerini tespit etmek için kullanılmaktadır.

Sismik yöntemlerin kömür araştırmalarında uygulanmaya başlanması petrol aramalarındaki kadar eskidir.

Son yıllarda, araştırmacılar kömür için ayrıntılı yapısal ve stratigrafik özellikleri değerlendirmek için yüksek çözünürlüklü 2B yansıma yöntemini başarıyla kullanılmaktadır. Kuyu verileri ile birleştirildiğinde, yüksek çözünürlüklü yansıma verisi arama, üretim ve kömür damarlarını haritalanmasında çok yaygın olarak kullanılır.

Petrol ve doğalgaz hedefli, derin sismik yansıma uygulamalarında kapan vazifesi gören yapının yalnızca tavanını görüntülemek yeterli iken, sığ sismik ile yapılan kömür araştırmalarında ise rezervin tayin edilebilmesi için kömür tabakasının hem tavan hem de tabanının belirlenmesi gerekmektedir [3].

İki tabakayı birleştiren sınırdaki yansıtıp yeryüzeyine dönen yansıma yolu (refleksiyon) olarak kayıt edilen sismik veriler, kömür üretiminin planlamasında ve saha sınırlarının belirlenmesinde etkili olan fay ve kıvrımların tespitinde kullanılmaktadır. Fayların, yeri ve atımı biliniyorsa, kömür işletme faaliyetlerinin planlamasında yansımali sismik detay bilgi sağlar. Sismik yansıma metodu, çok çeşitli jeolojik oluşumdaki yüzeye yakın yapıların tasvir edilmesi amacıyla başarılı olarak kullanılmıştır. Sismik yansıma metoduyla 100 m'den sığ hedeflerin haritalanması için, parametreler ve malzemeler, ilgilenilen derinlik ve yakın yüzey durumuna göre uyarlanmalıdır.

Sismik kaynak, ilgilenilen derinliğe uygun enerji seviyelerinde, sürekli, yüksek frekansta, akustik impuls üretebilecek kapasitede olmalıdır. Alıcılar ise yüksek duyarlılıkta ve en az 40 Hz'deki enerjiyi kaydedebilecek kapasitede olmalıdır. Yeraltı kömür madenciliği çalışmalarına engel teşkil eden, fayların yerinin belirlenmesi ve tanımlanmasında yüksek çözünürlüklü sismik yansıma tekniği başarılı olmuştur. Yansımali sismik ile yeraltından sık örnek elde etmek mümkündür [2].

Yüksek çözünürlüklü sismik yansıma tekniği sondajın yerini alamaz ancak planlama ve maliyet açısından sondaj programıyla önce ve/veya eşzamanlı olarak kullanılabilir. Böylece sondaj sayısının azaltılması daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle, yeraltı jeolojisi hakkında daha fazla bilgi sahibi olunmasını sağlar [8].

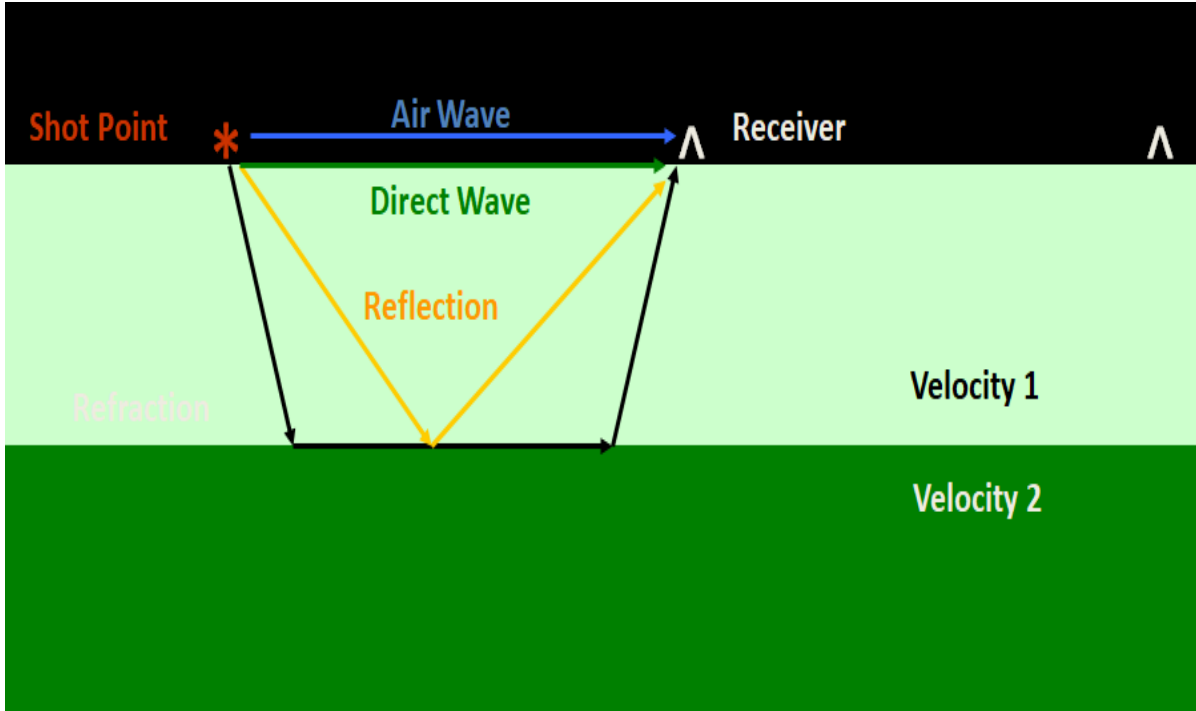
Yüksek çözünürlük demek, daha büyük bant genişliği anlamına gelmektedir ki bu da spektrumun yüksek frekans sonunu uzatarak elde edilir. Bu da patlatmada kullanılan patlayıcı miktarını azaltarak ya da jeofon grupları yerine tek jeofonlar kullanarak gerçekleştirilebilir. Azalmayan gürültüler, statik anomalileri ve ground-roll adı verilen yüzey dalgalarını içermektedir. Yüzeye yakın katmanlara ait statik, ground-roll, ve yüksek geçişli süzgecin etkileri, derin atış kuyularının eğer mümkünse de derin detektörlerin tercih edilmesine neden olmaktadır. Bu yaklaşım, deneylerle de ispatlanmış olup, üretim safhasında düzenli olarak uygulanmaktadır [13].

Temel sismik arama tekniği sismik dalgaların üretilmesi ve kaynaklardan (ekseriyetle kaynağı doğrultulmuş düz bir hat boyunca düzenlenmiş) jeofon serilerine giden dalgalar için gerekli zamanı ölçmekten ibarettir. Çeşitli jeofonlara geliş zamanları bilgisi ve dalgaların hızlarından, sismik dalga yollarının yeniden oluşturulmasında çalışır.

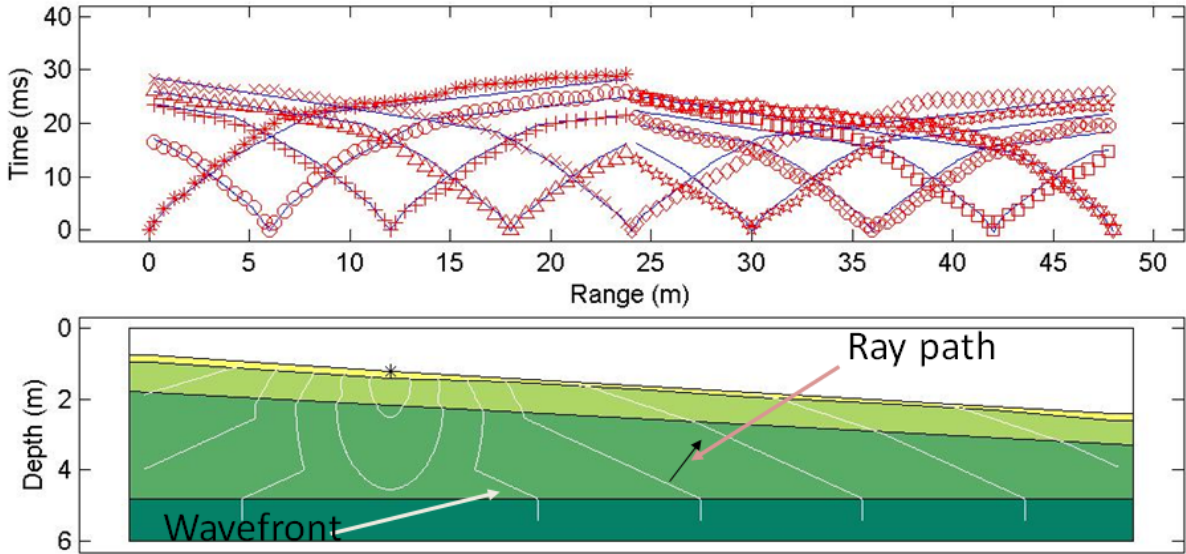
##### 4.1.1. Sismik Kırılma Yöntemi

Sismik kırılma yöntemi, dalgaların uzaklığa ve yer içinde ilerlemesine bağlı seyahat zamanındaki değişimi ile ilgilenir.

Kaynaktan çıkan dalgalar, ara yüzeylerde kırılmaya maruz kalırlar. Kırılan dalgalar, belirli bir profil boyunca yüzeye yerleştirilmiş alıcılar tarafından kayıt edilir. Alıcılar tarafından kayırlan dalgaların alıcılara geliş zamanları ölçülür ve uzaklığın bir fonksiyonu olarak grafiği çizilir. Çeşitli matematiksel bağıntılar aracılığı ile yakın yüzey modeli elde edilir (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Sismik kırılma yönteminde ışın yolları [5].



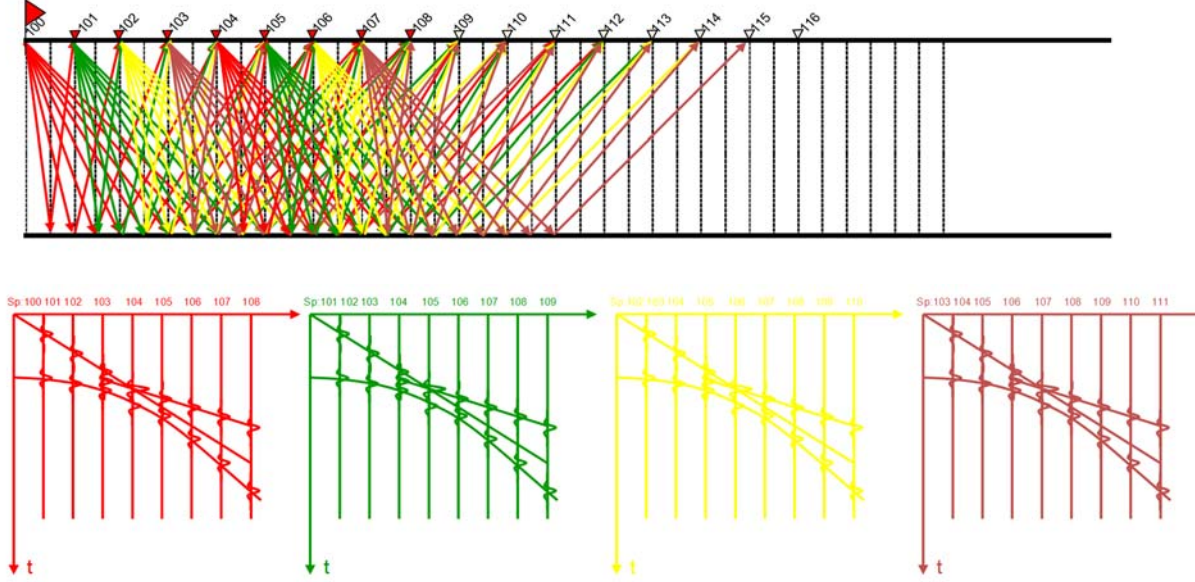
Şekil 6. Sismik kırılma yönteminde dalga yayılımı ve seyahat zamanları [5].

#### 4.1.2. Sismik Yansıma Yöntemi

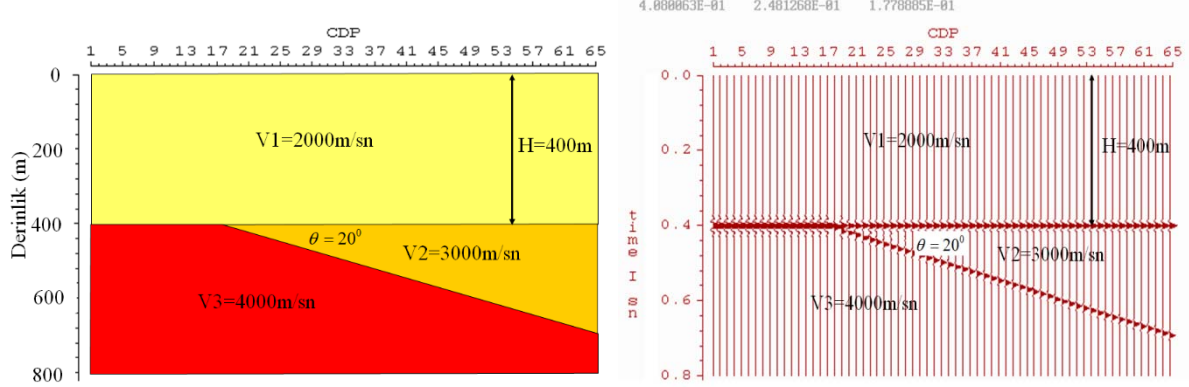
Sismik yansıma yöntemi, kaynaktan çıkan dalgalar ara yüzeyde (iki tabaka arasında) yansıma oluşur. Dalgaların bör kısmı yansır, kalan kısmı ise bir sonraki tabakaya iletilir. İlerleyen dalga başka bir tabakaya daha gelirse, yine ara yüzeyde yansıma olur. Yansıyan dalgalar yüzeydeki alıcılara gelir ve kayıt edilirler. Bu kayıt edilen sinyaller çeşitli proses işlemlerinden geçirilerek sismik kesit denilen yerin içini gösteren kesitler elde edilir.

Şekil 7'de İki tabakayı birleştiren sınırdaki yansıma yeryüzeyine dönen yansıma yolu (ışın yolu) görülmektedir.

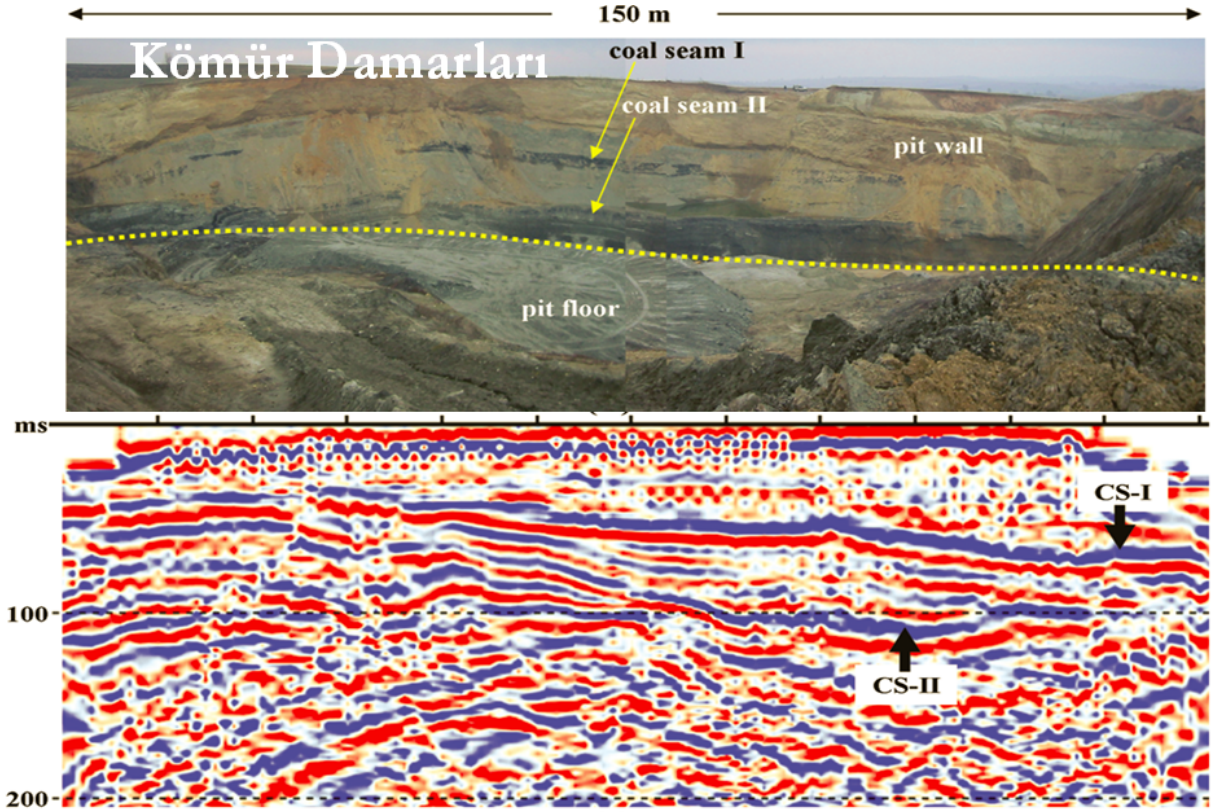
Her iki tip için gidiş zamanları kayaçların fiziksel özelliklerine ve tabakaların durumlarına bağlıdır. Sismik aramanın amacı; gözlenen varış zamanları, genlik ve frekans değişiminden, kayaçlar ve özellikle tabakaların durumu hakkında bilgiyi ortaya çıkarmaktır.



Şekil 7. Sismik yansıma yönteminde ışın yolları



Şekil 8. Sismik yansıma yöntemi için yapay jeolojik model ve sismik kesitte görünüşü

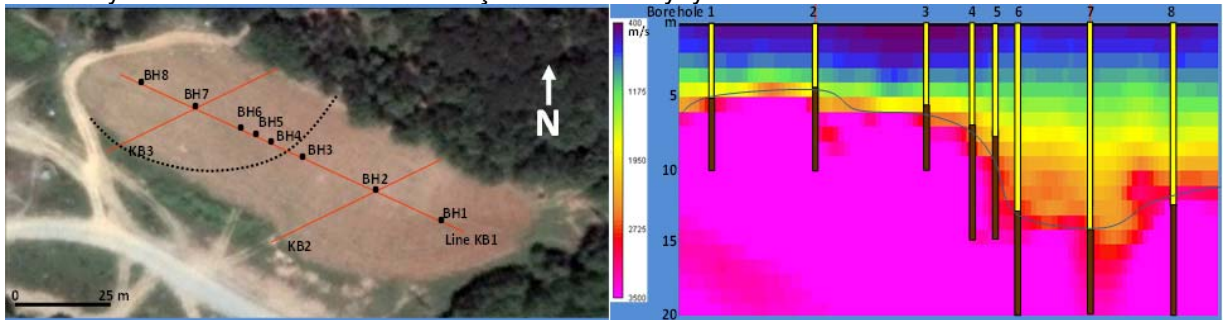


Şekil 9. Sismik yansıma yöntemi kömürlü bir jeolojik model ve sismik kesitte görünüşü [12].

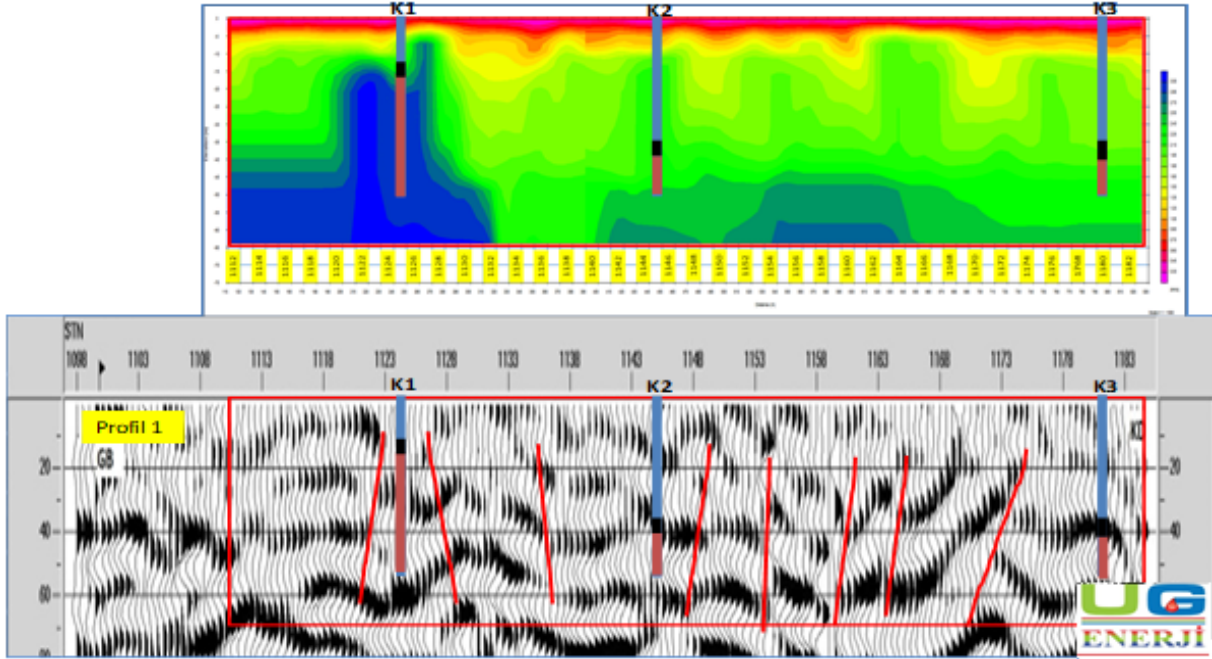
Şekil 8'de yapay bir model ve bu modelden elde edilen sismik kesit görülmektedir. Bu kesit çeşitli proseslerden sonra elde edilir ve jeolojiyi yansıtır. Şekil 9 ise gerçek bir kömür sahasının resmi ve bu sahada elde edilmiş sismik kesit görülmektedir. Kesitte kömür damarları çok net bir şekilde görülebilmektedir.

#### 4.1.3. Sismik Tomografi Yöntemi

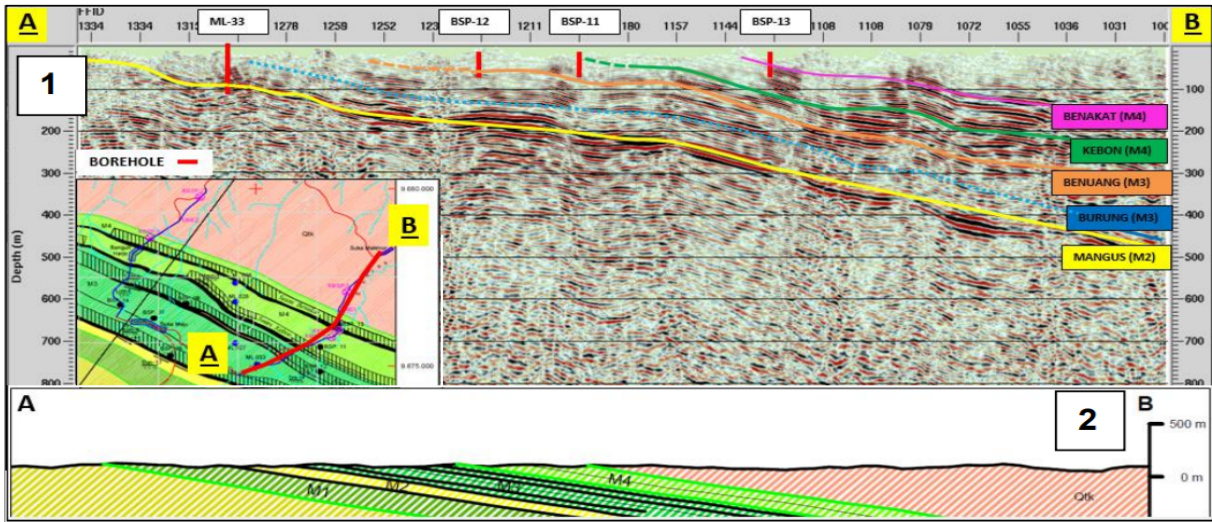
Son yıllarda petrol aramacılığında yansıma sismik yöntemi içinde kullanılan statik düzeltme için yakın yüzeyin modellenmesinde kullanılan bir ters çözüm işlemidir. Bu yöntem, kırılma yöntemindeki gibi ilk varışlar işaretlenir ama aynı şekilde değerlendirilmez. Bu yöntemde ışın yolu tekniği kullanılır. Bu nedenle yüksek hızlı tabaka altındaki düşük hızlı tabakayı yakalamak mümkündür.



Şekil 10. Sismik tomografi yöntemi ile borehole kuyu sonuçlarının karşılaştırılması [12].



Şekil 11. Sismik yansımaya yöntemi kömürlü bir jeolojik model ve sismik kesitte görünüşü [5].

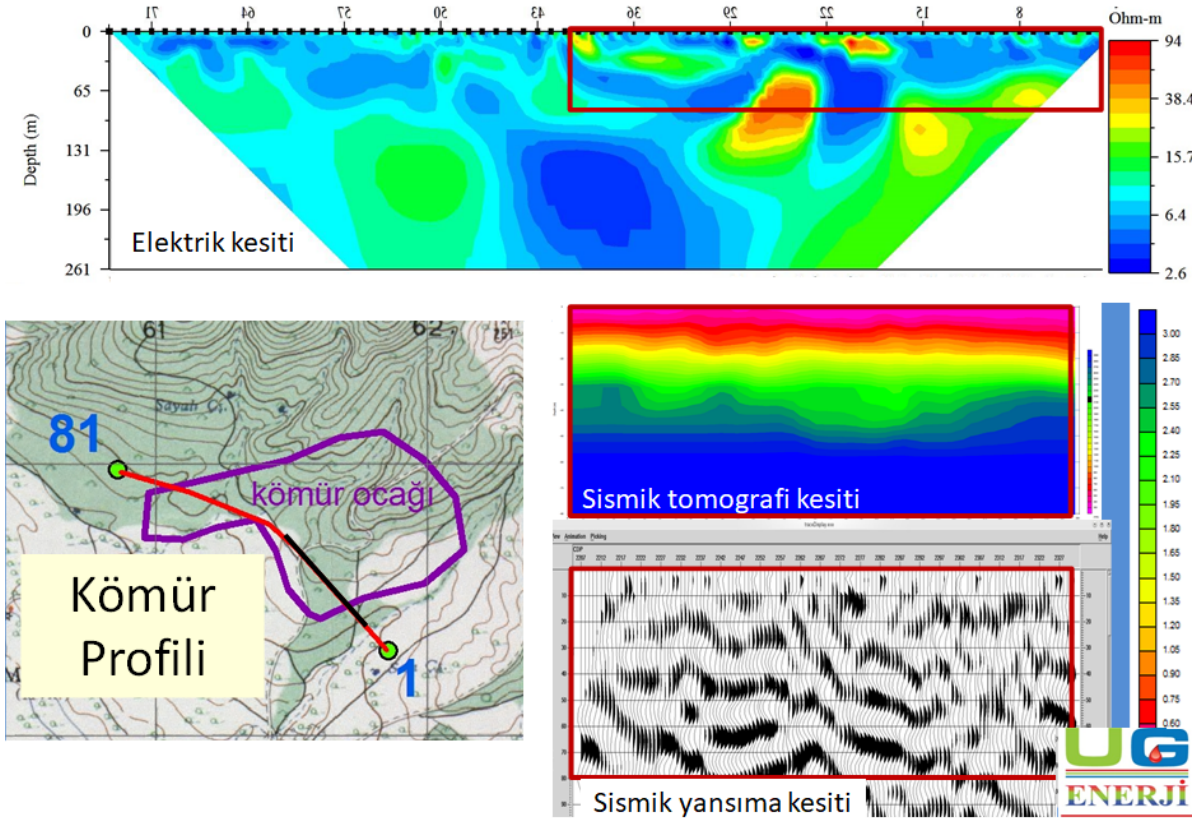


Şekil 12. Yorumlanmış sismik kesit (1) ve jeolojik kesitin (2) görünüşü [10].

Şekil 10'da kuyu bilgileri ile sismik tomografi sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi sonuçlar oldukça uyumludur. Dolayısıyla çok kuyu açmadan da sismik ile aynı sonuca ulaşmak mümkündür. Bu yöntemle arama ve tespit çalışmaları daha ucuza yapılabilmektedir. Şekil 11'de ise çok sığ bir kömür sahasında yapılan sismik kesit ve tomografi sonucu görülmektedir. Yine sahadaki kuyu sonuçları ile korele edilmiştir. Sonuçların uyumlu oldukları görülmektedir. Şekil 12'de de yine kömürlü bir sahada yapılmış sismik kesit ve yorumdan elde edilmiş jeolojik kesit görülmektedir.

#### 4.2. Elektrik Yöntemler

Elektrik yöntemi, yerin içindeki farklı tabakaların farklı dirence sahip olmasına ve direnç farklılığının tesbitine dayanır. Bunun için yere akım verilir, bu akım sayesinde elektrodlar arasında oluşan gerilim farkına bağlı olarak tabakaların dirençleri hesaplanır. Farklı formasyonlar farklı dirence sahiptir.



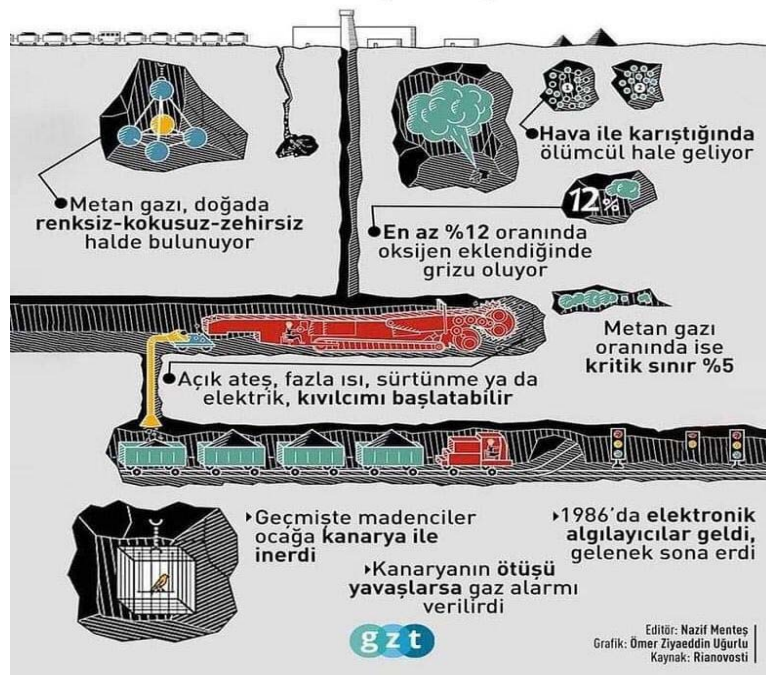
Şekil 13. Kömürlü bir sahada ve aynı profil üzerinde elektrik ve sismik kesitin karşılaştırılması [4].

Şekil 13'te kömürlü sahada ve aynı profil üzerinde yapılan elektrik ve sismik kesiti görülmektedir. Sonuçların uyumlu oldukları görülmüştür.

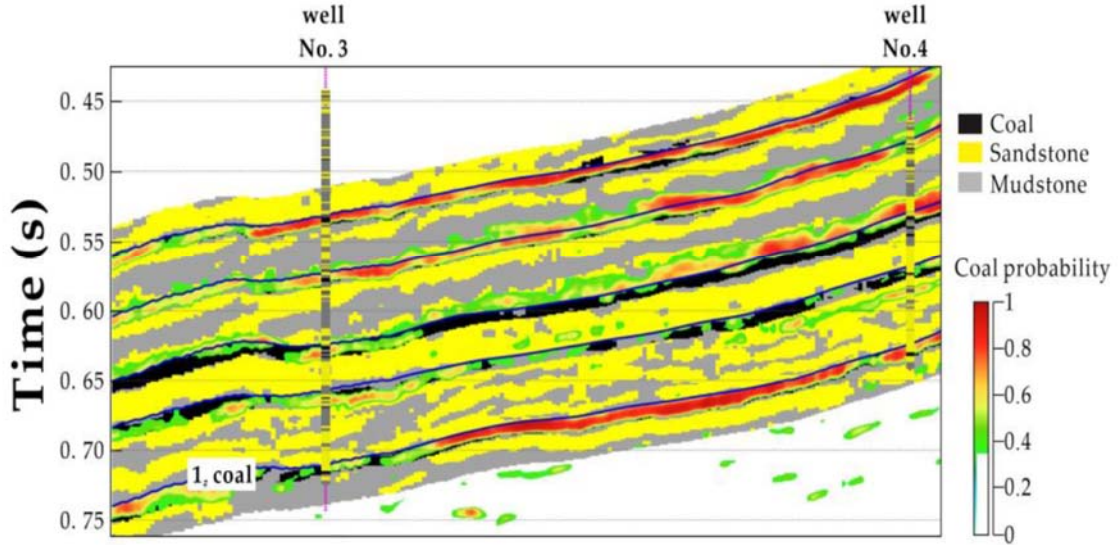
## 5. KÖMÜR KÖKENLİ DOĞAL GAZ (CBM) UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Kömür kökenli doğal gaz olan metan gazı, kömür üretiminin önündeki en büyük tehlikedir. Metan gazının patlaması sonucunda hem çalışan işçiler zarar görmekte hemde kömür ocağı zarar görmektedir. Bunun için galeri içinde sürekli gaz ölçümü yapılır. Gaz oranının eşik değer aşması durumda tehlike başlıyor demektir. Şekil 14'te kısa kısa bilgiler verilmiştir.





Şekil 14. Metan gazı ile ilgili kısa bilgiler [15].



Şekil 15. Rezervuar içersinde litolojik değişimin sismik kesit üzerinde görünüşü [1].

Şekil 14'te metan gazı ile ilgili teknik bilgiler görülmektedir. Şekil 15'te kömürlü sahada elde edilmiş bir sismik kesit görülmektedir. Bu kesit, kömürün yerindeki dağılımını ve yapısını nasıl değiştiğini göstermektedir.

## SONUÇ

1. Birçok yerde kömür içeren tabakaların üzerinde örtü olarak alüvyon tabakaları vardır. Bu örtü katmanlarının kalınlığı Sismik yansıma yöntemi ile gerçeğe yakın bir biçimde belirlenebilir ve dağılımı görüntülenebilir,

2. Temel paleo-topografyasının belirlenmesiyle havzada kömür oluşumuna uygun yerlerin tespit edilmesi ve kömür dağılımının belirlenmesi mümkündür,
3. Kalın ve ekonomik kömür damarları direkt olarak bulunabilir,
4. Kömür damarı kalınlığı derinliğin %10 ve daha düşük oranında ise kömürlü formasyonun veya bu formasyona komşu kılavuz formasyonların derinliği ve konumu saptanabilir. Sismik yansıma etütleri yapılarak kömür damarının yayılımı görülebilir,
5. Kuyular arasında yapılan sismik uygulamalarla kömür damarının devamlılığı, geometrisi ve kalitesi hakkında bilgi edinilebilir,
6. Özellikle kömürlü katmanları yüzeylenmeyen veya örtülü olan neojen havzalarında jeofizik metotların uygulanmaları sonucunda, uygun sondaj lokasyonlarının ve kapasitelerinin belirlenmesiyle sondaj sayısını azaltacağı yanında açılan kuyunun hedefe varmadan askıda kalmasının önleneceği gibi, amaçlanan sonuca daha kısa sürede ve daha ekonomik olarak ulaşılabilecektir.

Konvensiyonel (Klasik) maden aramacılığı sondajla yapılmaktadır. Bu nedenle cevherin şeklini çikarabilmek için çok fazla sondaj ile kuyu açılmalı ve karot alınmalıdır. Bu da yüksek maliyetlidir.

Son zamanlarda bütün Dünyada maden aramacılığında jeofizik yöntemler kullanılmaktadır. Jeofizik yöntemler sayesinde daha ucuza sondaj açmadan aynı veriyi elde etmek mümkündür.

Maden aramacılığında, CBM ve kömür seviyeleri için yapılacak sondaj yerleri açısından sismik yansıma ve kırılma verisinin önemi büyüktür. Bunun yanında Sismik tomografi yöntemi kömür damarlarının bulunmasında faydalı bir yöntemdir.

Yüksek çözünürlüklü sismik yansıma tekniği iyi planlanmış bir sondaj programı ile bağlantılı olarak kullanıldığında, yüzey altı jeolojisi hakkındaki bilgiyi daha kısa sürede ve düşük maliyetle önemli ölçüde arttırabilir [9].

Mekanik Sondaj pahalı bir işlem olmasına karşın, ihtiyaç halinde yeraltı yapısı hakkında verilerin kesinliği, güvenilirliğine ihtiyaç duyulan bir uygulamadır. Ancak sondaj öncesi jeofizik verilere her zaman ihtiyaç vardır.

Her türlü sondaj işlemi için jeofizik verisinden faydalanma imkânı mevcuttur. Özellikle Jeofiziğin yöntemlerinde özellikle CBM-KKDG için örneğin; sismik zaman kesitlerinin, derinlik, basınç kesitlerine dönüştürülmesi ile hangi seviyede, nasıl bir basınç ortamıyla karşı karşıya kalılabileceği sorularının cevabı da jeofizikte vardır.

Yerli kaynaklarımıza dayalı ileriye dönük tutarlı enerji politikaları oluşturabilmek için işletilebilir kömür rezervlerimizin saptanması gerekmektedir.

Sonuç olarak, yeni kömür ve yeraltı kaynaklarımızın belirlenmesi hususunda geliştirilen arama projelerinin amacına ulaşabilmesi için sondaj lokasyonlarının ve muhtemel derinliklerinin doğru belirlenmesi gerekir. Bunun için arama projelerinde jeolojik etütler yanında Jeofizik etütlere de yukarıda belirtilen fonksiyonları yerine getirebilecek şekilde yer verilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] CHEN, B., LIU, B., DU, Y., DONG, G., WANG C., WANG, Z., WANG, R., AND FAN CUI, F., "Inversion Study on Parameters of Cascade Coexisting Gas-Bearing Reservoirs in Huainan Coal Measures", Energies, 15, 6208, 2022.
- [2] DANA, D., AKERBERG, P., ZELT, C., LEVANDER, A., HENSTOCK, T., "High Resolution Seismic Imaging At A Porphyry Copper Mine", SEG Expanded Abstracts, 1998.
- [3] GÖNÜLALAN, A.U., GÜRELİ ,O., KILIÇ, O., KESKİN, E., İÇKE, B., KÖKTAN, M, VE AKÇAYLAR, L., "Türkiye'de Yansımali Sismik Yöntemin Kömür Aramalarında Kullanılmasının Önemi", Türkiye 17 Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara, 2007.

- [4] GÖNÜLALAN, A. U., VE GÜRELİ, O., “Kömür Arama ve Rezerv Geliştirme Yatırımlarında Sismik Yöntemin Önemi”, JFMO 20. Jeofizik Kongresi Antalya, 2013.
- [5] GÜRELİ O., VE GÖNÜLALAN, A. U., “Kömür Aramacılığında Sismik Yöntem Seismic Method in Coal Exploration” , 20. Kömür Kongresi Zonguldak, 2016.
- [6] KOÇAK, Ç., “Kömür Arama Politikalarında Jeofizik Mühendisliği Uygulamalarının Yeri ve Önemi”, JFMO Bülteni, 2002.
- [7] KOÇAK,Ç.,“Kömür Kaynaklarımızın Değerlendirilmesi ve Enerji Politikaları”–Türkiye 17. Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara, 2007.
- [8] MILLER R.,D., AND STEEPLES D.,W., “Detection Void in a 0.6 coal seam, 7m deep, using seismic reflection”, Geoprospection 28, P:109-111,1991.
- [9] MILLER R. D., SAENZ V., AND HUGGINS, R. J., “Feasibility Of CDP Seismic Reflection To Image Structures In A 220-M Deep, 3-M Thick Coal Zone Near Palau, Coahuila, Mexico”, Geophysics 57, 1373, 1992.
- [10]RAMDHANI, M. R., İBRAHİM, M. A., SİREGAR, H. E. A., AND RAHADINATA, T., “Shallow seismic reflection survey for imaging deep-seated coal layer - case study from Muara Enim coal” Indonesian Mining Journal Vol. 24, No. 1, April : 15 – 29, 2021.
- [11]Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), “Linyitlerin Türkiye Enerji Sektöründeki Yeri (1970-2030)”, TKİ Bülteni, 2013.
- [12]YILMAZ, O. “Engineering Seismology with Applications to Geotechnical Engineering,” SEG Yayınları, 964 sayfa, 2015.
- [13]ZİOLKOWSKI, A., AND LERWILL, W. E., “A Simple Approach To High Resolution Seismic Profiling For Coal” The thirty ninth meeting of the European Association of the Exploration Geophysicists, Zagreb, 1977.
- [14]<https://tr.wikipedia.org/wiki/metan>
- [15]<https://www.gzt.com/> (Erişim: 26.12.2022)
- [16]Vikipedi, özgür ansiklopedi

## ÖZGEÇMİŞ

### A.Uğur GÖNÜLALAN

1952 yılında Gaziantep'te doğdu. 1976 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Jeofizik-Jeoloji lisans, 1978 yılında Jeofizik Mühendisliği bölümünden Yüksek Jeofizik Mühendisi olarak mezun oldu. 1976-1978 yıllarında MTA Enstitüsünde çalıştı. 1978-1980 arasında Hava Kuvvetleri Komutanlığında Jeofizik Mühendisi Asteğmen olarak askerliğini yaptı. 1980-2006 arasında Türkiye Petrolleri A.O.'da teknik ve idari yönetici kadrolarında görev yaptı. TPAO bünyesinde ABD, Avrupa, Afrika ve Türkiye Cumhuriyetleri'ndeki eğitim ve ortak projelerde yer aldı. Türkiye Petrolleri Personeli Vakfı Yönetim Kurulu Üyeliği, Petrol Ticaret Başkan Vekilliği, İstanbul Gübre Sanayii A.Ş. (İGSAŞ) Denetleme Kurulu Üyeliklerinde bulundu. Türkiye Jeofizikçiler Derneği, 1976 Yönetim Kurulu üyesi, 1990-1992, 1992-1994 yıllarında JFMO Yönetim Kurulu'nda II. Başkan, Yönetim Kurulu üyeliklerinde bulundu. 2002-2004, 2004-2006, 2006-2008 yılları arasında (toplam üç (9, 10 ve 11) dönem) TMMOB JFMO Genel Başkanlığı, Yönetim Kurulu Başkanlığı yaptı. Oda üyesi olarak TMMOB'da çeşitli komisyon üyeliklerinde bulundu. Ulusal ve uluslararası jeofizik ve petrol vb. çeşitli kongrelerin düzenlenmesinde düzenleme kurulu başkanı ve üyesi olarak görev yaptı. JFMO 13. Dönem (2010-2012) Hukuk İşleri Komisyonu ve TMMOB 41.Dönem (2010-2012) Yasa ve Yönetmelik Değişikliklerinin Takibi Çalışma Grubu Başkanlıklarını yaptı. JFMO'nun TMMOB delegesidir. 12 Mayıs 2009 tarihinden bu yana Madencilik Müşavir Mühendisleri Birliği (MADENBİR) Derneği Yönetim Kurulu üyesidir. Balkan Jeofizik Birliği (BGS), SEG, EAGE, DEK-TMK, YERMAM ve Ankara Barosu üyesidir. Ulusal ve uluslararası kongre, seminer ve sempozyumlarda jeofizik, jeotermal ve petrol aramacılığı üzerine hazırlanmış 32 adet sunumu ve yayını bulunmaktadır. Altı dönem DPT 5 yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas (Enerji) komisyonlarında görev aldı. Ocak 2007'de emekli oldu. Bir enerji şirketinde danışman olarak çalıştı. Temmuz 2011'den bu yana kurucu ortak şirketi olan UG ENERJİ'de görev yapmaktadır. MÜDEK (Mühendislik Eğitim Programları Değerlendirme ve Akreditasyon Derneği) Resmi Değerlendiricisidir. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi mezunu, Avukat olup Ankara Barosuna kayıtlı ve CMK-HMK Bölge Bilirkişisidir.



## **Orhan GÜRELİ**

1969 yılı Tokat doğumludur. 1993 yılında İTÜ. İstanbul Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Ankara Üniversiteden 1998 yılında Yüksek Mühendis, 2007 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1993-2005 yılları arasında TPAO'da Jeofizik Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2005-2011 yılları arasında NAGECO-Libya'da Supervisor olarak görev yapmıştır. 2011'den beri Arar Petrol ve Gaz AÜP AŞ'de Sismik Grup Müdürü olarak görev yapmaktadır. Petrol, Doğalgaz, Maden ve Jeotermal arama konularında çalışmaktadır.

# TÜRK YERALTI OCAKLARINDA DEĞİŞMESİ GEREKEN BİR YAKLAŞIM: HAVALANDIRMA

*A Must-Change Approach in Turkish Underground Mines: Ventilation*

**Kemal Barış**

## ÖZET

Tüm yeraltı yapılarında olduğu gibi yeraltı maden ocaklarında da havalandırmanın temel amaçları oldukça açık ve basit olmasına karşın ülkemizde bulunan yeraltı maden ocaklarında havalandırma ile doğrudan ilişkili kazaların neredeyse düzenli denilebilecek sıklıklarda yaşanması konuya verilen önemin yeterli olmadığını göstermektedir. Bir yeraltı ocağının havalandırılması ocağın kurulum aşamasından önce düşünölmeye başlanması gereken ve ocağın ömrü boyunca ocaktaki dinamik değişimlerin sonucunda ortaya çıkabilecek tüm senaryoları dikkate alan bir yaklaşım olmalıdır. Bu kapsamda, bu yaklaşımı sergileyecek teknik ekibin konu ile ilgili iyi bir eğitim almış olması, havalandırmanın teknik kavramlarına hakim olması ve tecrübeli olması neredeyse bir zorunluluktur. Bu türlü yaklaşım sergilenmeyen bir yeraltı ocağında ocak çalışmaya başladıktan sonra havalandırma sisteminin iyileştirilmesi için yapılması gerekenler ya oldukça zahmetli ve maliyetli, birçok durumda ise imkansıza yakındır. Bunun yanında ülkenin maden mevzuatında havalandırmaya gereken önem verilmeli, hazırlanan yasa ve yönetmeliklerde muğlak/yanlış ifadelerin bulunmaması için üst düzey bir çaba sarf edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada maden mevzuatını da kapsayacak şekilde ülkemiz yeraltı ocaklarındaki planlama eksiklikleri, havalandırma ile ilgili konulardaki bilgi eksiklikleri ve bu nedenle tehlikelerin yorumlanmasındaki hatalar ile havalandırma eğitimindeki yetersizliklere değinilecek ve çözüm önerileri sunulmaya çalışılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Maden havalandırması, Havalandırma planlaması, Havalandırma eğitimi.

## ABSTRACT

The almost-regular occurrence of accidents directly related to ventilation in Turkish underground mines clearly shows that ventilation has been neglected even though the scope and purpose of mine ventilation is clear and simple. Ventilation of an underground mine is an issue that should be considered well before the development stage, and it must be an approach that can cover all the probable scenarios due to the dynamic conditions during the life of the mine. Naturally, it is almost a necessity that the technical staff must be well-educated, having a good command of the technical issues of ventilation, and have experience. If an underground mine is operated lacking such an approach, then necessities to rehabilitate the mine ventilation are either overcostly or close to impossible most of the time. Therefore, national mine legislation should pay attention to mine ventilation and a great effort should be made to avoid ambiguous/wrong definitions and expressions. In this context this study aims at discussing the planning deficiencies in Turkish underground mines, ignorance on mine ventilation which causes mistakes in evaluating the dangers as well as inadequacy of mine ventilation education.

**Key Words:** Mine ventilation, Ventilation planning, Ventilation education.

## 1. GİRİŞ

Yeraltı ocaklarında havalandırmanın temel amacı esas itibarıyla son derece açık ve basittir. Bu amaçta çalışılan ve personelin kullandığı tüm ocak kesimlerine yeterli miktarda ve kirleticileri güvenli konsantrasyonlara seyreltecek kalitede temiz hava sağlamaktır. Bunun yanında, havalandırma ile tüm çalışanların kabul edilebilir bir konfor seviyesinde çalışması da temin edilmelidir. Zehirli, boğucu, patlayıcı gazlar ve tozlar ile ısı gibi oldukça geniş çevresel tehlike türlerine sahip olabilen yeraltı madenciliğinde bu tehlikeler zehirlenmeden patlamalara, akciğer hastalıklarından karbon monoksit zehirlenmesine ve sıcak çarpmasına kadar ciddi iş sağlığı ve güvenliği sorunlarına neden olabilmektedir. Yeraltı ocaklarında tesis edilmiş etkin bir havalandırma sisteminin yokluğunda bu tehlikeleri bertaraf edebilmek, güvenli ve sürdürülebilir bir yeraltı madenciliğinin yapılması mümkün değildir. Verimli ve etkili bir maden havalandırma sisteminin ise tesadüfen elde edilmesi mümkün olmamakta bu nedenle bilimsel havalandırma ilkelerinin ve uygulamalarının ocak planlama ve yönetim süreçlerinin içine dahil edilmesi gerekmektedir.

Yeraltı maden ocaklarında havalandırma ve havalandırma ile ilişkili uygulamaları dikkate alan özellikle Avustralya, Kanada ve A.B.D gibi gelişmiş ülkelerde, yeraltı maden ocaklarında havalandırmaya yönelik olarak son 30-40 yılda azami özen gösterilmekte, hem özel sektör hem de kamu kurumları tarafından büyük bütçeli projeler ve araştırmalar yürütülmekte, yeraltı ocak havalandırmasına yönelik olarak çıkarılacak kanun ve yönetmelikler üzerinde uzun süreli tartışmalar sürdürülmekte ve çeşitli iyileştirmeler yapılmaktadır. Buna bağlı olarak, yeraltı madenciliği yapılan diğer ülkelerle karşılaştırıldığında, bu ülkelerde yeraltı ocaklarında havalandırma ile doğrudan ya da dolaylı olarak meydana gelen kaza sıklığı ve sayılarının çok ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Çizelge 1'de 2010-2022 yılları arasında çeşitli dünya ülkelerinde yaşanan kazalara ait bilgiler sunulmaktadır. Taşkömürü ocaklarında bu kazaların yaşandığı Çin, Rusya, Ukrayna, ABD ve Avustralya gibi ülkelerin kömür üretimlerinin neredeyse dünya kömür üretiminin tamamına yakınına sağladığı gözden kaçmamalıdır.

Çizelge 1. 2010-2022 yılları arasında çeşitli ülkelerde yaşanan ve havalandırma ile doğrudan/dolaylı olarak ilişkili kazalara ait bilgiler [1'den değiştirilerek].

Yıl	Yer	Ocak türü	Kaza Nedeni	Ölü Sayısı
2010	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Yeni Zelanda	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Ocak yangını	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Ocak yangını	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	21 Ölü
2011	Ukrayna	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	24 Ölü
	Pakistan	Taşkömürü	Metan gazı Patlaması	43 Ölü
2012	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	45 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	14 Ölü
2013	Çin	Taşkömürü	Ani Püskürme	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	28 Ölü
2014	Avustralya	Taşkömürü	Gaz zehirlenmesi (CO)	1 Ölü
2016	Rusya	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	36 Ölü
2017	İran	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	35 Ölü
2018	Afganistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	16 Ölü
	Afganistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	7 Ölü
2019	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
	Kırgızistan	Taşkömürü (kaçak)	Oksijen yetersizliği (metan)	6 Ölü
	Afganistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	16 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	14 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	15 Ölü

## Çizelge 1. (devam ediyor)

	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
2020	Çin	Taşkömürü	Gaz zehirlenmesi (CO)	18 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Bant yangını/zehirlenme	16 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	4 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	4 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Gaz zehirlenmesi (CO)	23 Ölü
2021	Rusya	Taşkömürü	Yangın/Zehirlenme	51 Ölü
2022	Kolombiya	Taşkömürü	Metan patlaması	12 Ölü
Toplam				613 Ölü

Üretim miktarı açısından dünyadaki ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça düşük yeraltı üretimleri gerçekleştiren ülkemiz madencilik sektöründe ise durum hiç de iç açıcı görünmemektedir. Ülkemizde 2010-2022 yılları arasında yeraltı ocaklarında sadece havalandırma ile doğrudan/dolaylı ilişkili ve neredeyse düzenli denilebilecek sıklıkta yaşanan kazaların sayısı 18'dir. Özellikle 2014 yılında Soma'da yaşanan ve 301 madencimizin ölümüyle sonuçlanan kaza ile 2022 yılında Amasra'da yaşanan ve 42 madencinin hayatını kaybettiği kazaların etkisiyle hayatını kaybeden toplam madenci sayısı 415'e ulaşmıştır (Çizelge 2). Dünyadakinin aksine ülkemizde taşkömürü ocakları dışında linyit ve metal ocaklarında da havalandırma ile doğrudan ilişkili ölümlü kazalar yaşanmıştır.

Çizelge 2. 2010-2022 yılları arasında ülkemizde yaşanan ve havalandırma ile doğrudan/dolaylı olarak ilişkili kazalara ait bilgiler [1'den değiştirilerek].

Yıl	Yer	Ocak türü	Kaza Nedeni	Ölü
2010	Dursunbey/Balıkesir	Linyit	Metan gazı patlaması	17 Ölü
	Karadon/Zonguldak	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	30 Ölü
	Keşan/Edirne	Linyit	Yangın	3 Ölü
2012	Suluova/Amasya	Linyit	Oksijen yetersizliği (metan)	2 Ölü
2013	Kozlu/Zonguldak	Taşkömürü	Ani püskürme	8 Ölü
	Kırat/Zonguldak	Taşkömürü (kaçak)	Gaz zehirlenmesi	4 Ölü
2014	Soma/Manisa	Linyit	Yangın/zehirlenme	301 Ölü
2015	Yeşilova/Burdur	Krom	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
2016	Tefenni/Burdur	Krom	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
2017	Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü	Metan parlaması	2 Ölü
	Asma/Zonguldak	Taşkömürü	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
	Kelkit/Gümüşhane	Linyit	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
2018	Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü	Oksijen yetersizliği (metan)	1 Ölü
	Kozlu/Zonguldak	Taşkömürü (kaçak)	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
	Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü (kaçak)	Metan gazı patlaması	3 Ölü
2019	Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
2020	İskilip/Çorum	Linyit	Metan gazı patlaması	1 Ölü
2022	Amasra/Bartın	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	42 Ölü
Toplam				415 Ölü

İki çizelge karşılaştırıldığında ülkemizde yeraltı ocaklarında havalandırma konusunda yaklaşım ve uygulama olarak önemli sorunlar olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu duruma yol açan temel nedenlerin ise özellikle yeraltı ocaklarında sadece "üretim odaklı" bir yaklaşımın hakim olması nedeniyle havalandırmanın neredeyse daima geri planda kalması, ocak planlaması ve tasarımında havalandırmanın göz ardı edilmesi, maden mevzuatında havalandırmaya yönelik kıstasların muğlak/yetersiz/eksik olması, yeraltı ocaklarında görev alan personelin ve hatta ocakları denetleyen uzmanların havalandırma konusunda bilgi ve tecrübe eksikliklerine bağlı olarak yapılan teknik hatalar ve özensiz davranışlar, üniversitelerde havalandırma konusuna olan ilginin arttırılamaması olduğu söylenebilir.

Bu kapsamda bu çalışmanın temel amacı, ülkemizde yeraltı ocak havalandırması ile ilgili olarak sayılan sorunların irdelenmesi ve konuya yaklaşımın değişmesi için nelerin yapılmasına ihtiyaç duyulduğunun tartışılmasıdır.

## 2. YERALTI OCAKLARINDA HAVALANDIRMAYA YAKLAŞIM

Son yüzyılda dünyayı tamamen etkisi altına alan kapitalist düzenin bir sonucu olarak tüm iş kollarında olduğu gibi ülkemiz madencilik sektöründe de tek amaç karı arttırmak olmuş ve bu nedenle birçok temel konu göz ardı edilmiş ve edilmeye devam etmektedir. Buna paralel olarak neredeyse ülkemizdeki tüm maden işletmelerinde tek amaç ne pahasına mal olursa olsun üretimi arttırmak olmuştur. Son yıllarda ülkemizde maden ocaklarında meydana gelen kazaların sıklığı ve büyüklükleri nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği konusunda belirli bir farkındalık oluşmuş olsa da ocaklarda üretime yönelik işler haricindeki tüm işler deyim yerindeyse birer “*angarya*” olarak görülmektedir. Ülkemiz yeraltı ocaklarında bu “*angarya*” işlerin başında ise havalandırma yer almaktadır. Bu noktada, iyi bir havalandırma sistemine sahip bir yeraltı ocağında yaratılacak güvenli ve sağlıklı bir atmosferde verimliliğin artacağı yadsınamaz bir gerçek olsa da iyi ve kötü havalandırılan iki ocak arasındaki verimlilik farkının maliyetinin hesaplanmasındaki zorluklar havalandırma algısında önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Madencilik faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı A.B.D., Avustralya, Kanada gibi gelişmiş ülkelerde yeraltı ocaklarında havalandırma son derece ciddiyetle ele alınmakta, teknolojik gelişmeler ocak havalandırmasına uyarlanmakta, ocak havalandırma planlamasında bilgisayar yazılımlarının doğru bir şekilde kullanılması sağlanmakta ve hatta Avustralya gibi bazı ülkelerde mecburi tutulmakta, kamu ve özel sektör tarafından havalandırma ile ilgili olarak büyük boyutlu projelere destek ve finansman sağlanmakta ve maden mevzuatı günün gereklerine, bilimsel verilere göre tüm sektörün mutabık kaldığı haliyle değiştirilmektedir. Örneğin, solunabilir toz ve metal ocaklarında önemli sağlık sorunlarına yol açabilecek “*Dizel Partikül Madde (DPM)*” ile ilgili sınırlar yıllar içinde çok defalar güncellenmiştir. Tüm bunların etkisiyle bu ülkelerde yeraltı ocak havalandırmasına bağlı kazalar neredeyse yok denecek kadar azalmıştır. Hatta yeraltı işletmelerinin havalandırma maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çabalar sarfettiği ve metal ocaklarında gerekli hava miktarının azaltılması için kontrollü seri havalandırma (controlled recirculation) ve gerektiğinde havalandırma (Ventilation on Demand – VoD) gibi uygulamalar ile uğraştığı görülmektedir [2]. Bunun yanında bu ülkelerde yeraltı ocaklarında havalandırma, iş sağlığı ve güvenliği kavramının temel yapı taşı olarak görülmekte ve özellikle çalışanların sağlığı açısından maden mevzuatlarında havalandırma ile ilgili olarak kesin ve sürekli olarak iyileştirilen kavramlar ve sınır değerler bulunmaktadır.

Ülkemizde ise özellikle 2014 yılında yaşanan ve 301 madencinin hayatını kaybetmesiyle sonuçlanan Soma faciasının etkisiyle ülkemizde yeraltı ocaklarında havalandırmaya ilgi artmış, değiştirilen yasa ve yönetmeliklerle teknolojiye ayak uydurma yönünde olumlu adımlar atılmıştır. Bu kapsamda ülkemiz yeraltı ocaklarında sürekli izleme ve takip sistemleri kullanılmaya başlanmış, bu sistemler yeraltı kömür ocaklarında zorunlu hale getirilmiş ve havalandırma yazılımlarına olan ilgi artmıştır. Bunun yanında yeraltı ocaklarına yönelik olarak denetim faaliyetleri sıklaştırılmış ve çeşitli kurumlar eliyle bu faaliyetler yürütülmeye başlanmıştır.

Ülkemizde ocak havalandırmasına yönelik tüm bu olumlu sayılabilecek gelişmelere karşın neredeyse düzenli sıklıkta yaşanan ve havalandırma ile doğrudan ilişkili kazaların sürmesi yeraltı ocaklarında havalandırmaya yönelik algının ve yaklaşımın kökten değişmesi gerektiğinin açık bir göstergesidir. Zira ülkemiz yeraltı ocaklarında her ne kadar yasa ve yönetmeliklere uyulması yönünde adımlar atılsa da bu adımlar çoğu zaman göstermelik ve geçici çözümler şeklinde olmaktadır. İşletmeler çoğu zaman “*yara bandı*” yaklaşımı denilebilecek geçici ve görece olarak az maliyetli çözümler sayesinde faaliyetlerini denetimlerle (yasa ve yönetmelikler tarafından) durdurulana ya da havalandırma kaynaklı ciddi kazalar (korkular) yaşanıncaya kadar sürdürmektedir.

Tüm bunların yanında yeraltında görev alan teknik personel ve işçilerin havalandırma konusunda bilgi ve tecrübe eksiklikleri nedeniyle önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Hatta havalandırma konusunda



algısını, bilgi ve tecrübesini arttırmış ve tehlikelerin farkında olan teknik personelin uyarıları ocaklarda zaman zaman alay konusu bile olabilmektedir. Havalandırmanın bir gereklilik olduğu bilinmesine karşın çoğu yeraltı ocağında “nasıl olsa hava bir yerden girer bir yerden çıkar” mantığıyla hareket edilmekte ve havalandırmaya gereken önem verilmemektedir. Bunun yanında ocakları idare eden teknik kadronun, “havalandırmamız gayet iyi, sadece ocakta çok fazla metan var”, “biz %2-3 metanda çok çalıştık” ve “bu ocak bu şekilde yıllardır çalışıyor ancak bugüne kadar herhangi bir sorun yaşamadık” ve “doğal havalandırma işimizi görüyor, bizim mekanik havalandırmaya ihtiyacımız yok” türünde şaşılacak yorumları da olağan bir hale dönüşmüş durumdadır.

### 3. HAVALANDIRMA PLANLAMASI

Yeraltı ocaklarında havalandırma planlaması esas itibariyle ocağın kurulum aşamasında ele alınması gereken ve ocağın ömrü boyunca titizlikle güncellenmesi gereken bir konudur. Bir yeraltı ocağının havalandırma sistemi, üretim planlaması yapılırken göz önüne alınmalı, ihtiyaç duyulan miktarda temiz havanın çalışma işyerlerine ulaşması sağlanmalı ve bu sayede gaz, toz, nem ve sıcaklık gibi olumsuz etkilerin asgari düzeye indirilmesi hedeflenmelidir. Henüz planlama aşamasındaki yeraltı ocaklarında havalandırma dikkate alınmadan yapılan ocak ve üretim planları, ocağın ömrü boyunca ciddi iş sağlığı ve güvenliği sorunlarını beraberinde getirebilmekle birlikte üretim ve zaman kayıplarına yol açabilmektedir. Planlama aşamasında yapılan hatalar ancak ocak çalışmaya başladığında ortaya çıkacağından bu noktadan sonra havalandırma sisteminin düzeltilmesi hem teknik açıdan hem de yüksek maliyetler açısından neredeyse imkansız olacaktır. Örneğin, havalandırma gereksinimleri dikkate alınmadan planlanan bir ocakta, piyasa koşullarındaki değişiklikler ve üretilen cevhere artan talep gibi sebeplerle yeni bir panonun üretime alınması, ocağa sağlanan hava miktarı yetersiz olacağından mümkün olmayabilmektedir. Bunun yanı sıra, planlama aşamasında havalandırma ihtiyaçlarının doğru belirlenmemiş olması nedeniyle ocağa hava sağlayan ana fan/fanların kapasiteleri yetersiz kalabilmekte ve ocağın artan ihtiyaçlarını karşılamak için büyük maliyetler altına girilerek ana fan/fanların kapasitelerinin artırılmasına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Üretim yöntemi ve kirleticilerin karakteristikleri itibariyle yeraltı kömür ocakları ve metal ocaklarında havalandırma sistemlerinin tasarımında farklılıklar olabilmekle birlikte her iki tür ocakta da temel amaç kirleticilerin yasalar ve insan sağlığı gözetilerek kabul edilebilir seviyeleri indirilmesidir. Bu amaçla yeraltı madencilikinde ocaklara sağlanacak temiz hava miktarı geleneksel olarak;

- Formasyondan kaynaklı zehirli, boğucu ve/veya patlayıcı özellikteki gazların yayılım miktarlarına,
- Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanacak solunabilir tozun miktarına,
- Ocakta kullanılan dizel ekipmanların egzozlarından ortama yayılacak gazların miktarına,
- Ocakta üretim ya da hazırlık işlerinde kullanılan patlayıcı madde miktarına ve
- Mevzuatta belirlenmiş en düşük ve en yüksek hava hızı sınırlarına göre hesaplanmaktadır.

Kömür ocaklarında temel atmosfer kirleticisi çoğu durumda metan (CH<sub>4</sub>) olmakta ve bu gazın belirli konsantrasyonlarda patlayıcı özelliği bulunması nedeniyle ocakta CH<sub>4</sub> konsantrasyonunun herhangi bir tehlikeye yol açmayacak ve mevzuatta belirlenmiş seviyelerde tutulmasına yönelik sistemler tasarlanmaktadır. Bu amaca hizmet eden sistemler ise diğer kirleticilerin de tehlike arz etmeyecek seviyelerde tutulmasına olanak vermektedir. Bu kritere göre ocağa verilecek temiz hava miktarının belirlenebilmesi için çalışılan kömür damarından ve bu damarın altında ya da üstünde belirli bir mesafede (<100 m) bulunan kömür damarlarından çalışma ortamına yayılacak CH<sub>4</sub> gazı miktarının ölçülmesine ve/veya tahmin edilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Metal ocaklarında ise patlayıcı bir atmosferin oluşması nadiren görülmekle birlikte bu ocaklarda özellikle yoğun dizel ekipman kullanımı nedeniyle dizel egzozlardan ve patlayıcı madde kullanımı nedeniyle ortama yayılan zehirli gazlar, kanserojen maddeler (DPM) ve ısı havalandırma tasarımında ana kriterler olabilmektedir.

İster yeraltı kömür isterse metal ocağı olsun özellikle tali havalandırma planlamada özel önem arz etmektedir. Zira yeraltı kömür ocaklarında hazırlık işlerinde tali havalandırma sistemlerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmakla birlikte çoğu yeraltı metal ocağında yöntem itibariyle üretim tali havalandırma vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Ocak havalandırmasında ocak giriş çıkışı arasındaki, bir hava yolundaki ya da bir hava borusundaki basınç farkı ( $P$ , Pa) sistemden geçirilmek istenen hava miktarının ( $Q$ , m<sup>3</sup>/s) karesi ve sistem direnci ( $R$ , gaul ya da Ns<sup>2</sup>/m<sup>6</sup>) ile doğru orantılıdır (Eşitlik 1).

$$P = RQ^2 \quad (1)$$

Eşitlik 1'den anlaşılacağı üzere bir yeraltı ocağında ve/veya tali havalandırılacak bir galeri ya da ocak kesiminde uygun fanı seçebilmek için ihtiyaç duyulan hava miktarının doğru hesaplanmış olması ve sistem direncinin doğru bulunmasıyla oluşturulması gereken basınç farkının yüksek doğrulukla tespiti şarttır. Planlama aşamasında bu kriterlerin hatalı hesaplanmasının hatalı fan seçimlerine yol açacağı açıktır. Yanlış seçilen bir fan ise sisteme ihtiyaç duyulan hava miktarını sağlayamayacak ve ciddi iş güvenliği sorunları ve üretim kayıpları ortaya çıkabilecektir.

Bir yeraltı ocağında, bir hava yolunda ya da ocak kesiminde sistem direncinin bulunabilmesi için esas itibariyle basınç farkı-hava miktarı ( $PQ$ ) ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Ancak henüz kurulum aşamasında olan bir yeraltı ocağında henüz herhangi bir yeraltı açıklığı bulunmadığından ya da açıklıkların çok küçük bir kısmı açılmış olduğundan kollardaki dirençlerin aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmasına ihtiyaç vardır.

$$R = kL \frac{C}{A^3} \quad (2)$$

Burada;  $A$  kesit alanını (m<sup>2</sup>),  $L$  havayolunun boyunu (m),  $C$  yolun çevre uzunluğunu (m) ve  $k$  ise sürtünme faktörünü (kg/m<sup>3</sup>) temsil etmektedir.

Çalışmakta olan ocaklarda ise pitot tüp-manometre kullanılarak kollardaki ve havalandırma yapılarındaki (hava kapısı vb.) basınç farkları ölçülmeli ve kesit alanı tespit edilerek ve anemometre yardımıyla hava hızı ölçümleri yapılarak basınç kayıpları tespit edilmelidir.

Havalandırma sistemlerinin tasarlanması için günümüzde havalandırma yazılımları kullanılıyor olsa da özellikle çalışan ocaklarda yukarıda anlatılan ölçümlerin yapılmaması ve gerçek ocak koşullarının simülasyon yazılımlarına doğru işlenmemiş olması nedeniyle ortaya çok hatalı sistem tasarımları çıkabileceği unutulmamalıdır. Gerçek ölçüm sonuçları ile simülasyon yazılımları sonuçları karşılaştırılmalı ve makul bir hata payında (<%10) sonuçların alındığına emin olunmalıdır.

#### 4. MADEN MEVZUATI

Bir ülkedeki madencilik faaliyetleri genel olarak yasa ve yönetmeliklerden oluşan ve ülkeye özel bir maden mevzuatı kapsamında yürütülmektedir. Doğası gereği madencilik faaliyetleri çalışma, iş sağlığı ve güvenliği, çevre, arazi ve su kullanımı, vergi ve enerji gibi konulardaki pek çok yasal düzenlemeyle de yakından ilişkilidir. Ülkelerin maden mevzuatları oluşturulurken mevzuat maddelerinin bilimsel ve günün teknolojik koşullarına uygun olması madenciliğin güvenli ve ekonomik bir şekilde sürdürülmesi için büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, maden mevzuatı kapsamının ve içeriğinin evrensel bilim temellerine dayanan şekilde ancak ülkenin şartlarını da göze alınarak ortak konsensus ile belirlenmesi, anlaşılır ve tartışmalara neden olmayacak net ifadelerden oluşturulması gerekmektedir.

Türkiye'de madenlerin aranması, işletilmesi, üzerinde hak sahibi olunması ve terk edilmesi ile ilgili genel esaslar 3213 sayılı Maden Kanunu ile düzenlenmiştir. Bunun yanında madencilik faaliyetleri sırasında ya da sonrasında oluşacak sorunların en az indirgenmesi, iş sağlığı ve güvenliği koşullarının

düzenlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla çeşitli yönetmelikler yayımlanmıştır. Bu yönetmeliklerden en önemlisi 6331 sayılı İş Sağlığı ve İş Güvenliği Kanunu kapsamına giren maden işyerlerini kapsayan ve 28770 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'dir [3]. Bu yönetmelikle temel olarak, sondajla maden çıkarılan işler de dahil olmak üzere tüm yeraltı ve yerüstü maden işlerinin yapıldığı işyerlerinde çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması için uyulması gerekli asgari şartları belirlenmesi hedeflenmiştir. Anılan yönetmelik 2014 yılında ülkemizde meydana gelen ve 301 madencinin ölümüyle sonuçlanan Soma faciası sonrasında kapsamlı değişiklikler yapılmış ve yönetmeliğin son hali 2015 yılında yayımlanmıştır.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği kapsam itibarıyla birçok konuya değinmekte iken 2015 yılında yapılan değişiklikler havalandırma ve iş sağlığı ve güvenliği konularında yeraltı maden işletmelerine, özellikle yeraltı kömür ocaklarına, yönelik olarak yeni koşullar getirmiştir. Yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgili olarak yönetmelikte dikkat çeken değişiklikler; asgari hava hızı koşulunun getirilmesi, yeraltı kömür ocaklarında merkezi gaz izleme sistemlerinin zorunlu kılınması ve buna yönelik sensör sayısının belirlenmesi, grizulu yeraltı kömür ocaklarında gaz degajı riskinin belirlenmesi, kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yakınlıklarının belirlenmesi ve (kalıcı) bekleme barajlarının nitelikleri olarak dikkat çekmektedir.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yapılan bu değişiklikler amaç itibarıyla olumlu olsa da uygulamada birçok sorunu beraberinde getirmiştir. Özellikle yönetmeliğin yayımlanmasını takiben yönetmelikte yukarıda sayılan maddeler ile ilgili kullanılan muğlak/eksik/hatalı ifadeler ve pratikte uygulanması mümkün olmayan bazı şartların getirilmesi gibi çeşitli durumlar nedeniyle sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu duruma neden en büyük sebebin yönetmeliğin kimler tarafından oluşturulduğunun, bu yönetmelikleri oluşturan kişilerin anılan konularda yetkinliklerinin bilinmemesi ve yönetmeliğin paydaşlarca tartışılmadan yayımlanması olduğu düşünülmektedir.

Örneğin, Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yeraltı ocaklarında asgari hava hızının her halde  $0,5 \text{ m/s}$ 'den düşük olamayacağı belirtilmiştir. Bu şart yeraltı ocaklarında koşulların iyileşmesi açısından olumlu bir düzenleme gibi görünse de pratikte, özellikle orta ve büyük ölçekli yeraltı ocaklarında, bu şartın sağlanması oldukça zordur. Zira bir yeraltı ocağının her kesiminde asgari hava hızının  $0,5 \text{ m/s}$  olarak düzenlenmesi ancak ocaktaki ana havalandırma koşullarının geliştirilmesi ile mümkün olabilir. Bunun için ise ya ocağın ya da ocak kesimlerinin dirençlerinin azaltılmasına, ki bu pratik olarak pek de mümkün değildir, ya da ana fan ve tali fanların kapasitelerinin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ana fan ve tali fanların ilk yatırım maliyetleri düşünüldüğünde halihazırda çalışan ocaklarda bu koşulun yerine getirilmesi neredeyse imkansızdır. Nitekim, yazarın tecrübeleri de yeraltı ocaklarının büyük bir bölümünde  $0,5 \text{ m/s}$  asgari hava hızı şartının yerine getirilmediği yönündedir. Ayrıca, yönetmelikte  $0,5 \text{ m/s}$  hava hızının galeri kesitinin neresinde ölçüleceğine yönelik bir ibare bulunmamaktadır. Oysa ki böylesi bir düzenleme yapıldığında asgari hava hızı şartının ölçüm yapılan galerideki "ortalama hava hızı" olması gerektiğinin belirtilmesi gerekmektedir.

Benzer şekilde yeraltı kömür ocaklarında merkezi gaz izleme sistemlerine yönelik olarak ocaklarda izlenmesi gereken gazlar ve kurulması gereken asgari sensör sayısı yönetmelikte belirtilmekte ise de bu sensörlerin galeri kesiti içerisinde nereye yerleştirileceği hakkında en ufak bir bilgi bulunmamaktadır. Bu durumda ocaklarda kurulan sensörlerin galeri kesiti içindeki yerleri ocak personelinin inisiyatifine bırakılmakta ve bu da pratikte çoğu durumda ölçüm yapamayan ya da yanlış ölçüm yapan sensör verilerinin ocak atmosferine yönelik değerlendirmelerde kullanılmasına yol açmaktadır. Bu tür hatalı verinin kullanılmasının ise hatalı değerlendirmelere ve hatta büyük tehlikelere yol açacağı açıktır. Ayrıca yönetmeliğe göre, bir üretim ve bir de hazırlık işyeri olan bir yeraltı kömür ocağında zorunlu olarak kullanılması gereken asgari sensör sayısı 30'dur. Bu sayı, orta ve büyük ölçekli ocaklarda kolaylıkla 100'ün üzerine çıkmaktadır (TTK Karadon: > 500 sensör). Sensör sayısının bu denli yüksek olması ise hem sistemin verimliliğini hem de güvenilirliğini azaltmakta zira sensörlerin kalibrasyonu zorlaşmakta ve ocakta farklı noktalarda çok sayıda sensör bulunması nedeniyle takipleri zorlaşmaktadır.

Anılan yönetmelikte kömür damarlarının ani püskürmeye (gaz-kömür degajı) yakınlıklarının değerlendirilmesi amacıyla bir madde bulunmakta ve bu riskin değerlendirilmesi için kömür damarlarının "gaz içeriklerinin" ve "kömürün desorpsiyon kapasitesinin" bilimsel bir yöntemle değerlendirilmesi hükme bağlanmıştır. Burada hangi sınır gaz içeriğinden sonra riskin oluşabileceği

ifade edilmediği gibi “*desorpsiyon kapasitesi*” diye literatürde bulunmayan ve fizik ilkelerine ters bir kavramın da yönetmeliğe girişi ilginçtir. Çeşitli ülkeler kendi şartlarına göre gaz değajı sınırlarını belirlemiş ve hatta riski değerlendirmek adına çeşitli indeksler geliştirmiş durumdadır [1]. Ayrıca, bir gazın desorpsiyon kapasitesi olamayacağı gibi ancak desorpsiyonun hızından bahsetmek mümkündür.

Ülkemizde yürürlükte olan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde yeraltı kömür ocaklarında zehirlenme, yangın ve patlama gibi önemli iş sağlığı ve güvenliği tehlikelerine yol açabilen kendiliğinden yanmaya yönelik olarak da çeşitli hükümler konulmuştur. Bu hükümlerde, kendiliğinden yanmaya elverişli ocaklarda tutuşmanın önlenmesi veya erken fark edilmesi için bekleme barajları da dahil olmak üzere gerekli tedbirlerin alınması gerektiği belirtilmiş ancak bu tedbirlerin ne olduğundan bahsedilmemiştir. Bu maddelere dayanılarak yeraltı ocaklarında çalışılan damarların kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarını gösteren bilimsel çalışmalar yapılması istenmektedir. Buan bağlı olarak da bir kömür ocağından alınan bir, bazen iki örnek üzerinde yapılan yatkınlık testleri ile kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının belirlenmesi gibi son derece yetersiz bir uygulama gelişmiştir. Zira sınırlı sayıda kömür örneğinin koca bir ocağı temsil edemeyeceği açıktır. Ayrıca ocak şartlarının laboratuvar ortamında temsil edilmesi neredeyse imkansızdır. Buna bağlı olarak gelişmiş madencilik ülkelerine bakıldığında kömürün kendiliğinden yanmasının ocaklarda erken farkedilmesi, önlenmesi ve gelişen olaylarda hangi yolların izleneceği gibi konularda detaylı standart ve uygulama dokümanları (code of practice) yayımlanmıştır.

Yeraltı ocaklarında çalışanların uygun şartlarda çalışmasını temin etmek havalandırma sisteminin önemli görevlerinden birisi ve yakından izlenmesi gereken bir diğer konu ise termal konfordur. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde buna yönelik olarak ocağın çeşitli kısımlarında sıcaklık ve nemin düzenli olarak ölçülmesi gerektiği hüküm altına alınmış olsa da hangi sıcaklık ve hangi tür nemin ölçüleceği konusunda bir bilgi bulunmamaktadır. Oysa bir ortamda termal koşulların ve efektif sıcaklığın tespit edilebilmesi için kuru ve yaş sıcaklıkların ölçülmesi yanında bağıl nemin de ölçülmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde havalandırma ile dolaylı ilişkili bir diğer konu ise kalıcı bekleme barajlarının dayanımıdır. Yönetmelikte bu konuya yönelik olarak bu barajların hava sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde kurulması ve ocak gazları yönünden sürekli kontrol altında bulundurulması hüküm altına alınmıştır. Ayrıca, bu barajların ne kadarlık bir patlama basıncına ya da hidrostatik basınca dayanıklı olacağına hesaplanması ve sağlık ve güvenlik dokümanına işlenmesi de hüküm altındadır. Ancak yönetmelikte ne barajların inşasında kullanılacak malzemelerin özellikleri ne de dayanımına yönelik olarak bir bilgiden bahsedilmemiştir. Bu durumda sanki barajların sadece var olması ve dayanımlarının hesaplanmış olması yeterli gibi görünmektedir. Oysa ki yönetmelikte barajlarla ilgili dayanım ve inşaa kriterlerinin net olarak ifade edilmesi tehlikelerin önlenmesi açısından önem arz etmektedir. Örneğin, ABD’de 2006 yılında Sago (Virginia) ve Darby (Kentucky) Ocaklarında yaşanan ve sırasıyla 12 ve 5 madencinin ölümü ile sonuçlanan patlamalar sebebiyle o zamanki mevzuata uygun malzeme ve dayanımda yapılan barajların yenilmesi nedeniyle deneysel bir yeraltı ocağında büyük bütçeli bir bilimsel araştırmanın sonucundaki bulgulara göre mevzuattaki baraj dayanım parametreleri değiştirilmiş ve net rakamlar ile barajların hangi durumlarda hangi basınçlara dayanması gerektiği hüküm altına alınmıştır [4].

Dünyanın önde gelen madencilik ülkelerinin maden mevzuatların ve oluşturulma biçimleri incelendiğinde bu konunun oldukça ciddiye alınan, bilimsel temellere dayanmayan değişikliklerden kaçınan ve en önemlisi tüm sektör paydaşlarının katılımı ve görüşleri ile şekillenen yasal değişiklikleri içermekte olduğu görülmektedir. Bu ülkelerde özellikle yaşanan facialardan dersler çıkarıldığı görülmekte, yapılacak değişikliklerin uzun süreli ve büyük bütçeli bilimsel faaliyetler ve tüm paydaşların katılımının sağlandığı tartışmalar sonucunda ortaya çıktığı kolayca anlaşılmaktadır.

## 5. OCAK HAVALANDIRMASINDA YAPILAN TEKNİK HATALAR ve ÖZENSİZ DAVRANIŞLAR

Yeraltı ocaklarında yapılan teknik hataların temelinde havalandırmanın ocak planlamasından ayrı bir iş gibi düşünülmesi yatmaktadır. Oysa havalandırma, ocak planlamasının tüm süreçlerinde eş zamanlı olarak düşünülmesi ve ocak faaliyete başladıktan sonra da yakından takip edilmesi gereken bir iştir. Ocakların faaliyetleri sırasında ortaya çıkan havalandırma kaynaklı sorunlar birçok durumda planlama aşamasında havalandırma ile ilgili yapılan hatalar nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Böylesi durumlarda ana fan seçimleri çoğunlukla hatalı yapılmakta, yasal yükümlülüklerin karşılanmasında zorluklar yaşanmakta, ocaklarda yetersiz havalandırma koşulları nedeniyle ciddi iş sağlığı ve güvenliği tehlikeleri yaşanabilmekte ve hatta üretim faaliyetlerinin sürdürülmesi bile tehlikeye girmektedir. Geri döndürülemez olacak olması nedeniyle havalandırma planlamasında yapılan hatalar çoğu zaman görmezden gelinmekte ya da inkar edilmekte ve hatta çalışmalar uygun olmayan koşullarda sürdürülmektedir.

Bir yeraltı ocağında doğru ve etkin bir havalandırma sisteminin planlaması ve uygulanabilmesi için havalandırma ile ilgilenen teknik personelin akışkanlar mekaniği ve ocak havalandırması ile ilgili temel kavramları ve prensipleri çok iyi özümsemiş olması elzemdir. Bu kapsamda teknik personel; zehirli/patlayıcı ocak gazlarının ve tozun özellikleri ve kontrolü, havalandırma ölçmeleri, sürekli izleme sistemleri, sensör verilerinin değerlendirilmesi, ocak yangını riskleri, kendiliğinden yanma, fanlar ile ana ve tali fan uygulamaları, kaçış ve kurtarma planlaması, ocak havalandırma ekonomisi ve ısı stresi yönetimi gibi birçok havalandırma uygulaması konularında yetkin olmalıdır. Bu noktada meslektaşların tecrübelerinden yararlanmak son derece faydalı olsa da “*doğru bilinen yanlışların*” sürdürülmemesi için tüm bilgi ve tecrübeler teknik personel tarafından daima sorgulanmalı, bilim ve mühendislik ilkelerinden ödün verilmemelidir.

Son yıllarda hayatımıza yoğun olarak giren havalandırma planlaması ve uygulamasına yönelik simülasyon yazılımlarının kullanılması her ne kadar teknik personelin işini kolaylaştırıyor gibi görünse de hem çalışan ocaklarda havalandırma sistemlerinin bu yazılımlarda hatalı modellenmesi hem de planlama aşamasında yapılan hatalar nedeniyle ciddi sorunlar oluşabilmektedir. Özellikle çalışan ocaklarda basınç farkı-hava miktarı (P-Q) ölçümleri yapılmadan oluşturulan modellerin mevcut ocağı doğru temsil etmesi neredeyse imkansızdır. Bu nedenle bu modellere göre yapılacak değişiklikler ve verilecek kararların da yanlış olması kaçınılmazdır.

Ülkemizdeki yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgili olarak en tehlikeli durumlara yol açan konu “*bir şey olmaz*” yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, bilimsel havalandırma ilkelerinin teknik personelin kendi yorumları ve tecrübesine göre kafasında oluşturduğu havalandırma algısına tercih edildiği ve birçok durumda büyük kazalara yol açan bir yaklaşımdır. Bilgi eksikliği ve aşırı özgüveni beraberinde getiren bu yaklaşım nedeniyle evrensel havalandırma prensipleri terk edilmekte ve kurallara uyulmamaktadır.

Ocaklarda çalışan teknik personelin havalandırma bilgi ve tecrübesinin artırılması yanında işçilerin de havalandırma sistemlerinin önemi, tehlikeler ve riskler konusunda etkin bir şekilde bilgilendirilmesi şarttır. İşçilerin bilgi ve görgüsünün artırılmadığı ocaklarda gürültü yapıyor diye tali fanların kapatıldığı, soğuk ortam yaratıyor diye fantüplerin ağızlarının büzüldüğü, zehirli/patlayıcı ortamlarda faaliyetlerin sürdürüldüğü durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu konuya yönelik olarak algının geliştirilmesi için ülkemizde ve dünyada yaşanan ve havalandırma kaynaklı faciaların masaya yatırılarak tartışılmasının etkili olabileceği düşünülmektedir.

## 6. HAVALANDIRMA EĞİTİMİ VE FARKINDALIĞIN ARTTIRILMASI

Yeraltı ocaklarında havalandırma, akışkanlar mekaniği, termodinamik, fizik, kimya, mekanik gibi birçok konuyla yakında alakalı ve her ne kadar basit olarak algılansa da bilgi ve tecrübe gerektiren zaman zaman anlaşılması güç bir konudur. Bu nedenle havalandırma ile ilgilenen teknik personelin çok çeşitli konularda bilgisinin, tecrübesinin ve farkındalığının artırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu noktada üniversite eğitiminin önemi büyüktür.

Gelişmiş madencilik ülkelerine ait yeraltı ocaklarında yaşanan havalandırma ile ilgili doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili kazaların sıklığının ve büyüklükleri bu tür kazaların ülkemizdeki sayısı, sıklığı ve büyüklüğü ile karşılaştırıldığında maden mühendisliği eğitiminin bu durumdaki payının sorgulanması kaçınılmazdır.

Ülkemizde çeşitli illerde bulunan 24 Maden Mühendisliği bölümü aktif olarak faaliyet göstermektedir. Son yıllarda dünyada olduğu gibi ülkemizde de madencilik çevreye olan olumsuz etkilerinden kaynaklı madencilik karşıtı düşüncelerin artması, sosyal medya etkisi ve ülkemizde yaşanan büyük çaplı maden kazalarının sıklığı nedeniyle bu 24 bölümden ODTÜ, İTÜ ve Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümleri dışındaki üniversitelerin büyük bir kısmına kaydolan öğrenci sayıları hızla azalmış hatta bazı üniversitelerin Maden Mühendisliği bölümleri kapanırken bir kısmını çok az sayıda öğrenci tercih etmiş ve büyük bir kısmına ise yerleşen öğrenci olmamıştır. Buna bağlı olarak çoğu üniversitenin Maden Mühendisliği bölümlerindeki öğretim üyesi sayısı ya kuruluşundan itibaren yetersiz sayıda kalmış ya da öğrencilerin tercih etmemesi nedeniyle bu bölümlere YÖK tarafından yeni öğretim üyesi kontenjanı verilmediği için öğretim üyesi sayılarında azalmalar yaşanmıştır.

Yukarıda sayılan sebeplerin dışında akademik olarak akademik yayın, proje vb. üretilmesinin görece olarak zor olduğu düşünülerek çoğu akademisyen kaya mekaniği, mekanizasyon, cevher hazırlama, maden ekonomisi gibi konulara yönelmiş ve bu durumda ocak havalandırması konusunda uzmanlaşmış akademik personelin sayısının azalması da kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca, buldukları bölge ve yöreler itibarıyla bölümler doğal olarak yakın çevredeki madencilik faaliyetlerine yönelmiş ve bu durum ise çalışmaların ve ilginin bazı bölümlerde açık işletmecilik, bazılarında mermer ve doğal taş madenciliği, bazılarında ise cevher hazırlama ve tesis tasarımı gibi konularda yoğunlaşmasına yol açmıştır. Endüstride olduğu gibi akademiye de havalandırmaya ilginin azalmasının bir sonucu olarak Maden Mühendisliği bölümlerinde havalandırma konusunun da geri planda kaldığı sonucu çıkarılabilir. Her ne kadar temel bir ders olması nedeniyle müfredatlarda bulunsun da madenlerde havalandırma dersinin rutin bir içeriğe sahip bir ders konumuna dönüşmüş olduğu ve hatta bu dersin çoğu durumda diğer konularda uzmanlaşmış akademik personel tarafından verilmek zorunda kaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak bölümlerinde havalandırma laboratuvarı ve teçhizatı bulunan bölümlerin ders içeriklerinde bile özellikle havalandırma ölçmeleri gibi pratik uygulamalara yönelik eksikliklerin bulunması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bunun yanında mühendislik eğitimi kapsamında alınması gereken ve havalandırma için büyük önem arz eden akışkanlar mekaniği ve termodinamik gibi derslerin genellikle konu itibarıyla İnşaat Mühendisliği ve Makine Mühendisliği Bölümlerinde görev alan akademik personel tarafından verilmesinin öğrencilerin bu konuların ocak havalandırması ile doğrudan ilişkili olduğunu çoğu zaman fark etmemelerine yol açtığı söylenebilir. Bunun sonucu olarak Maden Mühendisliği bölümlerindeki öğrencilerin havalandırmaya ilgilerinin azaldığı, temel kavram ve bilgi eksiklikleri nedeniyle çalışma hayatında da havalandırma konularından uzaklaşmaya devam ettikleri yazar tarafından gözlenmiştir. Son yıllarda bünyesinde çok sayıda maden mühendisi çalışan, maden mühendisi kamu görevlilerince sık denetim geçiren yeraltı ocaklarında yaşanan ve havalandırma ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkili kazalar havalandırma eğitimi konusunda eksikliklerimizin bulunduğu bir göstergesi olarak algılanmalıdır.

ABD, Kanada ve Avustralya gibi önemli madencilik faaliyetleri yürütülen gelişmiş ülkelere bakıldığında, toplum nazarında madencilik ile ilgili algının kötüleşmesinin hem öğrenci sayılarında hem de maden mühendisliği bölümlerinin sayısında bir azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bu ülkelerden Kanada ve ABD'de yıllık mezun sayıları 300 civarında iken Avustralya'da bu sayı 200'ler mertebesine gerilemiştir [6]. Havalandırma eğitimi açısından bakıldığında bu ülkelerde havalandırmaya yaklaşımın ve havalandırmaya verilen önemin büyük olduğu bu ülkelerin yeraltı ocaklarında havalandırma kaynaklı kazaların azlığı ile anlaşılmaktadır. Hatta havalandırma eğitimine öylesine önem verilmektedir ki örneğin Nevada Üniversitesi'nde bulunan ve güncellenmesi için özel bir firma tarafından 200.000 USD bütçeyle bulunan bir havalandırma laboratuvarında havalandırma ölçümlerinin tamamı pratik ve neredeyse gerçek ölçülerde gerçekleştirilebilmektedir [7].

Ülkemizde havalandırmaya olan ilgi ve farkındalığının azlığını tek başına üniversite eğitimine bağlamak uygun değildir. Zira aktif olarak yeraltı ocaklarında çalışan maden mühendislerinin de havalandırma konusunda eksikliklerinin tamamlanması ve havalandırma konusunda çalışmalar

yürütmelerinin hem meslek odalarınca hem de sektörece desteklenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kamu ya da özel sektörece düzenlenecek, desteklenecek ve konunun uzmanlarınca verilecek etkin ve uygulamalı havalandırma eğitimlerinin olumlu bir etki yapabileceği açıktır. Bunun yanında Türkiye’de yeraltı ocaklarında havalandırma konusunda kamu ve özel sektör tarafından desteklenecek uygulamaya yönelik bilimsel projelerin bu konuda önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## SONUÇ

Yeraltı ocaklarında havalandırma “*ocağın can damarı*” olarak nitelendirilebilecek ve uygun şekilde tasarlanmaz ve uygulanmaz ise diğer çalışmaların yapılmasını olanaksız kılan bir konudur. Bu anlamıyla yeraltı ocaklarında iş sağlığı ve güvenliğinin temini açısından oldukça önemli bir araç konumundadır. Türkiye’de yeraltı ocaklarında neredeyse düzenli denilebilecek sıklık ve büyüklükte yaşanan ve havalandırma ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili kazalar hem akademinin hem de madencilik sektörünün konuya yeterli ilgi göstermediğinin bir göstergesidir. Dünyada büyük ölçekli madencilik yapan gelişmiş ülkelerdeki durumlar ile karşılaştırıldığında bu çıkarım daha da önem kazanmaktadır. ABD, Avustralya, Kanada ve hatta Çin ile karşılaştırıldığında üretim miktarı açısından bu ülkelerin çok çok gerisinde olan ülkemizde yeraltı ocaklarında havalandırmaya bağlı kazaların ve ölümlerin sayısı korkutucu boyuttadır.

Ülkemizdeki bu durumun birbiriyle yakından ilişkili birçok sebebi olmakla beraber esasen bu sebeplerin tek tek ele alınmasından ziyade bir bütün olarak ele alınmaları gerekmektedir. Ocak havalandırması konusunda iyi yetişmemiş bir maden mühendisinin doğru bir havalandırma tasarımı yapamayacağı, bu nedenle ocaklardaki uygulamalarda hatalar yapılabileceği ve aksaklıkları çözmenin zor olacağı, havalandırma bilgisi ve tecrübesi eksik sektörün ve bürokratların oluşturacağı mevzuatların sorunlar içereceği, mevzuatların pratikte uygulanması sırasında sorunlar oluşacağı, anılan sebeplerle denetleme mekanizmasının etkili bir şekilde çalışamayacağı ve tüm bunların sonucu olarak kazaların önlenemeyeceği açıktır.

Özellikle mevzuat oluşturma sürecinde konun uzmanlarının bir araya gelerek havalandırmaya yönelik tüm mevzuat içeriğinin bilimsel temellere dayanan ve ülkenin şartlarını da göze alacak biçimde belirlenmesi, belirlenen içeriğin paydaşlarla mutlaka tartışılması ve ortak kabul görmesi esas olmalıdır. Mevzuatların muğlak/eksik/hatalı ve yoruma yol açacak maddeler içermesinden özellikle kaçınılmalı ifadeler net ve anlaşılır olmalıdır. Mevzuata konulacak maddelerin uygulanması sırasında pratikte ortaya çıkabilecek sonuçlar mutlaka detaylı olarak irdelenmelidir.

Ülkemizde madencilğe yönelik kamu kurumları ve özel sektör ocaklarında hazırlık, üretim, iş sağlığı ve güvenliği gibi konularda müdürlükler, başmühendislikler vb. gibi birimler ve kadrolar bulunuyor olsa da havalandırma ile ilgili birim ve kadrolar ya lağvedilmiş ya da hiç kurulmamıştır. Bu durumda havalandırma rutin bir iş gibi algılanmakta ve çoğu durumda uzmanlaşmamış mühendisler teslim edilmektedir. Bu ise yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgili birçok sorunun fark edilememesine, fark edilse bile bilgi ve tecrübe eksikliği nedeniyle “*nasıl olsa bir şey olmaz*” yaklaşımı ile önemsenmemesine yol açabilmektedir. Bu durumun düzeltilebilmesi için işletmelerde Havalandırma Daire Başkanlığı/Müdürlüğü gibi birimlerinin kurulması ve görevi sadece ocak havalandırması olan başkaca herhangi bir görevi olmayan teknik kadroların bu birimlerde istihdam edilmesinin çok yararlı olacağı düşünülmektedir. Buna yönelik olarak ülkemiz yeraltı ocaklarında “Havalandırma Mühendisi” kavramının yerleşmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu kavram sadece yeraltı ocaklarında değil bu ocakları denetleyecek kamu görevlileri için de geçerli olmalıdır. Yeraltı ocaklarını denetleyen kamu görevlilerinin kontrol etmesi gereken çok sayıda parametre olduğu göze alındığında bunun başarılması oldukça güç bir iş olduğu ve denetimlerin bu nedenle çoğu zaman etkin olmadığı söylenebilir. Buna yönelik olarak yeraltı ocaklarının sadece havalandırmaya yönelik olarak uzmanlaşmış denetim personeli tarafından denetlenmesi havalandırma ile ilgili problemlerin tespiti ve iyileştirilmesi açısından son derece faydalı olacaktır.

Yeraltı ocaklarında çalışacak maden mühendislerinin havalandırma konusunda yetiştirilmesi, konuya ilginin ve farkındalığın artırılması için üniversite eğitiminde havalandırmaya verilen önem

arttırılmalıdır. Buna yönelik olarak konuda uzmanlaşmış akademik personel sayısının artırılması hedeflenmelidir. Bunun yanında kamu ve özel sektörde çalışan mühendislerin havalandırma konularında bilgi, tecrübe ve ilgilerini arttırmaya yönelik eğitim ve uygulamalara önem verilmelidir. Ocaklarda havalandırma koşullarının iyileştirilmesine yönelik olarak uygulamaya dönük bilimsel projeler hem kamu hem de özel sektör tarafından desteklenmelidir.

Yeraltı ocaklarında havalandırmanın en etkin iş sağlığı ve güvenliği aracı olduğu unutulmamalı, bu konuya gereken önem verilmelidir. Aksi takdirde ülkemizde tecrübe edilen acı olayların tekrar tekrar yaşanacağı ve yeraltı madencilik sektörünün saygınlığını yitirmeye devam edeceği unutulmamalıdır. Bu bağlamda ülkemizdeki havalandırma algısının değiştirilmesi şarttır. Bu amaçla tüm paydaşların üstüne düşeni eksiksiz yapmaları gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] GÜNAY, E., SOYLU, A., FİŞNE, A., BARIŞ, K., “Yeraltı Maden Ocaklarında Hafife Alınan Bir İş Sağlığı ve Güvenliği Aracı: Havalandırma”, Uluslararası Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 12-13 Mayıs, Adana, Türkiye, 2022.
- [2] BRAKE, R. “Ventilation Challenges Facing The Metalliferous Sector, The Australian Mine Ventilation Conference, Australia, 2013.
- [3] ÇSGB., “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği”, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 19.09.2013 tarihli Resmi Gazete No:28770, 2013.
- [4] YILMAZ, O., BARIŞ, K., “A Numerical Approach to the Design Parameters of Permanent Stoppings (Seals and Bulkheads) in turkish Underground Coal Mines”, Arabian Journal of Geosciences, 11, 2018.
- [5] KAYMAKOĞLU, B., TOMBAL KARA T. D., “Türkiye’de Maden Mühendisliği Eğitimine İstatistiksel Bakış”, Bilimsel Madencilik Dergisi, 61(4), 2022.
- [6] BARIŞ, K. “Gelişmiş Ülkelerde Maden Mühendisliği Eğitimi”, 10. Maden Mühendisliği Eğitim Çalıştayı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Kasım 2019 (yayımlanmamış).
- [7] <https://www.unr.edu/nevada-today/news/2018/newmont-mine-lab>

## ÖZGEÇMİŞ

### Kemal BARIŞ

1977 yılı Ankara doğumludur. 2000 yılında ODTÜ Mühendislik Fakültesi Maden Bölümünü bitirmiştir. Zonguldak Karaelmas Üniversitesinden 2006 yılında Yüksek Mühendis ve 2010 yılında ise Doktor unvanını almıştır. 2002-2011 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 2011-2013 yılları arasında Yrd. Doç. ve 2013-2021 yılları arasında Doçent olarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesinde görev yapmıştır. Halen aynı üniversiteye bağlı Zonguldak Meslek Yüksekokulu Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır. Madenlerde havalandırma, kömür kökenli metan, kömürün kendiliğinden yanması, enerji ve enerji politikaları ile madencilik ve sürdürülebilirlik konularında çok sayıda ulusal ve uluslararası yayını ve çalışması bulunan araştırmacı bir yılı ABD’de, dört ayı Avustralya’da ve üç ayı da Almanya’da olmak üzere çeşitli ülkelerde araştırmacı bilim adamı olarak görev yapmıştır.





# KÖMÜR MADENLERİ İÇİN HAVALANDIRMA SİSTEM TASARIMI

*Design of Ventilation System for Coal Mine*

**Hüseyin Bulgurcu**

## ÖZET

Ülkemizde yıllar boyu kömür madenlerinde yaşanan facialar dikkatleri bu madenlerdeki ihmallere yöneltmiştir. Bu ihmallerin en önemli suçlusu kuşkusuz havalandırma sistemleridir. Maden havalandırma sistemlerinin tasarımı oldukça karmaşık bir süreç olup bu konuda hazırlanmış çeşitli yazılımlardan yararlanılmaktadır. Havalandırma sistemlerinin güncel mevzuata uygun olarak ve maden ocağının gelişmesine ayak uyduracak şekilde tasarlanması gereklidir. Havalandırma sistem tasarımı yanında bu sistemlerinin uygun şekilde işletimi ve bakımı da önemlidir. Bu çalışmada kömür madenleri için havalandırma sistemlerinin tasarımı, tipik maden havalandırma sistem çeşitleri ve tipik maden cihazlarının boyutlandırılması üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Maden havalandırması, Havalandırma tasarımı, Kömür madeni

## ABSTRACT

The disasters experienced in coal mines in our country for years have directed attention to the negligence in these mines. The most important culprit of these negligence is undoubtedly the ventilation systems. The design of mine ventilation systems is a very complex process and various software are used in this regard. Ventilation systems must be designed in accordance with current legislation and to keep up with the development of the mine. Besides ventilation system design, proper operation and maintenance of these systems is also important. In this study, the design of ventilation systems for coal mines, typical mine ventilation system types and sizing of typical mining devices are emphasized.

**Key Words:** Mine ventilation, Ventilation design, Ventilation operation

## 1. GİRİŞ

Maden havalandırması, yer altı maden ocaklarında; çalışan personelin ve çalışan makinelerin, güvenli ve rahat çalışmalarını için yapılan temel işlemlerden biridir.

Havalandırma işlemi yer altında; ocak sıcaklığını en uygun seviyeye ayarlamak, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, CH<sub>4</sub> gibi zararlı gazların derişikliğini, yönetmeliklerle belirlenmiş sınır değerler altında tutmak ve dışarı atmak, çalışan personel ve makineler için gereken oksijeni temin etmek için yapılmaktadır.

Türkiye'de, Maden ve Taş Ocakların İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İş Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzüğü'nün 162. maddesi gereğince %19'dan az O<sub>2</sub>, %2'den çok CH<sub>4</sub>, %0,5'ten çok CO<sub>2</sub> ve diğer tehlikeli gazlar bulunan yerlerde çalışılması yasaklanmıştır [1]. Yine aynı

tüzüğü'nün 161. maddesi gereğince maksimum hava hızı 8 m/s olarak belirlenmiştir. Bu amaçla galerilerden geçecek hava miktarını ayarlamak için yer yer hava kapıları, hava perdeleri, hava köprüleri gibi yöntemlere başvurulmaktadır.

Maden havalandırma yöntemleri doğal ve mekanik olarak sınıflandırılır. Ancak sınırlı uygulanabilirliği ve yetersizliği nedeniyle doğal havalandırma kesinlikle tavsiye edilmez. Mekanik havalandırma; yer altı maden ocaklarında, vantilatörler yardımıyla yapılan havalandırma yöntemidir. Bu işlem "aksiyal" ve "radyal" fanlar yardımıyla gerçekleştirilir. Bunlar emici, üfleyici hem emici hem üfleyici olarak çalıştırılabilirler [2].

## 2. MADEN HAVALANDIRMA TASARIMI

Havalandırma, hava akışı kontrolü, yönü ve miktarı olarak tanımlanabilir. Havalandırma, faaliyetin üretim bölümünü doğrudan etkilemese de genellikle düşük personel çalışma oranı ve düşük maden verimliliği, artan potansiyel tehlike durumları ve düşük işçi motivasyonu ve şevki, uygun olmayan havalandırmanın sonuçlarıdır. Hava solunması için ve ayrıca gazlar, toz, ısı ve nem gibi kimyasal ve fiziksel kirleticilerin yayılması için gereklidir.

Maden üretiminin güvenli bir şekilde sağlanması için yer altı madenlerinin havalandırılması hayati önem taşımaktadır. Herhangi bir havalandırma sisteminin açık ve anlaşılır temelleri vardır: yeterli miktarda ve kalitede hava akışı sağlamanın bir sonucu olarak yeterli oksijen sağlamak ve güvenli kirletici konsantrasyonları elde etmek ve onları madenden uzaklaştırmak. Bu temel unsurlar tüm ülkelerin hukukunda düzenlenmiştir; ancak, miktar ve kalite gereklilikleri, havalandırılan durumun yanı sıra birkaç faktöre bağlı olarak farklı ülkelerde önemli ölçüde değişebilir: metalli, endüstriyel mineraller, kömür veya gazlı/gazsız.

Genel gereklilik, madencilerin güvenli ve sağlıklı bir ortamda çalışabilmeleri, yaşayabilmeleri ve hareket edebilmeleri ve tatmin edici bir konfora sahip olmalarıdır. Havalandırma, insan müdahalesinin gerekmediği veya mümkün olmadığı durumlarda da kullanılabilir. Yine de makineleri çalıştırmak ve soğutmak veya yanma süreçlerine oksijen sağlamak için uygun ve yeterli oksijen kaynağı gereklidir.

### 2.1 Maden Havalandırma Fanları

Hava akışı, yeraltındaki atmosfer koşullarını kontrol etmenin birincil tekniğidir. Doğal havalandırmanın hava yoğunluğu değişiklikleri modern taş ocaklarında bir miktar hava akışı sağlayabilse de genellikle madenlerdeki hava akışı fanlar tarafından üretilir. Ana fanlar, tüm maden hava akışını (tek başına veya birlikte) sağlar ve sıklıkla yüzeyde bulunur; ancak birkaç madende yer altına yerleştirilmiştir. Bazı bölgelerdeki yasa ve mevzuat, ana maden fanlarının yalnızca yüzeye yerleştirilmesini gerektirebilir ve bazı durumlarda tersine çevrilebilir olması gerekebilir. Ana fanlar genellikle bir madende tüm hava akışını sağlarken, havanın daha uç mekanlarda sirkülasyonu için hava akışının enerjisini artırmak için madenlerdeki diğer fanları kullanabiliriz. Bunlara güçlendirici (booster) fanlar denir ve genellikle madenin belirli alanlarını yönetirler.

Maden geliştirme başlıklarında, tek girişten dolayı bir havalandırma akışı mümkün olmayabilir. Bu durumlar için hava için bir giriş ve dönüş yolu geliştirilmelidir. Modern madencilikte bu, genellikle kör girişleri havalandırmak için havayı kanallardan akmaya iten yardımcı fanlar kullanılarak gerçekleştirilir. Alternatifler, örgü kumaş kanal kullanımını içerir ve bazı durumlarda jet fanları, regülatörler, durdurucular, hava kapıları, tıkaçlar ve hava geçişleri hava akışının yayılmasını kontrol eder. Maden havalandırma amaçlarına ulaşmak için hava akışı çok önemli bir teknik olsa da bazı durumlarda talep edilen hava akışı ekonomik madencilik için çok maliyetli olabilir. Bu gibi durumlarda, havalandırma sistemi üzerindeki yükü azaltmak için başka kontrol teknolojileri kullanılabilir. [3]. Bu teknikler metan drenajı, ısıtma ve soğutma sistemleri, toz bastırma sistemleri ve diğer farklı kontrol ve izleme sistemlerini içerir [4].

## 2.2 Maden Havalandırma Teorisi

Akışkanlar mekaniği ve termodinamik, maden havalandırma teorisinin iki temelidir, özellikle Bernoulli denklemi, boru sürtünme basıncı düşüşü için Chezy-Darcy yasası ve sabit akışlı enerji denklemi. Atkinson (1854) tarafından geliştirilen ve bugün hala kullanımda olan bağıntı maden havalandırma teorisinin temelini oluşturur. Akışkanlar mekaniğinin temelini kullanarak ve birkaç basitleştirici önermeyi göz önünde bulundurarak, şu anda modern madenlerde havalandırma ve havalandırma tasarım yazılımı teorisinin temeli olan birkaç ilişki türetmiştir. Bu yaklaşım sıkıştırılmazlık varsayımına dayanmaktadır; ancak kullandığımız Ventsim tasarımında, sıkıştırılabilir sıvılara da sahip olabiliriz. Son madenler daha derine doğru hareket ettikçe, bu ön kabul genellikle havanın yoğunluğundaki değişiklikler nedeniyle geçersiz hale gelir. Yükseklik ve sıcaklıktaki değişimler nedeniyle yoğunluktaki değişikliklerin %5'ten fazla olduğu durumlarda, sıkıştırılmazlık varsayımı zayıflar ve dikkate alınmamalıdır [4]. Madenin ömrü boyunca yeterli havalandırmayı sürdürmek için dikkatli bir ileri havalandırma tasarımına sahip olmak gereklidir. Gelişmiş havalandırma, iki temel parametrenin dikkate alınmasını içerir: maden fanlarının basıncı ve havanın toplam hacimsel debisi ve bunun yeterli ve ekonomik yayılması [5].

## 2.3 Maden Hava Yolu Direnci (Atkinson Yasası)

Fransız hidrolik mühendislerinin (Chezy ve Darcy) çalışmaları, Atkinson denkleminin temelidir. Chezy-Darcy çalışmaları bir boru için müteakip denklemi ifade eder [6]

$$P = fL \frac{Çevre}{A} \rho \frac{u^2}{2} \quad (1)$$

Burada:

$P$  = Kanalın basınç düşüşü (Pa),

$f$  = Kanalın sürtünme katsayısı,

$L$  = Kanal uzunluğu (m),

$Çevre$  = Kanalın çevresi (m),

$A$  = borunun kesit alanı ( $m^2$ ),

$\rho$  = sıvının yoğunluğu ( $kg/m^3$ ),

$u$  = sıvının hızı (m/s),

Tamamen gelişmiş türbülanslı akış için, Atkinson sabit sürtünme katsayısı varsayıyordu. Ayrıca, başka bir varsayım olarak havanın yoğunluğu düzenliyi, Atkinson sürtünme faktörü,  $k$  ( $kg/m^3$ ) sabitlerin tek bir düşüncede birleşimidir,

$$K = \frac{f \rho}{2} \quad (2)$$

Yerine konursa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$P = KL \frac{Çevre}{A} u^2 \quad (3)$$

Bu denklem Atkinson denklemi olarak tanınır ve hava akış hızı hacmi  $Q$  ( $m^3/s$ ) cinsinden yazılabilir, burada  $Q = U.A$ ,

$$P = KL \frac{Çevre}{A^3} Q^2 \quad (4)$$

Herhangi bir hava yolu için çevre, uzunluk  $L$  ve enine kesit alanı  $A$ , bilinir. Yoğunluğa bağımlılığı göz ardı edersek, tam gelişmiş türbülanslı akış için sürtünme faktörü yalnızca hava yolu kaplamasının pürüzlülüğü ile değişir. Bu nedenle, tek bir değişken veya karakteristik sayı olan  $R$ 'yi elde etmek için, tüm bu faktörler söz konusu hava yolu için toplanabilir; burada  $R$ , hava yolu direnci olarak bilinir.

$$R = KL \frac{Çevre}{A^3} \quad (5)$$

O zaman maden havalandırmasının kare yasasını elde edebiliriz:

$$P = RQ^2 \quad (6)$$

Burada:

$P$  = hava yolu boyunca basınç (Pa)

$R = \text{Atkinson direnci } (Ns^2/m^8)$

$Q = \text{hava miktarı veya akış hızı } (m^3/s)$

bu denklem yoğunluğun daha önce tartışıldığı gibi sabit olduğunu varsayar; düzenli olarak standart hava yoğunluğunun  $1,2 (kg/m^3)$  olduğu varsayılır. Tablolarda belirtilen R değerleri tipik olarak bu değere atıfta bulunur. Diğer hava yoğunlukları için,  $\rho$ , sürtünme basıncı düşüşünü ve direnci elde etmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$P = k_s L \frac{\rho_{\text{evre}}}{A^3} Q^2 \frac{\rho}{1,2} \quad (7)$$

$$R = k_s L \frac{\rho_{\text{evre}}}{A^3} \frac{\rho}{1,2} \quad (8)$$

Burada  $k_s=1,2 kg/m^3$  hava yoğunluğunda elde edilen sürtünme faktörüdür.

Bu hesaplamalardan, yer altı açıklık pürüzlülük derecesinin ( $k_s$ ) Atkinson direnci ve bu açıklıktan hava akışı maliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır. Ayrıca hava akışı ile kaya arasındaki ısı transfer oranını da doğrudan etkiler.  $k_s$  (sürtünme faktörü), ayrıntıları McPherson'da (1993) bulunabilen çeşitli yollarla belirlenebilir:

- Benzer havalandırma hava yollarına benzetilerek,
- Doğrudan ölçümle.
- Tasarım tablolarından.
- Geometrik verilerden.

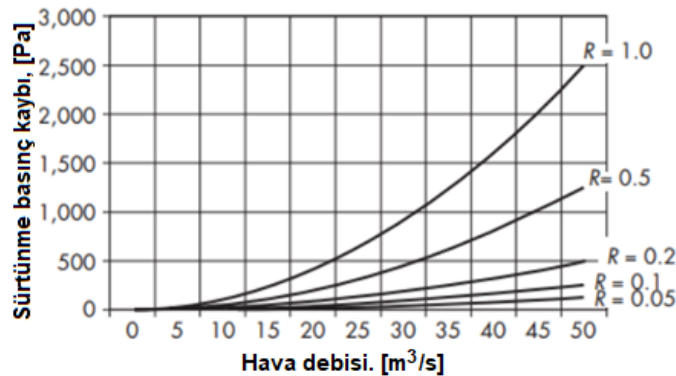
Havalandırma mühendisliğindeki en önemli kavramlardan biri hava yolu direncidir. Maden havalandırma kare yasası şunları belirtir:

$$P = RQ^2 \quad (9)$$

Yukarıdaki denklem, direncin, belirli bir hava yoğunluğunda sürtünme basıncı düşüşü ( $p$ ) ile hava akış hızının ( $Q$ ) karesi arasında bir orantı sabiti olduğunu göstermektedir. Şekil 1'de görülebilen bir  $p$ ,  $Q$  grafiği üzerindeki grafiğin parabolik formu, hava yolu direncinin eğrisi olarak tanımlanır.

Herhangi bir hava akımını bir hava yolundan geçirmenin maliyeti, doğrudan hava yolu direncine göre değişir. Fiyat, hava gücü= $P.Q$  kullanılarak veya  $p=RQ^2$  dikkate alınarak, hava gücü= $RQ^3$ 'e yol açan bir hava yolunda kullanılan hava gücü tarafından değerlendirilebilir.

Elektriğin kilovat saat başına sabit bir maliyeti olduğunu varsayarsak, o zaman basitçe bir hava yolunu havalandırmak için gereken fiyatı elde edebiliriz. Ayrıca bu denklem, belirli bir rotada hava debisini ikiye katlamanın, hava gücünü çoğaltma sonucunu doğrudan temsil eder; dolayısıyla, havalandırma maliyeti 8 kat olacaktır [4].



Şekil 1. Maden hava yolu direnci [7].

Tablo 1. Çeşitli madencilik durumları için sürtünme faktörleri ( $1,2 kg/m^3$  hava yoğunluğu için) [7]

Hava Yolu/Kanal Tipi	Sürtünme faktör k, $kg/m^3$	Hava Yolu/Kanal Tipi	Sürtünme faktör k, $kg/m^3$
<b>Dikdörtgen hava yolları</b>		<b>Şaftlar</b>	
Pürüzsüz beton astarlı	0.004	Düz çizgili, engelsiz	0,003
Püskürtme beton	0.0055	Tuğla kaplı, engelsiz	0,004
Astarsız, sadece küçük düzensizlikler	0,009	Beton kaplı, halat kılavuzları, boru bağlantı parçaları	0,0065
Duvar veya beton duvarlardaki kırımlar	0,0095	Tuğla kaplı, halat kılavuzları, boru bağ. parçaları	0,0075
Astarsız, tipik koşullar, düzensizlikler önemli değil	0.012	Astarsız, iyi kesilmiş yüzey	0,01
Astarsız, düzensiz kenarlar	0,014	Astarsız, büyük düzensizlikleri giderilmiş	0,012
Astarsız, pürüzlü veya düzensiz koşullar	0,016	Astarsız, file civatalı	0,014
Yan desteklerdeki kırımlar	0,019	Kiremit astarlı, iki yan buntun	0,018
Pürüzlü kenarlı eğimli basamaklı zemin, korkuluklar	0.04	Hortum astarlı, bağlantı parçası yok	0,007–0,014
<b>Çelik kemerli hava yolları</b>		Her biri bağ kırımlı iki yan buntun	0,022
Her yönden pürüzsüz beton	0,004	<b>Çelik konveyörlü ve motorlu desteklere sahip uzun ayak yüzü</b>	
Çepeçevre kemerler arası tuğla	0.006	İyi koşullar, pürüzsüz duvar	0,035
Beton levhalar veya kereste gecikmesi çepeçevre flanşlar arasında	0,0075	Tipik koşullar, konveyörde kömür	0,05
Levhalar veya yaya kadar flanşlar arasında kalan kereste	0.009	Zorlu koşullar, düzensiz ön yüz	0,06
Kemerlerin gerisinde kalan	0.012	<b>Havalandırma kanalı</b>	
Kemerler kötü hizalanmış, zorlu koşullar	0,016	Katlanabilir kumaş kanal (basma sistemi)	0,0037
		Tamamen gerilmiş spiral ile esnek kanal	0,011
		Fiberglas	0,0024
		Spiral sargılı galvanizli çelik	0,0021

## 2.4 Yerel (Şok) Kayıpları

Yukarıda açıklanan kuramsal bağıntılar bir hava yolu için sürtünme basıncı kaybının nasıl hesaplanabileceğini ifade eder. Ayrıca, yerel kayıplar olarak adlandırılan başka enerji kayıpları da meydana gelebilir. Hava akımının farklı bir yöne dönmesi gerektiğinde yeni çalkantılı girdaplar kurulur. Bunlar yayıldıkça gücü kullanır ve hava yolu direnci önemli ölçüde artabilir. Kayıplar; kavşaklar, dirsekler, engeller ve düzenleyiciler nedeniyle kesit değişimlerinde ve madene giriş/çıkış noktalarında meydana gelmektedir [4].

Şok kayıplarının etkileri, direnci etkileyen tüm faktörlerin en belirsiz olanıdır. Şok kayıplarından kaynaklanan ek direncin değerlendirilmesi iki teknikle değerlendirilebilir. Bir şok kaybından kaynaklanan basınç kaybı, bir şok basınç kaybı veya  $P_{şok}$  olarak temsil edilebilir:

$$P_{şok} = X \rho (u^2/2) \quad (10)$$

Burada:

$X$  = şok kayıp faktörü,

$\rho$  = hava yoğunluğu (tipik olarak  $1,2 \text{ kg/m}^3$ ) ve

$u$  = havanın hızı (m/s).

Bu, kare yasası ile bir şok kaybı direncine dönüştürülebilir,  $R_{şok}$ :

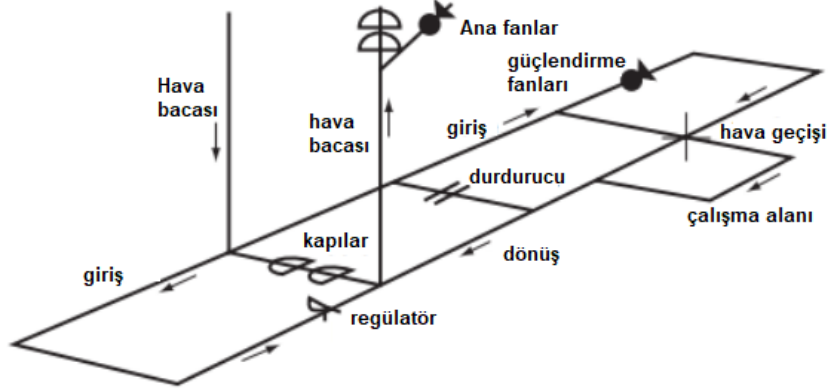
$$R_{şok} = R_s = \left( X \rho / 2A^2 \right) \quad (11)$$

## 2.5 Maden Havalandırma Sistemleri

Jeolojisi, geometrisi/yerleşimi, kapsamı/boyutu ve kirleticileri açısından her yeraltı madeni benzersizdir. Bu nedenle, maden çalışmalarını oluşturan hava yollarındaki hava akışları ve basınç düşüşü de oldukça değişkendir. Ancak, tüm havalandırma sistemlerinin belirli özellikleri bazı ortak noktalara sahiptir ve havalandırma sistemleri ve alt sistem sınıflandırmaları tanınabilir. Mevcut ve sonraki bölümün amacı, yer altı havalandırma sistemlerinin gerekli kriterlerini tartışmak, havalandırma altyapısının kritik bileşenlerini belirlemek ve ayrıca havalandırma mühendislerinin bazı teknik

terimlerini sunmaktadır. İyi yapılmış bir havalandırma sistemi uyarlanabilir, ekonomik, yeterli ve esnek olmalıdır [5]. Havalandırma sistemleri genel olarak takımlar halinde şu şekilde konulabilir:

- Maden sistemleri
- Bölge sistemleri
- Yardımcı havalandırma sistemleri



Şekil 2. Basit maden havalandırma sistemi [7].

Yukarıdaki şekil, birincil ve basit bir sistem düzenini ve kullanılabilir bazı havalandırma kontrol cihazlarını gösteren açıklayıcı bir maden havalandırma sistemini açıklamaktadır. Yukarıdaki şekil aşağıdakileri göstermektedir:

- Taze hava, şaftlar veya diğer yüzey bağlantıları yoluyla girer.
- Kirleticilerin çoğu buraya eklenir.
- Hava, giriş havası yollarından çalışma alanlarına doğru akar.
- Kirletilmiş hava, dönüş havası yollarından sistem boyunca geri döner.
- Dönüş havası, yukarı döküm miller veya diğer yüzey dönüş bağlantıları yoluyla yüzeye doğru akar.

Bununla birlikte, havalandırma bu şematik açıklamadan daha karmaşıktır. Hava, çoğu sıvı gibi, bir noktadan diğerine daha düşük dirençli rotayı izlemeye çalışacak ve havalandırma gerektiren alanlara giden rota genellikle yüksek dirençli bir rota boyunca uzanır. Havanın ihtiyaç duyulan yerlere ulaştırılabilmesi için hava akımı kontrol cihazlarına ihtiyaç vardır. Bunlar iki ana kategoriye ayrılabilir: havaya enerji ekleyerek onu gereken yere yönlendiren aktif cihazlar veya havayı başka yollardan geçmeye ikna etmek için akış yollarına direnç ekleyen pasif cihazlar. Aktif cihazların örnekleri arasında ana fanlar ve yardımcı fanlar bulunur. Pasif cihazların örnekleri, direnç ekleyerek basınç düşüşünü artıran hava geçişlerini, durdurmaları, hava kapılarını, regülatörleri ve contaları içerir. Her iki tip de sonraki bölümlerde tartışılmaktadır [4].

Alman kömür madenciliği endüstrisinin Madenler Yönetmeliğinde havanın şartlandırılmasına göre, yer altı operasyonları için yerinde çalışma saatleri için 25 °C'ye kadar etkin sıcaklıklarda herhangi bir kısıtlama yoktur. Çalışma saatleri, daha yüksek efektif sıcaklıklarda vardiya başına ortalama sekiz saat seviyesinden vardiya başına altı veya beş saate düşürülür. 30 °C'lik yeterli bir sıcaklığın üzerinde, yeraltında çalışmaya yalnızca istisnai durumlarda izin verilir. Ayrıca, 32 °C'nin üzerindeki etkili sıcaklıklarda tamamen yasaklanmıştır.

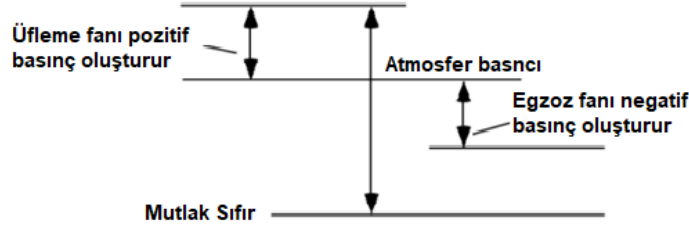
Solunum için gerekli hava miktarları (her bir işçi için)

- Grizu miktarı çok az olan ocaklarda : 60-120 m<sup>3</sup>/h
- Grizu miktarı orta seviyede olan ocaklarda : 180-360 m<sup>3</sup>/h
- Grizu miktarı yüksek seviyeli ocaklarda : 1200-1500 m<sup>3</sup>/h

## 2.6 Fan Yerleşimleri

Fan konumları ve hava akımı yolu ile ilgili olarak, üç havalandırma sistemi vardır: maden fanının dönüş havası şaftının üstüne yerleştirildiği egzoz (çekme) sistemi; üfleme (itme) sistemi, maden fanı

giriş havası miline yerleştirilmiş ve hem giriş hem de dönüş hava millerinde fanlar bulunan kombine sistem (itme-çekme). Bu sadece ana havalandırma sistemlerini işaret eder; yerel kuruluşlar, örneğin operasyonel bir ortam için bir yüz havalandırma sistemi, merkezi sistemden farklı olabilir. Spesifik plana bağlı olarak, madenin basıncı negatif (fan tasarımı bir emiş oluşturduğundan, maden basıncını atmosferik referans noktasından daha az koyarak egzoz sistemi) veya pozitif (üfleme yaklaşımı) olabilir. Bunun nedeni, Şekil 3'te gösterildiği gibi maden basıncının atmosferik basınca göre değerlendirilmesidir:



**Şekil 3.** Üfleme sistemi için madenin pozitif basıncını ve egzoz yaklaşımı için madenin negatif basıncını gösteren diyagram [5].

## 2.7 Hava Akımı Yönü

Hava akımı yönü, ana fanın konumundan etkilenir ve bu da çalışma veya nakliyenin diğer taraflarını önemli ölçüde etkiler. Bir yandan, tropik olmayan sistem, hava akımının ve taşınan kayanın ters yönlerde hareket ettiği sistemdir, bu da maden taşımacılığının hava giriş yollarında gerçekleştirildiğini ima eder. Bu, toz ve diğer dumanların çok aşırı olmaması için hava giriş yollarındaki hava hızlarına sınırlamalar getirme eğilimini gösterir. Öte yandan, tropik sistem, hava akımının ve çıkarılan kayanın aynı yönde aktarıldığı veya nakliyenin dönüş hava yollarında gerçekleştirildiği sistemdir. Bu sistem, kırılmış kayadan gelen toz, ısı ve diğer kirleticilerin doğrudan dışarıya atılmasını sağlayacaktır. Ayrıca nakliye yolunda yangınla karşılaşma durumunda da bu sistem avantajlıdır. Hava akımı yönündeki diğer bir unsur da hava yolunun eğimidir. Hava akımının eğimli yapılarla yukarı doğru itilmesi, buna yükselen havalandırma denir [5].

## 2.8 Havalandırma Planlama/Tasarım

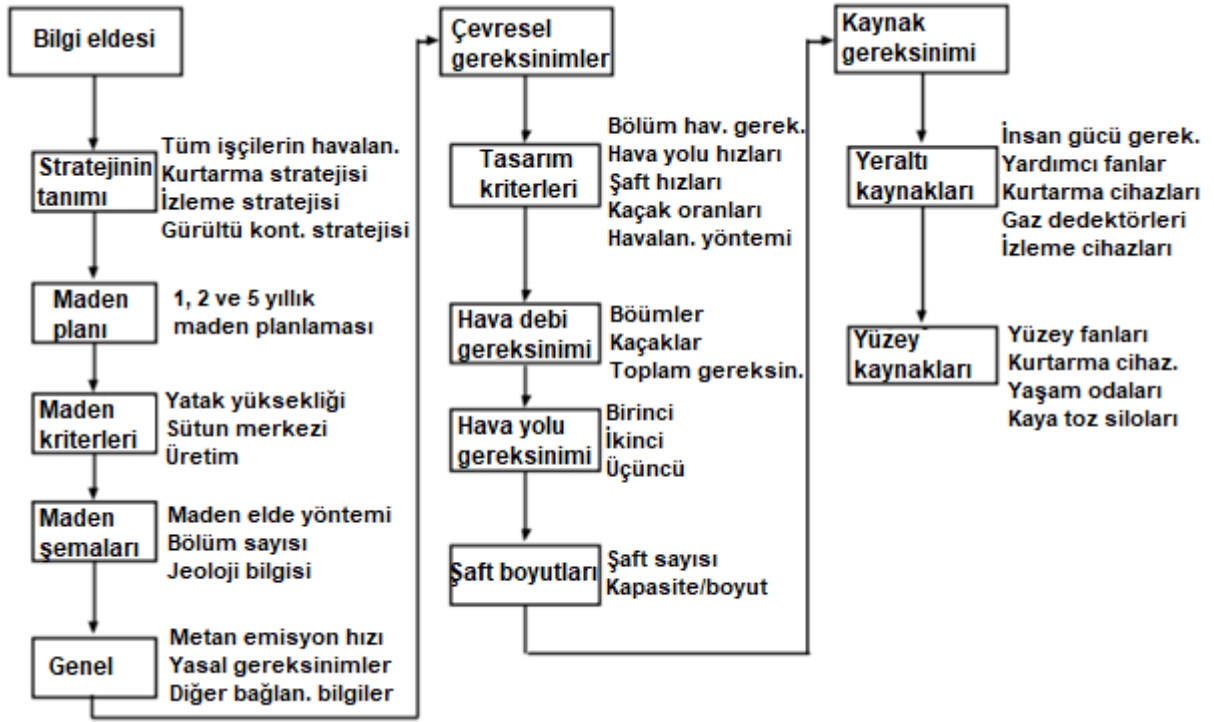
Havalandırma tasarımının nihai amacı, tüm operasyonel yüzleri, hava yollarını ve yer altı ortamlarını en az masrafla uygun şekilde havalandırabilecek bir sistem planlamaktır. Uygun bir maden havalandırma sistemi her zaman, hala alternatifleri olması gereken maden tasarımının ilk geliştirilmesiyle başlar. Şekil 4, yeni bir yeraltı madeni tasarlamak için birincil modeli göstermektedir. Nihai bir havalandırma planlama şemasına giren birçok faktöre rağmen, dikkate alınan tüm öğeler arasında sürtünme ve şok kayıplarının en aza indirilmesi en baskın iki tanesidir.

### 2.8.1 Sürtünme Kayıplarının Azaltılması

Denklemden:

$$R = \frac{K P L}{5,2 A^3 N^3} \quad (12)$$

K, P ve L'yi azaltabilecek ve A ve N'yi geliştirebilecek herhangi bir şey, R'yi azaltacak ve pratik ve uygulanabilir kısıtlamalar olacağını algılayarak daha düşük toplam havalandırma basıncına sahip olma açısından sonunda masrafları azaltacaktır.



Şekil 4. Yeni bir maden planlanırken dikkate alınan faktörler [5].

### 2.8.2 Şok Kayıplarını Azaltılması

Yeraltındaki tüm yaralanmaların %30'a kadarı şok kayıplarından kaynaklandığından, masrafları azaltmak için şok kayıplarının azaltılması gerekir. denklemden:

$$H_x = X H_v \quad (13)$$

Bu amaca ulaşıldığında, verilen hava hızı için şok kayıp faktörü X'in azaltılacağı açıktır. Bu, köşeleri yuvarlayarak, beklenmedik hava hızı ve hava akımı yönü değişikliklerinden uzak durarak vb. başarılabilir. [5]

## 3. YERALTI MADENCİLİĞİNDE TİPİK MADEN HAVALANDIRMA DEVRELERİ

### 3.1 Gazlı Madenleri Güvenli Hale Getirmek İçin Havalandırma Tasarım Kriterleri

- NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> gibi zehirli gazları seyreltir ve uzaklaştırır.
- Tozları ve zararlı gazları giderir.
- Madendeki sıcaklığı düzenler.
- Dizel motorlardan, patlayıcılardan ve cevher kütlelerinden gazları çıkarır.
- Çalışanların düzgün nefes almasını sağlar.
- Hava veya mevsim ne olursa olsun yeterli havalandırma akışı olmasını sağlar.
- Özellikle patlama dumanlarını verimli bir şekilde temizlemeye yardımcı olur.

### 3.2 Yüz Havalandırması

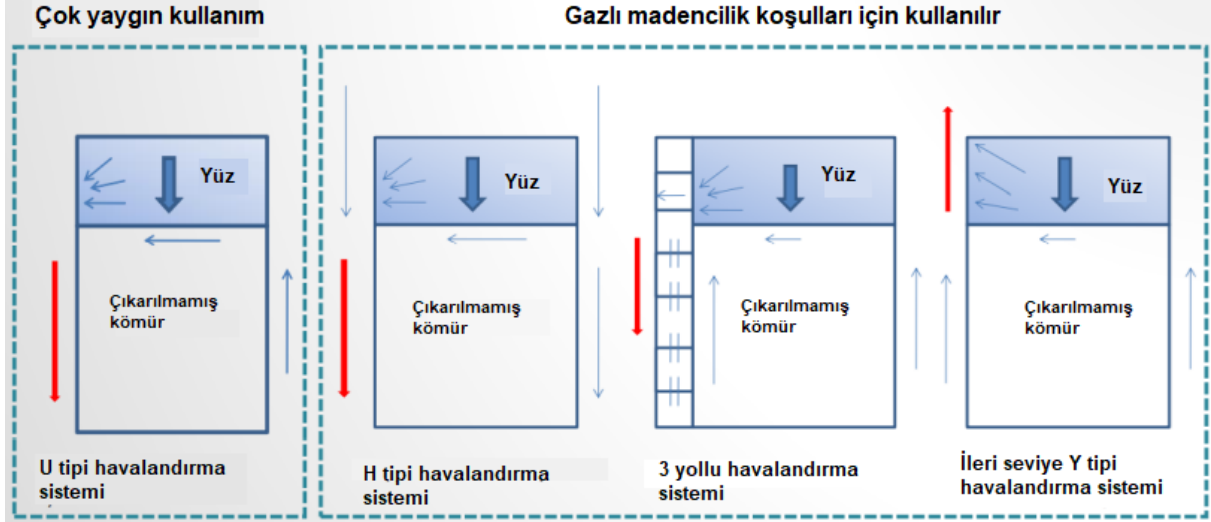
Yüzeyde yüksek seviyeli hız:

- Gaz için tatmin edici
- Toz için yetersiz



Yüzeyde düşük seviyeli hız:

- Gaz için yetersiz
- Toz [8] için tatmin edici

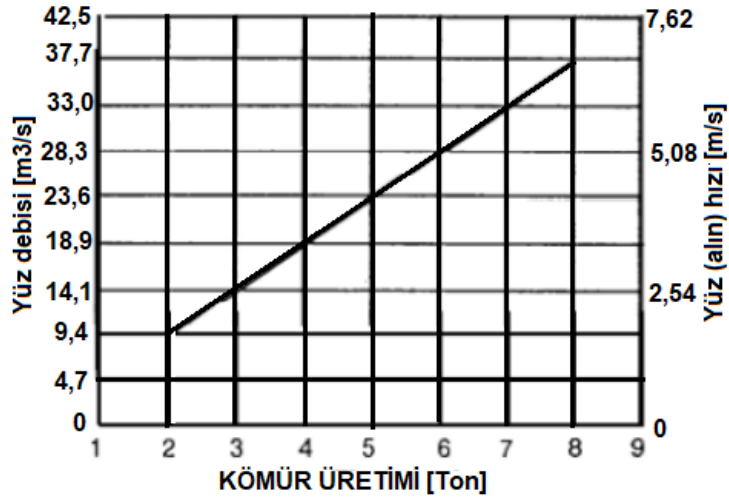


Şekil 5. Farklı tipte havalandırma sistemleri [9].

### 3.3 Toz Taşınmasını En Aza İndirmek İçin Hava Akışı Kontrolü

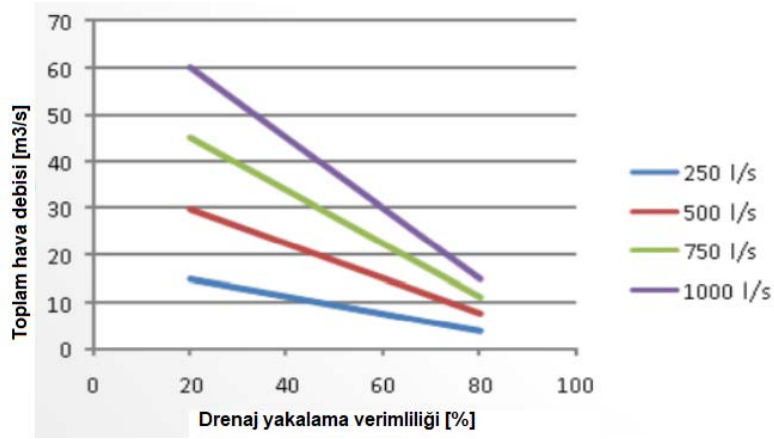
#### 3.3.1 Havadaki Toz Konsantrasyonu ile İlgili Düzenlemeler

- $1 \text{ mg/m}^3$  idi.
- 2016'da  $0,5 \text{ mg/m}^3$  oldu [4].

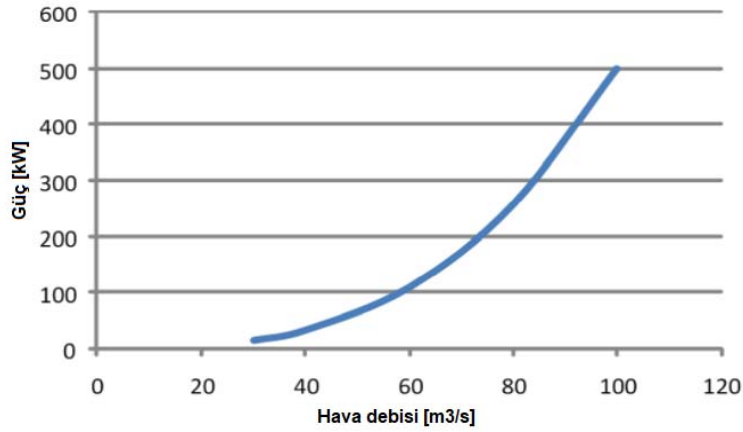


Şekil 6. Yüzde üretim kütlesi başına gerekli hava akışları [9].

Hava akışının hesaplanması aşağıdaki grafikten yapılabilir.



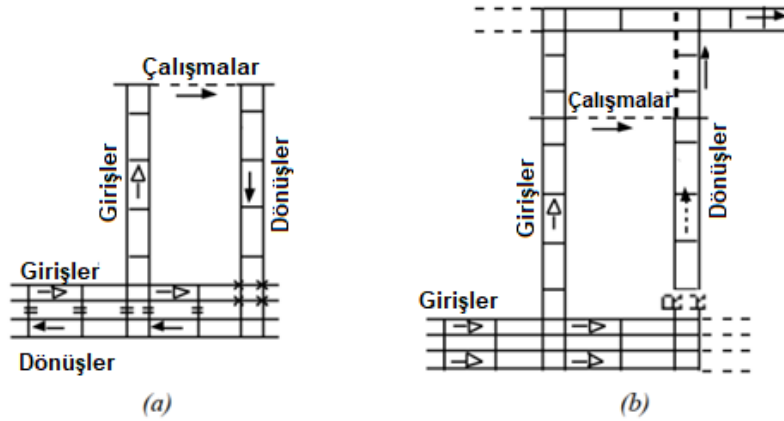
Şekil 7. Uzun ayak metan emisyonlarını %2'ye seyreltmek için gereken hava akışları [4].



Şekil 8. Havalandırma havası için güç gereksinimleri örneği [4].

Hava her zaman en az dirençli yoldan geçer; ancak, kullanım için gerekli olan yerde olmayabilir. Havanın gerektiği yerde iletilmesi için havalandırma cihazları gereklidir; tüm yapı için hava akışını sağlamak ve yönetmek için gerekli araçlar fanlardır. Ayrıca yeraltında başarılı hava dağılımı için başka birkaç kontrol planı da gereklidir.

Herhangi bir havalandırma sisteminin amacı iki yönlüdür. Bir yandan, birincil havalandırma, havayı merkezi hava yolları aracılığıyla çalışma yüzeylerinden çalışma alanına yönlendirmeli, böylece yüzün havalandırılması için taze hava sağlamalı ve ardından kirli havayı dönüş havası yolları aracılığıyla çalışma alanına geri göndermelidir. Atmosfer. Öte yandan, çalışma yüzeyini temizlemek, tozu yakalamak ve ortadan kaldırmak ve varsa gazı azaltmak ve uzaklaştırmak için acil çalışma bölgesinde mevcut olan havayı verimli bir şekilde kullanmak için alın havalandırma sisteminin taslağı çizilmelidir. Madenin türüne ve yerel jeolojik yapıya bağlı olarak, havalandırma düzenleri iki geniş gruba ayrılabilir; 1. bir U-tüp düzenlemesi veya 2. içinden akışlı bir sistem. Şekil 9 a, havanın çalışma alanından geçtiği ve ardından bitişik hava yollarından geri geldiği birincil U-tüp düzenlemesini göstermektedir. Genellikle, uzun sütunlar ve duraklar, onları girişlerden ayırmak için aralarına girer. Durakların erişim kapıları, tüketim ve dönüş hava yolları arasındaki trafiği kolaylaştırır. Bu eğilimin varyasyonu, uzun ayak ve oda ve sütun tipi madencilik yöntemleri olacaktır. Diğer düzenleme, Şekil 9 b'de görülmektedir; burada, girişler ve dönüşler, çoğu kez, tamamı giriş veya dönüş olan bitişik hava yollarından coğrafi olarak ayrılmıştır. Genellikle daha az yükselticiye yol açan coğrafi ayırım nedeniyle daha az hava yolu ve durma gerekli olsa da operasyonel bölgelerde hava akımı yönetimi için mevcut hava düzenlemeleri ve hava kaçağı gerekli olabilir [5].



Şekil 9. Temel havalandırma sistemleri (a) U-tüpü ve (b) içten akışlı [5]

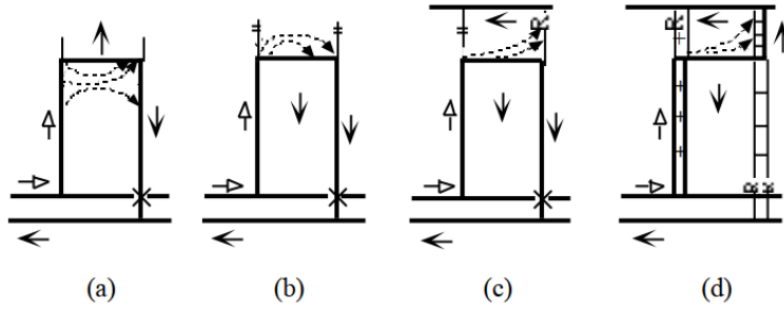
Yeraltındaki gerçek düzenler, herhangi bir sistemin varyantları veya iki sistemin bir karışımı olabilir.

### 3.4 Tabakalı Yataklar

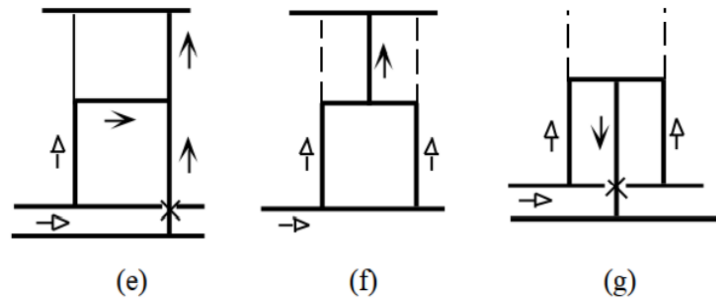
Cevher kütlelerinin (kömür, potas, kireçtaşı, tuz, vb.) tabular formlarını çıkaran yeraltı madenlerinin çoğu, genellikle iki teknikten birini kullanır: oda ve sütun veya uzun ayak madenciliği. Orijinal düzenler, yerel jeolojinin koşullarına bağlı olarak madenden madene ve bölgeden bölgeye anlamlı bir şekilde farklılık gösterebilirken, bu tekniklerin orijinal taslağı aynı kalır. Sonraki sektörler, yaygın olarak kullanılan hava akımı dağıtma sistemini betimler.

#### 3.4.1 Uzun Ayak Sistemleri

Şekil 3.6, uzun ayak segmentlerinde kullanılan havalandırmanın sık kullanılan yerleşim planlarından bazılarını göstermektedir [5].



Şekil 10. Uzun ayak havalandırma sistemlerinin düzenlemeleri: (a) tek girişli ilerleme; (b) Tek girişli geri çekilme; (c) geri hava alma ile tek girişli geri çekilme; (d) arka kanamalı çift girişli geri çekilme [5].

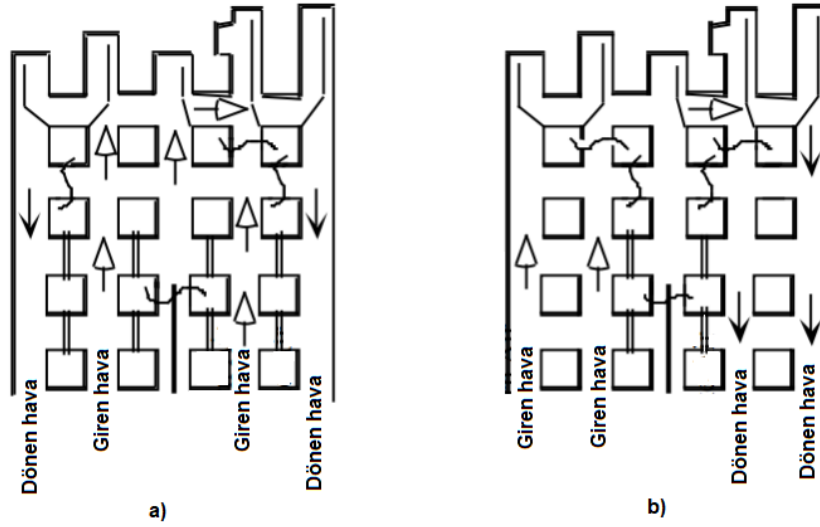


Şekil 11. Uzun ayak havalandırma sistemlerinin gruplandırılması: (e) Y sistemi; (f) çift Z sistemi; (g) W sistemi [5]

### 3.4.2 Oda ve Sütun Sistemleri

Şekil 12, birkaç girişin çalıştırıldığı bir kömür madeninde bir odayı ve sütun ilerletme panelini havalandırmak için iki tekniği göstermektedir. Şekil 12 a, giriş hava yollarının panelin merkezi dilimindeki hava yolları olduğu, dönüş hava yollarının her iki tarafta olduğu, genellikle balık kuyruğu tekniği olarak yönlendirilen yönlü veya W sistemidir. Şekil 12 b'deki teknik, giriş ve dönüşün nötr hava yolunun her iki tarafında konumlandırıldığı tek yönlü sistemdir.

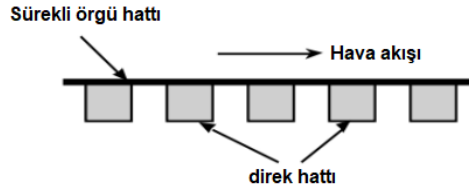
ABD kömür madenlerinde, bu girişlerdeki havanın işletme alanlarının havalandırılması için kullanıldığı düşünülmektedir; dolayısıyla bir regülatör vasıtasıyla dönüş havası yoluna yönlendirilirler. Bariz bir zayıflık, tek yönlü sisteme kıyasla çift durdurmaya ihtiyaç duymamızdır. Ayrıca ekstra durdurmalara kıyasla iki kat hava kaçağı gözlemleyebiliriz.



Şekil 12. Konveyör bandı girişindeki hava akımını kontrol etmek için hat örgüleriyle birlikte oda ve sütun gelişimi: (a) çift yönlü sistem; (b) tek yönlü sistem [5].

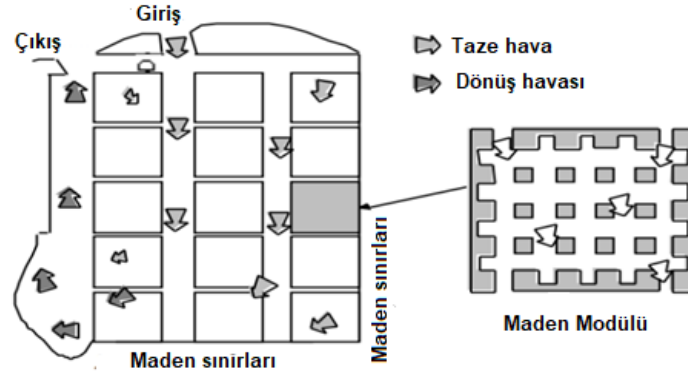
### 3.4.3 Büyük Boyutlu Girişlere Sahip Madenler

Doğal olarak, girişleri çok büyük olan madenler, yer altı operasyonlarını uygun şekilde havalandırmak için geniş havalandırma hava hacmi oranı gerektirir. Bu gerekliliği karşılamaya çalışırken, genellikle iki önemli sorunla karşılaşılır: yerel hava sirkülasyonu ve duraklardan hava kaçağı; bunların her ikisi de uygun olmayan şekilde inşa edilmiş (ve bakımı yapılmış) duraklardan veya çoğu durumda yeterli sayıda durak olmamasından kaynaklanır. ve her ikisi de yeraltı operasyon alanını olumsuz etkileyebilir. Maden yönetimi, teknik sorunlardan veya ilgili maliyetlerden dolayı sık sık durdurucu yapılması konusunda isteksizdir. Taze havanın, havanın gerekli olduğu operasyon alanlarına verimli bir şekilde aktarılmasını sağlamak için her türlü mantıksal önlem dikkate alınmalıdır. Uygun havalandırmanın sürdürülmemesinin sonucu, yalnızca federal ve eyalet yasalarını ihlal etmeyen, aynı zamanda çalışan verimliliğini ve üretkenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek düşük işlevsel bir alandır. Taze havayı geniş mekanlarda operasyon alanlarına yönlendirmek için kontrol cihazlarına ihtiyaç vardır. 10,67 m genişliğinde ve 6,1 m yüksekliğindeki bir girişte geleneksel metal çerçeveli durdurucular inşa etmenin doğru ve kesin masrafını, dahil edilen çeşitli parametreler nedeniyle elde etmek zordur. Bu tel örgü perdelerin maliyeti durdurucu başına 1.500 ila 3.000 ABD doları arasında değişmektedir (1997 yılı). Fiyat, işçilerin ve maddelerin masraflarını içerir. Bununla birlikte, bu durdurucular, örgü şeritleri arasında ve çevre birimlerin çevresinde daha önemli sızıntılara maruz kalmaktadır (Şekil 13).



**Şekil 13.** Kesintisiz örgü perde hattı çevre birimlerin etrafındaki sızıntıyı azaltacaktır [5].

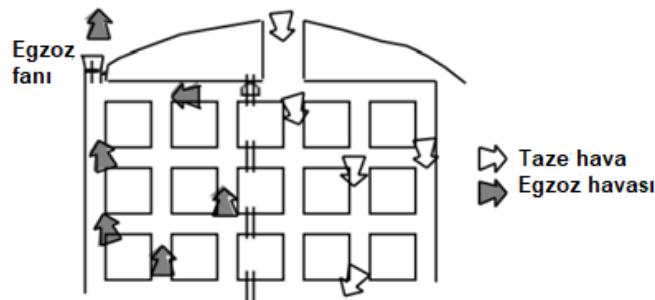
Kaçakların elektrik maliyeti üzerindeki etkisi dikkate değer olarak kabul edilmektedir. Durdurma yoluyla meydana gelen herhangi bir sızıntının, güvenlik ihtiyaçlarını karşılamak için yer altına ek hava "pompanarak" karşılanması gerektiğinden, fanın gücü ve hava debisinin küpü olması nedeniyle fandaki enerji talebini yoğun bir şekilde artıracaktır. Örneğin, hava akımındaki %26'lık bir artış, hava gücünün maliyetini iki katına çıkarır. Modüler bir düzenleme bir alternatif sunar. Bu düzende, önceden planlanmış bir madencilik bloğunun dört yanında kasıtlı olarak devasa bariyer sütunları bırakır; böylece hava etkili bir şekilde daha geniş alanlara yönlendirilebilir. Bir sonraki çizim (Şekil 14), modüler bir düzenleme [5] ile teorik bir maden operasyonunu göstermektedir.



**Şekil 14.** Havayı çalışma alanlarına yönlendirmek için tamponlar yerine bir modül sisteminin kullanıldığı teorik bir yer altı kireçtaşı madeni [5].

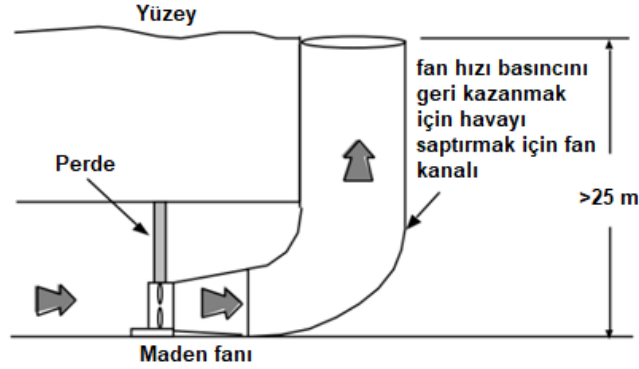
### 3.4.4 Yeraltı Hava Sirkülasyonu

Uygun olmayan bir şekilde inşa edilmiş ve yetersiz bir şekilde korunan durduruculara ek olarak, yeraltında hava sirkülasyonunun bir başka önemli kaynağı da uygun olmayan maden organizasyonudur [11]. Kireçtaşından oluşan yeraltı maden çalışmalarında sıklıkla yaşanan tasarım hatalarından biri, merkezi giriş ve dönüş hava yollarının yan yana yerleştirilmesi ve egzoz havasının giriş hava yollarına geri kaçmasıdır. Bu durum, genellikle cevherin çıktığı kireçtaşı ve kömür madenlerinde kullanılan bir kutu kesimi tünele girmek için kullanıldığında daha da kötüleşir. Hava giriş ortamından dışarı atılamaz. Maden gelişiminin ilk aşamasında, merkezi giriş ve dönüş hava yolları birbirine yakın konumlandırılmamalıdır. Hava baypasını önlemek için madenin çalıştırılmasında portal ortamlarındaki giriş ve dönüşlerin fiziksel olarak ayrılması onaylanmıştır (Şekil 15) [5].



**Şekil 15.** Hava baypasını önlemek için perdeleme sistemi kullanılır [5].

Bu mümkün değilse ve hem giriş hem de dönüşün kutu kesitinin altında birbirine bitişik olarak yerleştirilmesi gerekiyorsa, Şekil 16, egzoz fanının sonu tahliyede dikey bir fan kanalının çalışmasıyla giriş havasını ve dönüş havasını ayıran vekil bir tekniği göstermektedir.



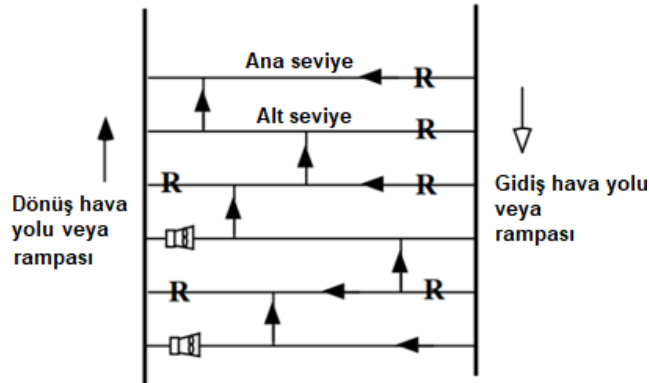
**Şekil 16.** Fan kanalı, egzoz havasını yönlendirmek ve kaybedilen hız basıncını geri kazanmak için kullanılır [5].

Şekil 16, en az 25 m uzunluğunda dikey bir kanal (kaçınma) kullanılarak, egzoz havasının yukarı doğru saptırıldığı önerilen bir düzeni betimler. Kaçınma' aynı zamanda daha karlı bir amaca da hizmet eder: Aksi takdirde kaybedilecek olan fan hızı basıncını artırabilir. Ek darbe kayıplarını önlemek için bağlantı dirseğinin yuvarlak ve pürüzsüz olması gerekir.

### 3.5 Metal Cevheri Yatakları

Metal madenlerindeki tenör eşitsizliği ve dalgalanan metal piyasası, kaçınılmaz izlenimi verecek olandan daha fazla durak veya çalışma alanının geliştirilmesini gerektirirken, bunların belki de yalnızca bir kısmı herhangi bir vardiyada çalışır.

Metal madenleri için havalandırma ağları, tabakalı yataklara göre daha karmaşık olma eğilimindedir ve genellikle üç boyutludur. Şekil 17, gerçek geometrinin büyük ölçüde farklılık göstermesine rağmen birçok metal madenin havalandırma tasarımını açıklamaktadır [5].



**Şekil 17.** Bir metal madeni için havalandırma sistemini gösteren kesit [5].

Bireysel durdurucular için hava akımı yayma sistemleri de cevher kütlesinin boyutuna, geometrisine ve tenör farkına bağlı olarak çok büyük değişkenliğe tabidir. Durdurucular arasında seri havalandırma yapılmalı, böylece patlatma gazları hızlı ve etkili bir şekilde boşaltılabilir (Şekil 18).



Şekil 18. Çekme veya kes-doldur durdurucuları için basit bir havalandırma sistemi örneği [5].

#### 4. MADEN HAVALANDIRMA AĞI ANALİZİ

Yeni madenlerin taslağında gerekli bir bileşen, havalandırma sistemi boyunca yeterli çevresel koşulları sağlama amacına ulaşmak için fanların ve diğer havalandırma kontrol cihazlarının konumunu ve görevlerini düzenleyerek hava akımlarının yayılmasının sayısal tasarımıdır. Mevcut madenlerde, tünelin iyi planlanmış havalandırması ve madene yapılan uzantılar için yeni fanların, shaftların ve diğer hava yollarının hemen erişilebilir olduğundan emin olmak için önceden tasarlamak daha iyidir. Bu nedenle havalandırma tasarımı sürekli ve rutin bir süreç olmalıdır. Akışkanlar mekaniği yasaları, havanın hava yolları, kanallar ve borulardaki davranışını ele alır. Daha önce gösterildiği gibi, madencilikle ilgili olarak bu, Atkinson denkleminin, kare yasanın ve bazı durumlarda termodinamik yasalarının kullanılmasını içerir.

Havalandırma ağı analizi, bu tür soruların ele alınmasını sağlayan bir aile olan birkaç teknik için genel bir terimdir. Pratik belirleyiciler, tatmin edici alternatiflerin sayısını sınırlayacaktır. İşe alınacak herhangi bir yöntemin gerekli bir yönü, kullanımının basit olması ve çoklu çözümlerin araştırılmasına izin verecek kadar hızlı ve esnek olmasıdır [10].

##### 4.1 Havalandırma Ağı Analizinin Temelleri

Bir iletken ağı içindeki elektrik akımının davranışını yöneten temel ilişkiler ilk olarak Gustav R. Kirchhoff (1824–1887) tarafından kabul edildi. Bu aynı temel ilişkiler artık Kirchhoff yasaları olarak biliniyor ve aynı zamanda akışkan ağlara da uygun. Kirchhoff'un birinci yasası (bundan sonra Kirchhoff 1 olarak anılacaktır), bir kavşağa giren kütle akışının, o kavşağı terk eden kütle akışına eşit olduğunu ifade eder (kütle korunumu yasasının bir sonucu) ve şu şekilde yazılabilir:

$$\sum_j M=0 \quad (14)$$

burada M, j bağlantısına giren pozitif ve negatif kütle akışlarıdır. Yine de:

$$M=Q\rho \quad (15)$$

burada Q akışın hacmidir ( $m^3/s$ ) ve  $\rho$  hava yoğunluğudur ( $kg/m^3$ ), dolayısıyla:

$$\sum_j Q\rho=0 \quad (16)$$

Havalandırma ağı etrafındaki yoğunluk değişimi önemsiz ise (yani akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilebilir), o zaman:

$$\sum_j Q=0 \quad (17)$$

Bu, bir havalandırma incelemesi yapılırken bir kavşak çevresinde alınan hava akışı ölçümlerinin kesinliğini kontrol etme olanağı sağlar. Kirchhoff'un ikinci yasası (bundan sonra Kirchhoff 2 olarak anılacaktır), temel biçiminde beyan edilmiştir, ağdaki kapalı bir yol veya ağ etrafındaki tüm basınç düşüşlerinin cebirsel toplamı, fanların ve/veya etkileri hesaba katılarak sıfır olmalıdır. doğal

havalandırma basınçları, enerjinin korunumu yasasının bir sonucudur. Tek bir hava yolu için sürekli akışlı enerji denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta u^2/2 + \Delta Zg + w = \int V dp + F \text{ J/kg} \quad (18)$$

Burada:

u = hava hızı (m/s),

Z = referans noktasının üzerindeki yükseklik (m),

g = yer çekimine bağlı ivme ( $m/s^2$ ),

W = fandan gelen iş girişi (J/kg),

V = özgül hacim ( $m^3/kg$ ),

P = barometrik basınç (Pa),

F = sürtünmeye karşı yapılan iş (J/kg).

Bir ağ içinde bir kapalı döngü veya ağı şekillendiren birkaç dal göz önüne alındığında, tüm  $\Delta Z$ 'lerin cebirsel toplamı sıfır olmalıdır ve kinetik enerjideki tüm değişikliklerin toplamı,  $\Delta u^2/2$ , ihmal edilebilir düzeydedir. Ağ etrafındaki kalan terimleri toplayarak, m şunu verir:

$$\sum m \int V dp + \sum m(F - W) = 0 \quad (19)$$

V.dP terimlerinin toplamı, havaya termal eklemelerden kaynaklanan doğal havalandırma enerjisi NVE'dir, dolayısıyla:

$$\sum(F - W) - NVE = 0 \quad (20)$$

Bu hesaplama kilogram başına joule cinsindedir ve şimdi yoğunluk  $\rho$  ile çarpılarak basınç birimlerine dönüştürülebilir.

$$\sum(F - W) \rho - \rho NVE = 0 \quad (21)$$

Ancak  $\rho_f = \rho$ , sürtünme basıncı düşüşü ve  $\rho_p = \rho f$ , bir fandaki toplam basınçtaki artış ve  $\rho_{NVE} = NVP$ , doğal havalandırma basıncı ise, Kirchhoff'un ikinci yasası şu hale gelir:

$$\sum(P - \rho_f) - NVP = 0 \quad (22)$$

Kirchhoff yasaları, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz akışa sahip sıvı ağlarına uygulanabilir. Sıkıştırılabilir akış durumunda, analiz kütle akışına göre yapılır; sıkıştırılamaz akış durumunda, gözden geçirme hacim akışı temelinde yürütülür. Bu noktadan itibaren, sıkıştırılamaz akış varsayılacaktır.

Kare yasası, Kirchhoff'un sıkıştırılamaz akış yasalarına dahil edilmesini gerektirir.

Kirchoff 1

$$\sum_j Q = 0 \quad (23)$$

Kirchoff 2

$$\sum m(RQ|Q| - Pf) - NVP = 0 \quad (24)$$

Burada:

R = direnç ( $Ns^2/m^8$ )

|Q| = hava akışının mutlak değeri

Bu, sürtünme basıncı düşüşünün her zaman hava akışıyla aynı işarete sahip olmasını sağlar ve negatif sayıların karesini alma veya karekökünü alma karmaşıklığını ortadan kaldırır.

#### 4.2 Kare Kanundan Sapmalar

Maden havalandırmasının temel ilişkisi kare kanundur  $p = RQ^2$ . Bu, Chezy-Darcy ilişkisinden geliştirilmiştir ve tamamen gelişmiş türbülanslı akış için geçerlidir. Direnç, R, kendisi Darcy sürtünme faktörü f ile ilişkili olan sürtünme faktörünün, k bir fonksiyonudur. Akış rejimi geçiş bölgesine veya laminer akış bölgesine (f) düşerse ve dolayısıyla k, Reynolds sayısının (Re) bir fonksiyonu haline gelirse, R'nin değeri hava akışına göre değişir. Bu durumlarda kare kanunu uygulanamaz.

Geçiş bölgesi için aşağıdaki ilişki geçerlidir:

$$P = RQ^n \quad (25)$$



n değerlerinin 1,8–2,05 aralığında olduğu bildirilmiştir. Laminer akış durumunda, aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$P = RLQ \quad (26)$$

burada RL, laminer dirençtir.

### 4.3 Havalandırma Ağlarını Çözme Yöntemleri

Temel olarak, havalandırma ağlarını çözmek için iki yöntem vardır:

1. Analitik yöntemler, kesin çözümler sağlayan denklemler üretmek için geçerli yasaları formüle eder.
2. Sayısal yöntemler, gerekli doğruluk derecesinde bir çözüm bulunana kadar yinelenir.

#### 4.3.1 Analitik Yöntemler

Aşağıdaki paragraflarda havalandırma ağlarını çözmek için analitik yöntemler açıklanmaktadır.

#### 4.3.2 Eşdeğer Dirençler

Bu, ağ analizinin en temel tekniğidir [12]. İki veya daha fazla hava yolu seri veya paralel olarak sıralandığında, bu dirençlerin her biri, elektrik devrelerine benzer bir davranışla tek bir eşdeğer dirence dahil edilebilir. Bir maden havalandırma ağı, birleştirilmiş birkaç yol ve tünelden oluşur; dallar arasındaki bu bağlantılar, seri ve paralel olarak bağlanmış tünellere bölünebilir.

• Seri devreler: olağan bileşen, her dalda akan hava miktarının benzer olmasıdır. Seri bağlı n dalın eşdeğer direnci:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (N.S^2/m^8) \quad (27)$$

• Paralel devreler: olağan bileşen, her branşmandaki basınç düşüşünün benzer olmasıdır. n dalın paralel bağlanması durumunda eşdeğer direnç:

$$1/\sqrt{R} = \sum 1/\sqrt{R_{nn1}} \quad (N.S^2/m^8) \quad (28)$$

#### 4.6.3 Sayısal Yöntemler

Çok sayıda sayısal yöntem mevcuttur. Yöntemler arasındaki birincil farklılaşma, ağ seçimi ve denklemlerin sayısal olarak çözülmesi etrafında döner. Her zaman en verimli olmasa da en sağlam plan, 1936'da Illinois Üniversitesi'nde su dağıtım sistemleri için Profesör Hardy Cross tarafından tasarlandı. Bu teknik en yaygın kullanılan tekniktir ve maden havalandırma sistemlerinde kullanılmak üzere 1951'de Nottingham Üniversitesi'nde Profesörler F.B. Hinsley ve D.R. Scott tarafından geliştirilmiştir [4].

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Maden havalandırma sistemleri, yer altı madenlerinin güvenli bir şekilde işletilmesi için önemlidir ve taze hava akışının sağlanması ve kirli havanın uzaklaştırılması sağlar. Yeraltı maden havalandırma sistemleri ayrıca çalışma yüzeylerinin ısisını ve nemini düşürür. Yeraltı madenlerindeki zayıf maden havalandırması, kömür madenlerinde toza aşırı maruz kalmanın ana nedenlerinden biridir. Solunabilir kömür tozunun solunması, kömür madeni işçilerinde pnömokonyoza neden olur ve sonunda ölüme neden olur. Kömür madeni tozuyla kaynağında mücadele etmek hayat kurtarma meselesidir.

Bu çalışmada kömür madenlerinin havalandırma sistem elemanları tanıtılmış, tasarımda kullanılan kriterler açıklanmıştır. Özellikle havalandırma ağlarının çözümünde kullanılan sayısal analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemlerin uygulamasında ve maden havalandırma sistemlerinin tasarımında VentSIM, VnetPC, VUMA, MINEV, ClimSIM ve DuctSIM gibi yazılımlar kullanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Maden ve Taş Ocakların İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İş Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük (Yayın tarihi: 22.10.1984).  
<https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/2.5.848428.pdf> (15.12.2022 tarihinde erişildi)
- [2] Ayvazoğlu ve diğerleri, "Yer Altı Kazılarında Havalandırma Uygulamaları" (PDF).Erişim tarihi: 16 Aralık 2022.
- [3] Tong, R.; Yang, Y.; Ma, X.; Zhang, Y.; Li, S.; Yang, H. Risk Assessment of Miners' Unsafe Behaviors: A Case Study of Gas Explosion Accidents in Coal Mine, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 1765.
- [4] SME Mining Engineering Handbook, Michael A. Tuck, Associate Professor of Mining Engineering, University of Ballarat, Victoria, Australia.
- [5] Mine Ventilation Systems Practical Mine Ventilation Engineering, Chapter 9.
- [6] Kayode M. Ajayi, Khosro Shahbazi, Purushotham Tukkaraja, Kurt Katzenstein, Prediction of airway resistance in panel cave mines using a discrete and continuum model, *International Journal of Mining Science and Technology*, Volume 29, Issue 5, 2019, Pages 781-784, ISSN 2095-2686, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.02.004>.
- [7] McPherson 1993; with permission from Springer Science and Business Media.
- [8] Patton, S., Best Practices in Effective Ventilation of Underground Coal Mines, U.S. Practices and Regulations, Workshop on Best Practices in Coal Mine Methane Capture and Utilization, Bogotá, Colombia, July 2018.
- [9] Souza, Euler. (2017). Application of ventilation management programs for improved mine safety. *International Journal of Mining Science and Technology*. 10.1016/j.ijmst.2017.05.018
- [10] Burak OLGUN, Serdar GÜLTEK, Hüseyin BULGURCU, Yeraltı Madenlerinde Havalandırma Kriterleri, 12.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı sayfa 359-369, 8-11 Nisan 2015.
- [11] Demirović, Safer & Marković, Jelena. (2020). A Real Application of Air Recirculation in Underground Coal Mine.
- [12] Nyaaba, Wedam & Frimpong, Samuel & Professor, K & Chair,. (2015). Optimization of Mine Ventilation Networks Using the Weighted Augmented Lagrange Method.

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık Poyracık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden Yüksek Lisans, 1994 yılında aynı Enstitüden Doktora dereceleri aldı. 1995 yılında Y. Doçent, 2013 yılında Doçent oldu. 1986-1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989-1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-D.B projesi kapsamında İngiltere'de Manchester College'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995-2012 yılları arasında Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında çalıştı. Ağustos 2012 ila Eylül 2016 tarihleri arasında Balıkesir Mühendislik Mimarlık Fakültesi'nde çalıştı. Mart 2017'de emekli oldu. Sektör firmalarında danışmanlık yapmaktadır.



# YERALTI MADEN İŞLETMECİLİĞİNDE HAVALANDIRMA SİSTEMİ

*Ventilation System In Underground Mining*

**Ali Ozan Kılıçarslan**  
**Ahmet Murat Tunç**

## ÖZET

Yer altı madencilik teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile önlemlerin paralel ilerlemesi, erken uyarı sistemlerinin doğru uygulanması ve havalandırma sistemlerinin doğru tasarlanması gerekmektedir. Dünya genelinde yer altı madenlerinde yaşanan kazaların sebepleri araştırıldığında, havalandırmanın yetersizliğinden ve uygulama hatalarının başlı çetkiği görülmektedir.

Yeraltı madenlerinde bulunan, aşırı nem, yüksek sıcaklıklar, yetersiz oksijen ve aşırı konsantrasyonda tehlikeli gazlar, çalışma verimini azaltır, hastalık ve ölüme sebebiyet verir. Isı stresini en aza indirmek ve kirleticileri uzaklaştırmak için havalandırmaya ihtiyaç vardır. Havalandırma ihtiyacını sağlamak için tasarlanan sistemde hava hız sınırları ve gaz sınıflarına dikkat edilerek yeraltı madeninden bertaraf edilmelidir. Kullanılan ekipmanların korozif ve patlayıcı ortam sınıfları bu şartlara uygun seçilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Maden Havalandırma, Yeraltı madenleri.

## ABSTRACT

The developments in underground tunneling technology and the parallel progress of the measures, the correct application of early warning systems and the correct design of ventilation systems are required. When the causes of accidents in underground mines around the world are investigated, it is seen that inadequate ventilation and application errors take the lead.

Excessive humidity, high temperatures, insufficient oxygen and dangerous gases in excessive concentrations in underground mines reduce working efficiency and cause sickness and death. Ventilation is needed to minimize heat stress and remove pollutants. In the system designed to provide the ventilation need, it should be disposed of from the underground mine by paying attention to the air speed limits and gas classes. The corrosive and explosive atmosphere classes of the equipment used should be selected in accordance with these conditions.

**Key Words:** Mine Ventilation, Underground mines.

## 1. GİRİŞ

Madencilik; toplumların endüstriyel anlamda gelişmişliğinin de bir göstergesidir. Günümüzde de; enerjinin politik bir güç olarak ortaya çıktığı dünya politikasında petrol, doğal gaz, kömür gibi doğal kaynaklar ve bu kaynakların kullanıma sunulması büyük önem taşımaktadır. Yeraltı kömür işletmelerinde geçmişte de olan ve son yıllarda üst üste meydana gelen grizu patlamaları birçok işçinin

hayatını kaybetmesiyle sonuçlanmış ve madenlerde iş sağlığı ve güvenliğinde havalandırmaya verilmesi gereken önemi hatırlatmıştır [1].

Havalandırma, yeraltı kazılarında üzerinde titizlikle durulması gereken ve vazgeçilmez bir konudur. Havalandırmanın amacı, kısaca gerekli hava miktarının temin olunmasıyla güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının elde edilmesi şeklinde açıklanabilir. Diğer bir deyişle sevk edilen havadan beklenen:

- İşçilere temiz hava temin etmek,
- Yayılan veya oluşan patlayıcı ve zararlı gazların ve tozların hava içindeki oranlarını azaltmak veya dışarıya sevk etmek.
- Çok ender de olsa işyeri havasını iklim şartları bakımından iyileştirmektir.

Genel olarak, tünel havalandırılma maliyeti yüksek değildir. Dolayısıyla, ilk bakışta, havalandırmanın önemli bir faaliyet olmadığı düşünülebilir. Fakat maliyetin dışında, yukarıda sayılan amaçlar göz önüne alındığında, işletmecilik yönünden havalandırmanın yaşamsal önemde yan etkilerinin olduğu kolayca görülür. [2] Şöyle ki;

- Yeraltı boşluklarında hava hızı ve tehlikeli gazların, ayrıca oluşan tozun hava içindeki oranları kısıtlanmıştır,
- Yeterli miktarda hava verilmemesi nedeniyle kazı faaliyetlerinin kısıtlanması, hatta tamamen durması olağandır.

Örneğin karbondioksit, karbonmonoksit, azot oksitler ve hatta bazı durumlarda metan vd. bazı tehlikeli gazların işyeri havası içindeki izin verilebilir. Maksimum konsantrasyonları ve oksijenin minimum oranı kısıtlanmış olup, bu değerlere ulaşılmadığı zaman kazı faaliyetlerinin sürdürülmesi mümkün değildir. Ayrıca, hava yetersizliği işçinin çalışma gücünü etkilediğinden verim düşebilir ve maliyet artmaktadır.

Yukarıda sayılan sorunlar nedeniyle tünel havalandırılması, kazının başlangıcından sonuna kadar, büyük sorumluluklar doğurur

- İlik ve devamlı sorumluluk, "Hava Kontrolü" dur. Bu kontrol, işyerine gerekli miktarda hava verildiğini, hava hızının, sıcaklığının ve rutubetinin istenilen sınırlar içinde bulunduğunu, tehlikeli gazların ve tozun tehlike sınırları altında kaldığını saptamak için yapılır.
- Havalandırma sistemindeki kaçakların ve vantilatör karakteristiklerinin kontrolü gereklidir.

## 2. MADEN HAVA KALİTESİ

Yeraltı madenlerinde işçi sağlığı ve güvenliğinde ana amaç, hava kirlenici maddelere maruz kalma seviyesini güvenli sınırlar içinde tutabilmektir. Bu için, sadece çalışma yüzeyine sağlanan havanın miktarı üzerinde değil, aynı zamanda sağlanan hava akışının kalitesi üzerinde de durulması gerekir. Kişilerin çalıştıkları ya da hareket halinde oldukları alanlardaki havanın en az %19.5 oksijen ve en fazla %0.5 karbondioksit içermesi ve bu alanlardaki hava debisi ve hızının her türlü yanıcı, patlayıcı, zehirli ve zararlı gazları, toz ve dumanı seyretmeye, zararsız hale getirmeye ve taşıyıp götürmeye yeterli olmalıdır[x]. İşçilerin tahliye edildikleri, çalıştıkları ya da hareket halinde oldukları çalışması bitmiş alanlardaki havanın karbondioksit seviyesinin zaman ağırlıklı ortalamasının %0.5'inden ve kısa süreli maruz kalma sınırının %3.0'ından fazla olmaması gereklidir.

Metan dışındaki gazlardan kaynaklanabilecek olan patlamaların önlenmesi amacıyla, aşağıda belirtilen gazların konsantrasyonların belirtilen oranları geçmesine izin verilmemelidir [2].

- Karbonmonoksit (CO), % 2.5
- Hidrojen (H<sub>2</sub>), % 0.80
- Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), %0.80
- Asetilen (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), % 0.40

- Propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), % 0.40
- MAPP metil-asetilen-propilen-propodiyen, % 0.30

Karbonmonoksit ya da dumanın yangının başlangıç noktasından, dedektörün bulunduğu noktaya gelmesi için geçen süre; yangının başlangıç noktasının dedektöre olan uzaklığına ve hava hızına bağlıdır, süre mesafenin hava hızına bölünmesiyle bulunur. Düşük hava hızlarında bu süre uzun olabilir ve alarm anını önemli ölçüde etkileyebilir. Hava akışı arttıkça dedektöre ulaşılma süresi kısaltmakta fakat karbonmonoksit ve duman seviyelerinin yoğunluğu azalmaktadır.

- **CH<sub>4</sub> + Hava** → Patlayıcı ve boğucu son derece tehlikeli grizu gazını oluşturur.
- **CO + Hava** → Zehirli bir gaz olan karbondioksit, daha çok kömür madenlerinde görülmektedir. Aynı zamanda patlayıcı özelliği de vardır.
- **H<sub>2</sub>S + Hava** → Son derece zehirli bir gaz olan hidrojen sülfürün, çürümüş yumurtaya benzeyen sert bir kokusu vardır. Tehlikeli miktarlarda nadiren görülen hidrojen sülfürün patlayıcı özelliği de bulunmaktadır.
- **CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>** → Madencilik sektöründe kör nefes olarak bilinen boğucu bir gaz olup, maden içerisinde %100 emisyonu ulaşması mümkündür.
- **CO + CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>** → Grizu patlamasından sonra ortam içerisinde bulunan bu karışım; boğucu, zehirli ve patlayıcı bir ortam oluşturur.

İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ	KARBONDİOKSİT ve SOLUNUM HAVASI KARIŞIMI	
	HAVA	KARBONDİOKSİT
Hissedilir etkisi yoktur	% 99	% 1
Nefes almada zorlanma başlangıcı	% 97	% 3
Nefes almada hızlanma ve baş ağrısı	% 94	% 6
Şiddetli acı	% 90	% 10
Kısmi bilinç kaybı	% 85	% 15
Boğulma ve ölüm	% 82	% 18
Kısa sürede ölüm	% 75	% 25

Tablo 1. Solunum Havasındaki Karbondioksit Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [3]

İNSAN SAĞLIĞINA ETKİSİ	SOLUNUM HAVASINDAKİ OKSİJEN MİKTARI
Normal nefes alma	% 21
Normale yakın nefes alma (kontrol lambasının parlaklığını %30 azaltır)	% 19
Nefes almada hızlanma ve zorlanma başlangıcı	% 17
Baş dönmesi ve bulanık görme	% 15
Bilinç kaybı	% 9
Solunumda yavaşlama ve bunu takiben solunum ve kalp durması	% 6
Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm	% 0

Tablo 2. Solunum Havasındaki Oksijen Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [3]

## 2.1. Maden Havasındaki Gaz Çeşitleri

### 2.1.1. Azot (N<sub>2</sub>)

Atıl bir gazdır. Alevi söndürür. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Yoğunluğu 1.2505 kg/m<sup>3</sup>tür. Oksijen azlığı nedeniyle tehlikelidir ve boğucu özelliğe sahiptir. Azot kaynakları şunlardır:

- Organik maddelerin bozuşması,
- Patlayıcı madde ateşlemeleri,
- Sedimentasyon sırasında oluşur ve zamanla kayalarındaki çatlaklardan, bazen metanla beraber yayılabilir.

### 2.1.2. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Renksiz, hafif asit kokusunda ve tadında olan bir gazdır. Yoğunluğu 1.977 kg/m<sup>3</sup>tür ve dolayısıyla kazı boşluğunun tabanında toplanır. Temiz havada % 0.03 - 0.04 civarında CO<sub>2</sub> vardır. % 1 konsantrasyonda soluk alma sıklaşır. Soluk alma % 3 konsantrasyonda iki ve % 5 konsantrasyonda üç kat artar ve zorlaşır. % 10 CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda komaya girilir, ve %20-25' te ölüm kaçınılmazdır. Müsaade edilen maksimum CO<sub>2</sub> konsantrasyonu % 0.5' tir.

### 2.1.3. Karbonmonoksit (CO)

Renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Yoğunluğunun (1.255 kg/m<sup>3</sup>) havanıninkine çok yakın olması nedeniyle tünel atmosferi içinde, yalnız taban veya tavanda değil, her tarafta yayılmış şekilde bulunur. Çok düşük konsantrasyonlarda dahi zehirleyici olması nedeniyle yeraltı kazısı ile uğraşanların korkulu rüyası olan bir gazdır. CO yüksek konsantrasyonlarda patlama özelliğine sahiptir. Patlama sınırları % 13 - 75 arasında olup, en tehlikeli patlama konsantrasyonu % 30 'dun CO 'in, esas tehlikesi zehirli olmasıdır. Çünkü kanın hemoglobininin CO'ye olan hassaslığı, oksijene olandan 250 - 300 defa daha fazladır. Bu nedenle solunan havada çok az karbonmonoksit ve yeterli oksijen bulursa dahi kan, karbonmonoksiti absorbe eder ve oksihemoglobin yerine karboksihemoglobinin oluşur ve kan dolaşımında yer alır. Normal bir insanın kanında absorbe edilebilecek karbonmonoksit miktarı yaklaşık 300 cm<sup>3</sup>tür. Karbonmonoksit içeren havanın solunması halinde önce baş ağrısı, baş dönmesi, giderek bulantı ve halsizlik görülür. Daha ileri durumda (yüksek CO konsantrasyonu veya uzun solunma süresi) kendini kaybetme görülür ve komaya girilir. Sonuç felç ve ölümdür. Yapay solunum ve benzer çareler faydasızdır.

Karbonmonoksit zehirlenmesinin derecesi ve hızı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Hava içindeki CO konsantrasyonu,
- Birim zamanda solunan havanın miktarı,
- Kan dolaşım hızı (dinlenme veya çalışma halinde bulunmadaki farklılık),
- Zehirli özellikteki havanın devamlı veya aralıklı solunuyor olması.

Örneğin sigara dumanı % 5 - 7 oranında CO içerebilir. Ancak dumanın aralıklı solunması nedeniyle önemli zehirlenme olmaz. Karbonmonoksitin müsaade edilebilir tehlikesiz maksimum konsantrasyonu % 0.005 'tir.

### 2.1.4. Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>)

Renksiz, keskin ve özel kokulu bir gazdır. Çok düşük konsantrasyonlarda (% 0.002) bile hissedilir ve gözleri tahriş eder. Çok zehirlidir ve % 0.05 konsantrasyonda çok kısa sürede ölüme neden olur. Müsaade edilebilir maksimum konsantrasyonu % 0.0007 'dir. Sülfürlü cevherleri içeren kayaların kazısı sırasında yangınlar ve ateşlemeler sonucu oluşur. Bu nedenle ateşleme yapılan kazı aynasında aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Etkili bir havalandırma sağlanır,
- Ateşlemelerden önce arın ve yan taşlar su spreyi ile ıslatılır,
- Lağım delikleri ıslak kil ile iyice sıkılır,
- Ateşlemeler vardiya sonuna kaydırılır,
- Ateşçilere gaz maskesi verilir.

### 2.1.5. Metan (CH<sub>4</sub>)

Esas olarak C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> + 2 genel formülüyle bilinen hidrokarbonların gaz elemanlarının (metan, etan, propan ve bütan) birlikte düşünülmesi gerekir. Ancak çoğunlukla rastlanması ve diğerlerine yakın özellikler metandan daha çok söz edilmesine neden olmuştur. Bu gazların bir tanesinin veya birkaçının hava ile karışımına " GRİZU " denir. Sedimentasyon sırasında selülozun (bitki artıklarının) parçalanması sonucu bol miktarda oluşur ve kayaç içinde saklı kalır. Metan sadece kömürde değil, kaya tuzu, potas, kükürt ve demir madenlerinde de görülebilir. Dolayısıyla sedimanter kayaçlarda ve / veya kömür vb. yataklara yakın yerlerde yapılacak tünel kazılarında metanla karşılaşılabilir Metan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Yoğunluğu 0.716 kg/m<sup>3</sup>'tür. Hafif olduğu için yeraltı boşluklarının tavanında toplanır. Zehirli değildir. Oksijen azlığı nedeniyle boğucu olabilir. Esas tehlikesi yanıcı ve patlayıcı olmasından ileri gelir Metan konsantrasyonu % 5 'in altında ise patlama olmaz, yanar. % 14'ün üzerindeki konsantrasyonlarda yüksek özgül ısı ve oksijen azlığı nedeniyle patlama özelliği yok olur. Tehlikesiz sayılabilecek konsantrasyonu % 1' dir [4].

## 3. HAVALANDIRMA ÇEŞİTLERİ

Maden sistemlerinde kullanılan havalandırma çeşitleri :

- Doğal Havalandırma
- Mekanik Havalandırma
- Tali Havalandırma şeklindedir.

### 3.1. Doğal Havalandırma

Doğal havalandırma; yer altı maden ocaklarında, hava giriş-çıkış noktaları arasındaki kot farkı ve yoğunluk farkından dolayı pervane, vantilatör gibi herhangi bir mekanik teçhizat olmadan, içeride hava akımı yaratılarak yapılan havalandırma yöntemidir.

### 3.2. Mekanik Havalandırma

Mekanik havalandırma; yer altı maden ocaklarında, vantilatörler yardımıyla yapılan havalandırma yöntemidir. Bu işlem aksiyal ve radyal vantilatörler yardımıyla gerçekleştirilir. Bunlar emici, üfleyici, hem emici hem üfleyici olarak çalıştırılabilirler [5].

### 3.3. Tali Havalandırma

Henüz hava dönüş bağlantıları sağlanmamış tünellerin havalandırılmasını "Tali Havalandırma" olarak tariflemek mümkündür. Tali havalandırma, emici veya üfleyici vantilatörler ve borular (genellikle vantüp veya demir) yardımı ile sağlanır. Uzun tünellerde, kaçakları azaltmak bakımından, aralıklı ve seri bağlantılı vantilatörler kullanılabilir. Tünel havalandırmasının büyük bir şansı, yeryüzünden temiz hava sağlanmasının bir güçlük göstermemesidir. Temiz havadan faydalanmak ve kirli havayı doğrudan doğruya yeryüzüne vermek mümkündür. Kısa devre oluşmaması için, vantilatörlerin havalandırılacak tünel ağzına mesafeleri en az 5 m. olmalıdır. Temiz hava yeryüzü atmosferinden sağlandığı için, tünele ulaştırılacak hava miktarının kısıtlanması söz konusu değildir, bu da tünel havalandırmasının başka bir avantajıdır.

## 4. Maden Havalandırmasındaki Fan Kriterleri

### 4.3 Atex Fanlar

Atex; Parlayıcı, patlayıcı ortamlarda kullanılan aletler ve teçhizatlar ile bu ortamlarda çalışanların iş sağlığı ve iş güvenliği hususlarında gereken koşulları kapsayan yönetmeliklerin kısa adıdır. Patlayıcı ortam kelimesinin Fransızca karşılığı olan “ ATmospheres EXplosives” sözcüklerinden kısaltılmıştır [6]. Atex yeraltı maden havalandırmasında bir diğer önemli unsurdur. Kullanılacak olan fanlar patlamaya karşı muhafaza (Explosion-Proof) özelliğe sahip olması gerekmektedir.. 2014/34/EU direktifi muhtemel patlayıcı atmosferlerde kullanılmak amacıyla üretilen ekipman direktifidir. Muhtemel patlayıcı ortamlarda kullanılması amaçlanan ekipman tedarikçileri direktife göre ürünlerinin güvenli olmasını sağlar.

Madde	Patlayıcı Maddenin Ortamdaki Bulunma Süresi	Bölge (Zone)	Minimum Ekipman Gereklilikleri				Koruma Seviyesi
			Direktif 2014/34/EU	Ekipman Grubu	Ekipman Kategorisi	Standart IEC/EN/CSA 60079-0	
			Grup	Ekipman Koruma Düzeyi (EPL)			
Gaz ve Buhar	Sürekli, uzun süreli ve sıklıkla	Zone 0	II	1G	II	Ga	çok yüksek
	Ara sıra meydana gelme	Zone 1	II	2G	II	Gb	yüksek
	Olası değil, gerçekleşmesi ise nadiren veya çok kısa süreli	Zone 2	II	3G	II	Gc	arttırılmış
Toz	Sürekli, uzun süreli ve sıklıkla	Zone 20	II	1D	III	Da	çok yüksek
	Ara sıra meydana gelme	Zone 21	II	2D	III	Db	yüksek
	Olası değil, gerçekleşmesi ise nadiren veya çok kısa süreli	Zone 22	II	3D	III	Dc	arttırılmış
Metan, Kömür Tozu	Sürekli	Maden	I	M1	I	Ma	çok yüksek
	Sıklıkla	Maden	I	M2	I	Mb	yüksek

Tablo 3. Patlayıcı ortam Sınıflandırması

Kömür madenleri içerisinde kullanılacak olan fanlar içerisinde barındırdıkları kömür tozu ve metandan dolayı sabit risk grubuna girmekte olup, grup I kategori M1 sınıfında ekipman kullanımı gerektirmektedirler. Grup I fanlar en yüksek sınıf patlama korumasında özel bir yapıya sahiptirler. Kullanılacak olan fan pervanesi ile gövde arasında sürtünme ihtimaline karşı yeterli boşluk olması, pervane çevresinin bakır halkayla kaplanması, özel ex-proof motor kullanılması alınan önlemler arasında sayılabilir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yeraltı madenlerinde çalışanlar için uygun şartların en temel ilkesi havalandırmadır. Havalandırma doğru bir şekilde ve yöntemde yapılması doğrultusunda çalışanların sağlığı ve ortamı uygun olacağından çalışmadan ortamında havalandırma kaynaklı dikkat dağınıklığı ortadan kalkacaktır. Havalandırmanın yanlış ve eksik yapıldığı ortamlarda çalışan işçilerde oksijen yetersizliği veya karbondioksit miktarındaki artış nefes almada güçlükler, baş dönmesine ve bilinç kaybına sebebiyet vererek iş kazasına sebebiyet verebilmektedir. Bu ve bunun gibi kazalara sebebiyet verebilecek ortamların ortadan kaldırılması için maden proje ve uygulamalarının, bir mühendislik dalı olarak maden bilim ve teknolojisine uygun şekilde yapılmasına ek olarak ulusal ve uluslararası asgari



standart şartlarına uygunluğun sağlanması, uygulamada bu şartların temin edilmesine yönelik gerekli işletme faaliyetlerinin doğru ve yerinde yapıldığının tespiti amacı ile de etkili bir denetim mekanizması ile kontrolü, hem güvenlik hem de işletme ekonomisinin sağlanması açısından gerçek bir çözüm olacaktır. Bunlara ilave olarak çalışanların doğru ve düzenli bir şekilde eğitime tabi tutarak oluşması muhtemel kazalarda önceden aldığı eğitimler ışığında, kaza anında veya hemen öncesinde yapacağı doğru hamleler ile kazanın oluşmasına engel veya oluşabilecek kazaları en asgari seviyede atlatılmasına yardımcı olur.

## KAYNAKLAR

- [1] Olgun, B., Gültek, S., Bulgurcu, H., “Yeraltı Maden Ocaklarında Havalandırma Kriterleri”, Teskon 2015 Bildiriler Kitabı, s. 357-370, 2015.
- [2] Conti Ronald S., Linda L. Chasko, Charles P. Lazzara, Gary Braselton ; “An Underground Coal Mine Fire Preparedness and Response Checklist: The Instrument”, U.S. Department Of Health And Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Research Laboratory Pittsburgh, PA, August 2000.
- [3] Güyagüler, P. D. T., Karakas, A., Güngör, A., “Occupational Health and Safety in Mining Industry”, Ankara, 2005.
- [4] Ayvazoğlu, E., “Madenlerde Havalandırma ve Emniyet”, İTÜ Maden Fakültesi, Yayın No:13, İstanbul, 1984.
- [5] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Madenlerde\\_havalandırma](https://tr.wikipedia.org/wiki/Madenlerde_havalandırma)
- [6] Sarı, M. K. “ Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan aletler Hakkında Genel Bilgi “

## ÖZGEÇMİŞLER

### Ali Ozan KILIÇARSLAN

1994 İstanbul doğumludur. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2018 yılında Ar-Ge Mühendisi olarak başlamış olduğu iklimlendirme ve havalandırması sektöründe 2022 yılı itibari ile Systemair HSK firmasında Ar-Ge Uzman mühendis olarak devam etmektedir.

### Ahmet Murat TUNÇ

1989 yılı Amasya doğumludur. 2015 yılında Doğu Üniversitesi Makine Mühendisliği'nden mezun olmuştur. 2019 yılında çalışmaya başladığı Systemair HSK firmasında Kıdemli Ar-Ge Mühendisi olarak katıldığı Ar-Ge departmanındaki görevine Ar-Ge Proses ve Laboratuvar Takım Lideri olarak devam etmektedir. Havuz nem alma santralleri, entegre soğutmalı klima santral çözümleri ve veri merkezi iklimlendirmesi üzerine Ar-Ge projelerini yürütmektedir. Ahmet Murat TUNÇ, iyi derecede İngilizce bilmektedir.



# YER ALTI MADEN (CEBRİ) HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİ

*Forced Ventilation System Automation In Underground Mines*

**Emre Özmen**

## ÖZET

Maden işletmesinde havalandırma sistemleri en önemli sistemlerden birisidir. İnsan sağlığı, çalışan ve işyeri güvenliği açısından havalandırmasız veya yetersiz havalandırılmış yer altı madeni işletmesi düşünülemez. Dolayısıyla havalandırma sistemleri, maden işletmesindeki toplam enerji tüketiminde başrol oynamaktadır.

Maden havalandırma otomasyon sistemleri, enerji verimliliği sağlayarak işletme giderlerinin azaltılmasına, iç hava kalitesini artırarak iş ve işçi veriminin yükselmesine, maden havasında bulunan tehlikeli (zehirli, patlayıcı, boğucu) kirleticileri seyrelterek personel sağlık ve güvenliğini yasal çerçevede temin eder. Günümüzde gelişmiş ülkelerin işlettiği madenlerde sıklıkla uygulanan VOD sistemleri ve adaptif havalandırma sistemleri; maden atmosfer izleme sistemi, havalandırma izleme ve kontrol sistemi, coğrafik bilgi sistemleri, telemetri sistemleri, havalandırma modelleme ve simülasyon yazılımları, CFD analizi, ICT gibi diğer bileşenleri kullanır. Bu sistemler ile en yüksek enerji verimliliğine ulaşılmaktadır.

Bunun için maden havalandırma otomasyon sistemlerinin ihtiyaçlara ve ilgili standartlara uygun tasarlanması, temin ve tesis edilmesi ve işletilmesi gereklidir. İdeal havalandırma otomasyon sistemi için saha ekipmanı (sensörler, VFD üniteler, hava ayarlayıcılar) temini ve doğru yerlere tesisi çok önemlidir. Sistemde yer alan kritik bileşenlerin (haberleşme omurgası, sunucu bilgisayarı, ana fanlar, PLC işlemcileri vb..) yedekli çalışabilme yeteneğinde olması değerlidir. Ayrıca sistem enerji beslemesi de kesintisiz olmalı, jeneratör ve UPS gibi destek unsurları tam yedekli bir şekilde desteklemelidir. Madendeki ihtiyaca göre ve mümkünse adaptif havalandırma yapacak onaylı çalışma senaryolarının sistemde uygulanması sağlanmalıdır.

Otomasyon sistemi 3. Parti firma marifetiyle BİD prosesi üzerinden montaj, çalışma ve performans yeterliliği testleri yapıldıktan sonra gerekli bakım ve kullanım belgeleri ve teknik eğitim kayıtlarıyla beraber işletmeye teslim edilmelidir. Sistemin etkin şekilde bakımının yapılması ise sürdürülebilirlik ve iş güvenliği açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Maden havalandırma, maden izleme, havalandırma otomasyonu, gaz algılama, ihtiyaca bağlı havalandırma

## ABSTRACT

Ventilation systems are one of the most important systems in mining operations. In terms of human health, employee and workplace safety, unventilated or insufficiently ventilated underground mines cannot be considered. Therefore, ventilation systems play a leading role in the total energy consumption in the mining operation.

Mine ventilation automation systems reduce operating costs by providing energy efficiency, increase work and worker productivity by improving indoor air quality, and provide personnel health and safety

within the legal framework by diluting dangerous (toxic, explosive, suffocating) pollutants in the mine atmosphere. Today, VOD systems and adaptive ventilation systems, which are frequently applied in mines operated by developed countries; It uses other components such as mine atmosphere monitoring system, ventilation monitoring and control system, geographical information systems, telemetry systems, ventilation modeling and simulation software, VFD units, CFD analysis, ICT. These systems achieve the highest energy efficiency.

For this, mine ventilation automation systems must be designed, supplied, installed and operated in accordance with the needs and relevant standards. For an ideal ventilation automation system, it is very important to supply field equipment (sensors, VFD units, regulators) and install them properly in the right places. It is valuable that the critical components in the system (communication backbone, server computer, main fans, PLC processors, etc.) are capable of running redundantly. In addition, the system energy supply should be uninterrupted, and support elements such as generator and UPS should be fully redundant. According to the need in the mine, and if possible, approved working scenarios that will make adaptive ventilation should be implemented in the system.

Automation system should be delivered to the facility through commissioning process by third party Cx company together with the necessary operational and maintenance documents and technical training records after the installation, operational and performance qualification tests are performed. Effective maintenance of the system is very important in terms of sustainability and occupational safety.

**Key Words:** Mine ventilation, mine monitoring, ventilation automation, gas detection, VOD

## 1. KISALTMALAR

- ACGIH** : American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Amerikan Devlet Endüstriyel Hijyenistleri Derneği
- BOELV** : Binding Occupational Exposure Limit Value. Bağlayıcı Maruz Kalma Sınır Değeri. (AB)
- IOELV** : Indicative Occupational Exposure Limit Value. Belirleyici Mesleki Maruziyet Sınır Değeri. (AB)
- OSHA** : Occupational Safety and Health Administration. İş Güvenlik ve Sağlık Kurumu
- NIOSH** : National Institute for Occupational Safety and Health. Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü.
- TWA** : Time Weighted Average. Zamana bağlı ortalama
- TLV- TWA** : Threshold Limit Value- Time Weighted Average. Eşik sınır değeri- Zaman bağlı ortalama (Günlük 8 saat ortalaması için eşik sınır değeri, Haftalık 40 saat ortalaması için eşik sınır değeri)
- STEL** : Short Term Exposure Limit. Kısa süreli maruz kalma sınırı
- PEL** : Permissible Exposure Limit. İzin verilen maruz kalma sınırı
- IDLH** : Immediately Dangerous to Life and Health. Yaşam ve Sağlık için Doğrudan Tehlike
- MSHA** : Mine Safety Health Administration. Amerikan Maden Güvenlik ve Sağlık Kurumu
- ABD** : Amerika Birleşik Devletleri
- DPM** : Diesel Particulate Matter. Dizel Partikül Maddesi
- VFD** : Variable Frequency Drive. Değişken Frekans Sürücüsü
- RFID** : Radio Frequency Identification. Radyo Frekansı Tanımlama Teknolojisi
- CFR** : Code of Federal Regulations. Amerikan Federal Yasalar (ABD)
- HVAC** : Heating Ventilating Air Conditioning. Isıtma Havalandırma ve Hava Şartlandırma
- AB** : Avrupa Birliği
- WHO** : World Health Organization. Dünya Sağlık Örgütü
- RGNBSM** : Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Temel maden güvenliği genel yönetmeliği (İspanya)
- TAEK** : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
- Safe Work Australia**: İş sağlığı ve güvenliği konusunda politika üreten Avustralya devlet kurumu.



- WL** : Working Level. 2,08 x 10E5 J/m3 potansiyel alfa enerji konsantrasyonu (Radon kaynaklı)
- WLM** : Working Level Month. 1 WL x 173 saat. Ayda 173 saat çalışma kabul edilmiştir.
- EU-BSS** : European Basic Safety Standards. Avrupa Temel Güvenlik Standartları
- DPM** : Diesel Particulate Matter. Dizel Partikül Maddesi
- IARC** : International Agency for Research on Cancer. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
- nm** : Nanometre, 1 metrenin milyarda biridir. Örneğin hücre zarı 12 nm'dir.
- TC** : Total Carbon. Toplam Karbon. Organik veya inorganik, uçucu veya sabit, çözülmüş veya askıda kalmış tüm karbonlar.
- IECEX System**: International Electrotechnical Commission System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres. Tehlikeli (patlayıcı) ortamlarda kullanıma yönelik ekipmanlara ilişkin standartlara sertifikasyon için uluslararası elektroteknik komisyonu sistemidir. IECEX globaldir.
- ATEX** : Atmosphère Explosive. Patlayıcı Ortamlar. Avrupa'daki patlayıcı ortamları kontrol etmek için oluşturulan iki Avrupa Birliği mevzuat yönergesine verilen genel isimdir. ATEX, AB ile ilgilidir.
- PLC** : Programmable Logic Controller. Programlanabilen Lojik Kontrol Cihazı
- NDIR Sensor**: Non Dispersive Infrared Sensor. Dağıtıcı olmayan kızılötesi sensör.
- GPS** : Global Positioning System. Global Konumlama Sistemi
- VOD** : Ventilation On Demand. İhtiyaca Bağlı Havalandırma
- OSMRE** : Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement. Yerüstü Madencilik İslah ve İcra Dairesi
- LEL** : Lower Explosive Limit. Alt Patlama Sınırı (Havada yanma için gerekli minimum konsantrasyon)
- UEL** : Upper Explosive Limit. Üst Patlama Sınırı (Hava ile yanacak maksimum konsantrasyon)
- EQI** : Exhaust Quality Index. Egzoz Kalite Endeksi
- RGTI** : Relative General Toxicity Index. Genel bağıl zehirlilik endeksi.
- DCS** : Distributed Control Sistem. Dağıtık kontrol sistemi
- CPS** : Cyber Physical System. Siber fiziksel sistem
- ICT** : Information Communication Technologies. Bilgi ve haberleşme teknolojileri
- Cx Process**: Commissioning Process. BİD (Belgeleme, İletişim, Doğrulama) Prosesi
- UPS** : Uninterruptible Power Supply. Kesintisiz güç kaynağı
- HMI** : Human Machine Interface. İnsan makine arayüzü
- CMMS** : Computerized Maintenance Management System. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemi

## 2. GİRİŞ

Yer altı madencilik faaliyetleri M.Ö.3000 yıllarına kadar dayanmaktadır. İlk yer altı sistemleri yalnızca sığ derinlikteydi ve çekiç ve kazma gibi temel aletlerle inşa edildi. Zamanla, yeni teknolojiler daha derin ve daha karmaşık madenlere izin verdi ve havalandırma, güvenli bir maden ortamı için bir gereklilik olarak kabul edildi. Georgius Agricola (1494 – 1555) “De Re Metallica” adlı kitabında şunları belirtmiştir: “[...] eğer bir tünel çok uzunsa ve diğer şaftlara bağlantı yoksa, hava seyreltilmez ve kalınlaşarak, madencilerin nefes almasını zorlaştırır. Bazen gerçekten boğulurlar ve ışıkları söner. Bu nedenle madencilerin nefes alabilmesi ve işlerini yapabilmesi için makinelere ihtiyaç var.” Agricola yer altı madenlerinde temiz hava sağlamak için kullanılan ayrıca ilk otomatik makineyi tasarladı. Takip eden yüzyıllarda 1700 yılı civarında, insanların 300 m ve daha fazla derinliklere inildiği belgelendi.



**Şekil-1** Agricola tarafından tasarlanmış maden havalandırma sistemi. [20]

17. yüzyıldan itibaren patlatma işlemlerinin başlaması ve devam eden sanayileşme ile havalandırma ihtiyacı daha da arttı. Baca etkisi kullanılarak, 18. yüzyıldan itibaren hava akışını artırmak için yüzey fırınlarında ateşler kullanıldı. İlk gaz algılama sistemleri olarak kanarya ve kemirgenler gibi hayvanlar ve güvenlik lambaları (Davy Lambası) kullanıldı. Yaklaşık 1800'den sonra, madenlerin içindeki hava akışını daha iyi yönlendirmek için kontrol cihazları kullanıldı. Akışkanlar mekaniği ve termodinamik konusundaki bilimsel farkındalık, sistemlerin birbiriyle ilişkilerinin anlaşılmasını artırdı.

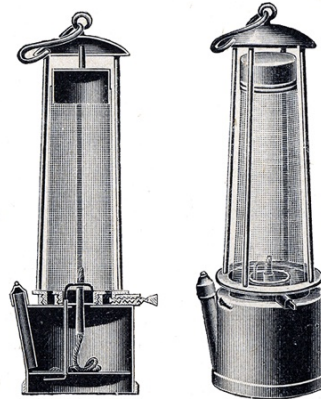


Fig. 192. Davy'sche Sicherheitslampe

**Şekil-2** Madenci (Davy) feneri. [26]

Bugün, 1.000 m'den daha fazla derinlikler yaygındır ve dizel ekipman, 1970'lerde piyasaya sürülmesinden bu yana ana kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir. Yeni teknolojiler – pnömatik ve elektrik motorları –büyük miktarda hava sağlayacak büyük maden fanlarının kurulmasına izin verdi. Ayrıca, yer altı sistemlerinde daha iyi akış kontrolü sağlamak için 1900'lerden beri daha küçük fanlar kullanılmaktadır. Havalandırma yazılımının geliştirilmesi (yaklaşık 1950'den itibaren), madencilik projelerine başlamadan önce bile bir maden havalandırma sistemi planlamayı nispeten basit hale getirdi.

Madencilik, çoğu zaman yeni teknolojilerin itici motoru olmuştur. Bununla birlikte, havalandırma sistemlerinde optimizasyon yaygın olarak yapılmamakta ve bu da “ayarla ve unut zihniyetine” yol açmaktadır. Mevcut sistemlere dokunulmaz ve yalnızca madene yeni bölümler eklendikçe sistem genişletilir. Bu da genel verimlilik kaybına neden olur.

Madencilik şirketleri sürekli olarak yer altı madenlerinin işletme maliyetlerini düşürmenin yollarını aramaktadır. Havalandırma kontrol stratejilerinin uygulanması, madende yeterli düzeyde taze hava sağlarken enerji tüketimini azaltmak için uygun bir seçenektir. Bir yer altı madenin toplam enerji tüketiminin tahminen %50'si havalandırma sisteminden gelir. Bu bildiri, maden havalandırma sistemi otomasyonu verimliliğini artırmak için tasarımdan başlayarak sistem gereksinimlerine, çeşitli stratejilere ve sistemi ihtiyaca bağlı olarak kurma ve işletme konusunda genel bir bakış sunmaktadır. 2005 yılında Kanada Ulusal Kaynaklar Kurumu'nun (NRC) yaptığı “Kanada Yer altı Madenleri Enerji Tüketimi Kıyaslaması” çalışması dahilinde 10 adet madendeki toplam ortalama enerji tüketimi çıkartılan ton cevher başına 90,4 kWh olarak tespit edilmiştir. Havalandırmanın bu değer içindeki değeri 44,3 kWh olarak bulunmuştur ve toplam değer içindeki oranı %49'a karşılık gelmektedir.

Bir yer altı madeni, cevheri yüzeye çıkarmak için çok sayıda delme, patlatma, kırma, yatay-düşey taşıma ve kaldırma işlemlerinin yapıldığı yoğun bir ortamdır. Tipik olarak temiz hava, üfleme veya egzoz fanları kullanılarak taze hava giriş şaftı aracılığıyla madenin ana omurgasına, iletilir. Kirli hava bir egzoz şaftı aracılığıyla yüzeye atılır. Tali fanlar (ikincil ve üçüncül) daha sonra gerektiğinde bu omurgaya bağlı uzak çalışma yüzlerine (ayak, arın) taze hava vermek için kullanılır. Tali fanlar, aktif cevher çıkarma alanındaki aerosollerin ve gazların uzaklaştırılması ve patlamadan sonraki bekleme zamanını kısaltmak gibi görevleri üstlenir.

Maden havalandırmasının ana görevleri aşağıdaki gibidir:

- Yeterli miktardaki taze havayı maden ocağındaki gereken yere ulaştırmak
- Maden ocağında bulunan zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazları seyreltmek, dışarı atmak veya bulunduğu yerden ötelemek
- Maden ocağında bulunan tozu seyreltmek, dışarı atmak veya bulunduğu yerden ötelemek
- Maden ocağındaki sıcaklık ve nem değerlerini ihtiyaca göre yükseltmek veya azaltmak
- Gerekli olduğunda çalışanlar arasında oluşabilecek hastalık (covid19, grip, tüberküloz vb..) bulaşını azaltmak

Yer altı maden ocaklarında havalandırmayı yönetmek için üç ana stratejiden söz edilebilir:

**Programlama (Zaman Programı):** Normal günlük maden işletmesi sırasında, temiz hava gereksinimleri genellikle personel ve mobil dizel ekipmanın hava akışı gereksinimlerine bağlıdır. Ancak patlatma sırasında hava akışına daha fazla kirletici eklenir. Herhangi bir patlatmadan önce, tüm personel iki saat veya daha uzun bir süre için yüzeye geri gönderilir, bu da etkin yer altı üretim süresini kısaltır. Ancak, ana yüzey fanlarında ve yardımcı fanlarda değişken hızlı sürücüler (VFD) kullanarak fan hava debileri programlanarak ve artırılarak, patlatma etkisini seyreltme süresi etkili bir şekilde %50 oranına kadar azaltılabilir. Bu, personelin aktif yüzlere (arın) daha hızlı dönmesine ve normal maden işletmesine devam etmesine olanak tanır.

**Telemetri:** Çalışanlar ve araçlar, radyo frekansı tanımlama (Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee) etiketleri/vericileri ile donatılabilir ve bu, kontrol odası operatörlerinin yer altındaki aktiviteyi konuma göre görüntülemesine olanak tanır. Etiketler veya vericiler, kablosuz sinyallerle iletişim kurduğundan, etiketlerle iletişim kurmak ve verileri yüzeye geri göndermek için alıcılar (ek yer altı ağ altyapısı) gerekecektir. Etiket konumunun tam veya genel alanını sağlamak için telemetri veya varlık izleme yazılımı da gerekli olacaktır. Telemetrinin kullanılması, tek kademeli, iki kademeli veya bazı

durumlarda VFD'li yardımcı fanların giren aracın türüne veya başlıkta yer alan faaliyete bağlı olarak gerekli hava akışını kontrol etmesine olanak tanır.

**Çevresel:** Yer altı madenlerinde hava debisi, sıcaklık ve dizel veya diğer ekipmanlar tarafından üretilen çeşitli kirleticilerin konsantrasyonunu izlemek için çevresel izleme sistemi kurulabilir. Tipik dizel ekipmanın fren beygir gücüne ve ayrıca karbon monoksit (CO), dizel partikül maddesi (DPM), nitrojen oksitler (NOx) ve diğer tehlikeli gazlar gibi kirletici maddelere dayalı olarak gereken hava akışı miktarını belirlemek için düzenlemeler mevcuttur. Bu gazlar izlenerek fanlar, bu gazların tespit edilmesi durumunda taze hava akışını artıracak şekilde programlanabilir. Ayrıca söz konusu çevresel izleme sistemleri ilgili alandaki giriş ve çıkış havası çevresel özelliklerini izleyerek ihtiyaca uygun havalandırma yapılmasına olanak tanır ve bu durum patlatma sonrası iş bırakma ve işe geri dönme arasındaki süreyi de 30 ila 90 dakikaya kadar kısaltabilir.

### 3. VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma)

#### 3.1. Genel

Maden işletmelerinde faaliyet yoğunluğu ve derinlik arttıkça yer altındaki çalışmalar için yeterli miktarda besleme havası sağlamak zorlaşmaktadır. Havalandırma, ısıtma ve soğutma için harcanan elektrik miktarı toplam maden enerji tüketiminin %30 ila %40'ına hatta bazı maden işletmelerinde %50'sine bile ulaşmaktadır. Maden derinleştikçe havalandırma ve soğutma maliyetleri de artacaktır. Bu noktada enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik işletme önlemi olarak VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma) konsepti birçok maden işletmesinde uygulanmaktadır. Doğru uygulandığı zaman VOD yer altı maden işletmelerinde ocak çevresel şartlarını iyileştirirken, havalandırma için tüketilen enerji miktarını önemli ölçüde düşürmektedir. VOD uygulaması, bazı maden işletmelerinde havalandırma maliyetlerini %50'ye kadar düşürmektedir.

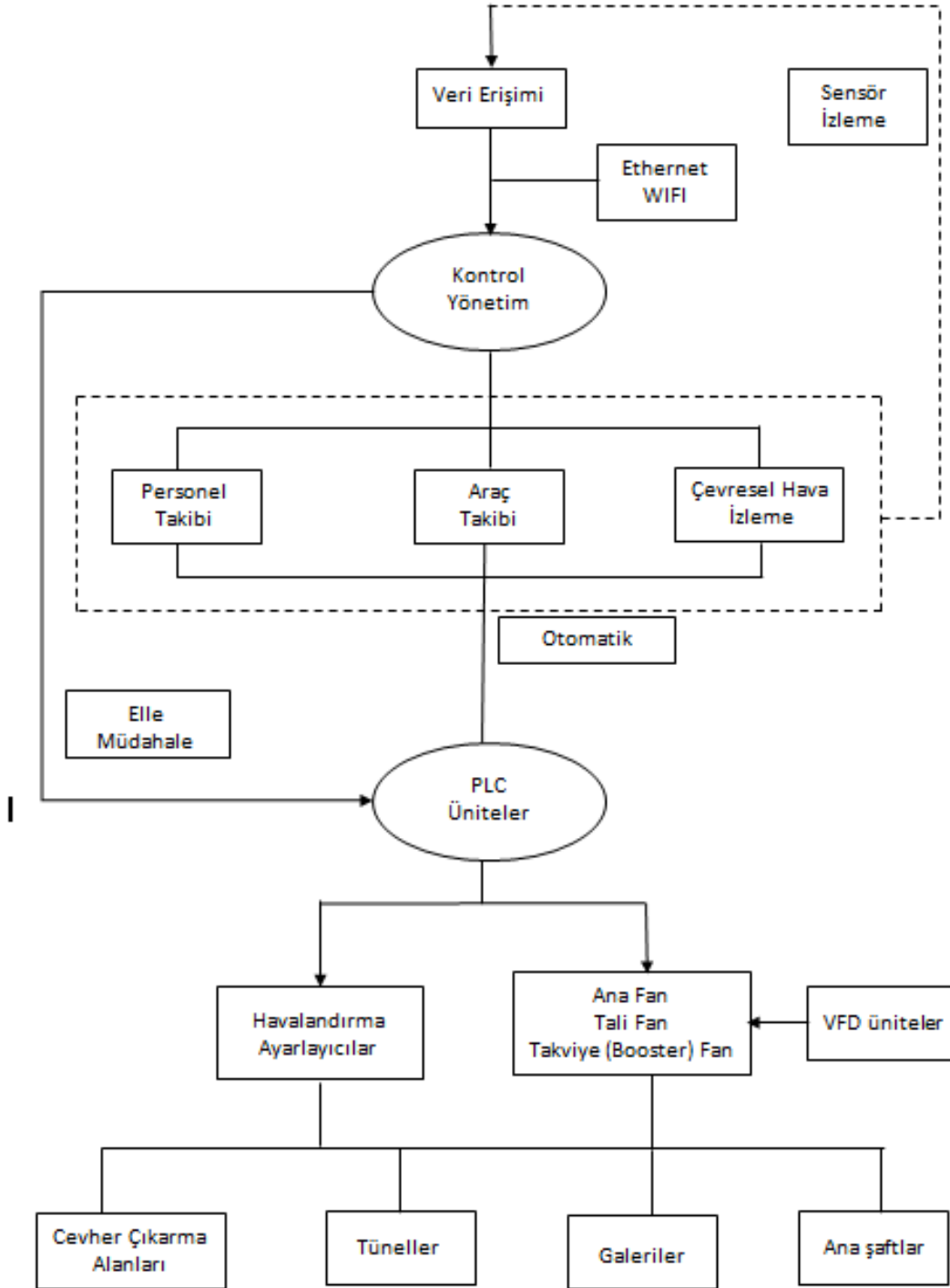
Fanlarda afinite kuralı olarak bilinen kavrama göre, fan debisi fan dönüş hızıyla, fan basıncı dönüş hızının karesiyle, fanın çektiği akım (elektrik gücü) ise fan dönüş hızının küpüyle orantılıdır. Dolayısıyla ihtiyaca bağlı olarak fan debisinde oluşturulan kısılma, fanın çekeceği elektrik akımının küp oranında azalmasına sebep olacaktır. Örnek vermek gerekirse, debide %20'lik bir azalma (tasarruf), fanın çektiği elektrik akımından (fan çalışması için gereken elektriksel enerji) yaklaşık %49 tasarruf anlamına gelecektir.

VOD sistemi esas olarak uzaktan kumandalı havalandırma ekipmanı, haberleşme sistemi, ekipman ve personel takip sisteminden oluşur. VOD sistemi, maden ocağında belirlenen yerlerde gerekli taze havayı sağlarken havalandırma verimliliğini artırabilir. VOD haberleşme kademeleri diyagramı Şekil-3'de verilmiştir.

Tipik bir VOD sistemi işletilebilmek için, maden ocağındaki havalandırma ekipmanına, yer altı ana hava yollarına, tünellere ve cevher çıkartılan hacimlere çeşitli sensörler yerleştirilmektedir. Hava debisi, hava hızı, fan frekansı, güç tüketimi, titreşim, sargı sıcaklığı, yatak sıcaklığı gibi havalandırma ekipmanı bilgilerinin yanısıra kanal sıcaklığı, statik basınç, nem, hava hızı, hava debisi ve NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO vb. konsantrasyonu gibi diğer çevresel parametreler ölçülmelidir. Yer altındaki personel ve araçlar kimlik kartları ile donatılmıştır. VOD, merkezi olmayan iletişim baz istasyonu/istasyonları aracılığıyla (sınırsız iletişim ve konumlandırma işleviyle) tüm çalışanların ve araçların doğru konumunu tespit edebilir. Toplanan veriler, yer altı iletişim sistemi aracılığıyla yer üstü VOD kontrol sistemine iletilmektedir. Üç boyutlu havalandırma simülasyonu yazılımı, gerçek zamanlı verilere dayalı otomatik simülasyon yaparak, tüm alanlar için gerekli güncel hava miktarını hesaplayabilir. Gerçek hava miktarı ile gerekli hava miktarı arasındaki farkı karşılaştıran VOD sistemi, yer altı çevresel güvenlik gereksinimlerini karşılamak için fanları ve hava ayarlayıcı üniteler gerçek zamanlı olarak uzaktan ayarlayabilir ve kontrol edebilir.

VOD uygulanan maden ocaklarında havalandırma işlemi gerçek ihtiyaçlara göre ayarlanabilir. Buna göre:

- Maden ocağında ihtiyaç olan bölgelerde havalandırma yapılır. Bu da çoğu zaman maden ocağındaki aktif bölgelere tekabül eder.
- Maden ocağında havalandırılan bölgelerde hava akışı ihtiyaçları zamana bağlı olarak değişir.
- Tüm yardımcı fanlara aynı anda ihtiyaç duyulmaz
- Başlangıç tasarım değerleri zaman içinde değişmek zorundadır. Dolayısıyla maden ocağı havalandırma sistemleri “ayarla ve unut” tipinde sistemler değildir.



Şekil-3 VOD haberleşme kademeleri diyagramı. [8]



VOD, beş değişik seviyede uygulanabilir:

1. Kullanıcı müdahalesi: Havalandırma ihtiyaçlarının sağlanması için fanların ve ayarlayıcıların elle kontrol edilmesi. Bu kontrol bizzat mekanizmaların başından veya yazılım üzerinden işletme personeli tarafından yapılır.
2. Zaman programı: Fanlar ve ayarlayıcılar elle kumanda edilmez. Önceden ayarlanmış zaman programları devreye girer.
3. Olay tabanlı: Maden ocağındaki belli aktivite ve olaylar (patlatma veya yangın) doğrultusunda havalandırma sisteminde otomatik değişiklik yapılması.
4. İşaretleme: Maden ocağındaki havalandırma personel ve iş makinalarının gerçek zamanlı konumlarına göre ayarlanır. Personel ve iş makinalarının gerçek zamanlı konum bilgileri işaretleme ve takip sistemi ile elde edilir.
5. Çevresel: Maden ocağındaki gaz konsantrasyonlarının bilgisayarlı izleme sistem yazılımı vasıtasıyla takip edilmesi (Çevresel İzleme Sistemi).

VOD sisteminin görev yapabilmesi için, gaz ve hava akış hissedicileri, personel ve iş makinası takip cihazları, fan kontrol sistemleri, yetkin işletme personeli gereklidir.

VOD sisteminde çalışılan bölgelere havalandırma yapılırken çalışılmayan bölgelere minimum seviyede veya hiç havalandırma yapılmaz. Birçok yasal mevzuat kömür madenlerindeki minimum havalandırma miktarı konusunda net sınırlar koymuştur. Bu noktada hissedicilerin ve sistemlerin ayarsız, kalibrasyonsuz olması durumunda kömür madenlerinde debi kısmak ölümcül sonuçlara sebep olabilir. Dolayısıyla, bu yöntem tipik olarak metal madenlerinde ve metalik olmayan cevher çıkarılan (tuz, potas, vb..) madenlerde uygulanırken kömür madenlerinde uygulanmaz.

Artan enerji fiyatları ve sonuç olarak istenmeyen gazlar ve toza ilişkin daha katı mesleki maruz kalma limitleri ile madencilik şirketleri gelecekte bu değişen taleplerle nasıl başa çıkacakları sorusuyla karşı karşıya kalmıştır. Günümüz toplumu çevresel kaygıların bilincinde olduğu için, ekonomik nedenlerin yansısı sosyal itibar da şirketleri sistemlerini optimize etmeye motive eden bir faktördür.

Bu noktada çözüm, ihtiyaca bağlı havalandırma (VOD) sistemlerinin yeterli şekilde kullanılması olabilir. İhtiyaca bağlı havalandırma, bölgesel maden alanlarına yalnızca ihtiyaç duyuldukları zamanlarda gerekli miktarda taze hava sağlanması anlamına gelir. Bu kavram, sabit miktarda ve sürekli bir havalandırma yerinen dinamik ve akıllı bir hava beslemesine yol açar ve bu da bir maden içinde gerekli olan toplam hava akışının azalmasına yol açar. Toplam hava akışını azaltarak, hava akışı ile fan gücü arasındaki kübik ilişki (fan afinite kuralları) nedeniyle yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilir.

Örneğin bir madende, hava akışında %20 artış ihtiyacı duyulursa bu durum, basma yüksekliğinin %44 artmasına ve ardından fan gücünde %73 artışa yol açacaktır. VOD uygulamasını akıllı hava yönetimiyle birlikte kullanarak, ilave havalandırma yapmadan ihtiyaç karşılanması mümkündür. Ortalama olarak havalandırma, bir madenin enerji maliyetlerinin %50'sine karşılık gelirken bir madenin toplam maliyetinin %15'ine kadarını oluşturur. Buna göre, VOD madenlerde yüksek tasarruf potansiyeline sahiptir denebilir.

Akıllı havalandırma ile madenlerde hava kalite taleplerinin karşılanması daha kolay olacaktır. Bu sayede VOD, genel olarak daha temiz ve daha güvenli bir maden ortamı sağlar. Ayrıca, yeni dizel motorlar gibi diğer iyileştirmeler daha düşük kirletici emisyonlu egzoz gazına sebep olarak temiz maden havası kavramını destekler, ancak bunlar havalandırmanın kontrol edilmesiyle doğrudan ilişkili olmadığı için VOD ile ilgili değildir. Maden Havalandırma Optimizasyonu konsepti içinde VOD uygulaması önemli yer tutar.

Havalandırmanın maden ocağı ortam hava sıcaklık şartlarının üzerindeki etkisi tartışılmazdır. Yapılan çalışmalarda maden ortamındaki yaş termometre sıcaklığı ile çalışanların verimliliği arasında ilişki kurulmuştur. ABD metal madenlerinde 27 C veya altında maksimum verim elde edilirken, 27 C ile 29 C arasında ise verim bir alt seviyeye düşmektedir. Ayrıca, farklı kömür üreticisi ülkelerin denetim kurulları da madencilerin sağlığını göz önünde bulundurarak iklim koşullarına göre izin verilen maksimum yaş termometre sıcaklığı değerini şart koşturmuştur. Bu değerler Hindistan, ABD, İngiltere kömür madenleri için sırasıyla 33,5 C, 30,0 C ve 33,0 C'dir. Havalandırma miktarının artırılmasıyla mahal sıcaklıklarının

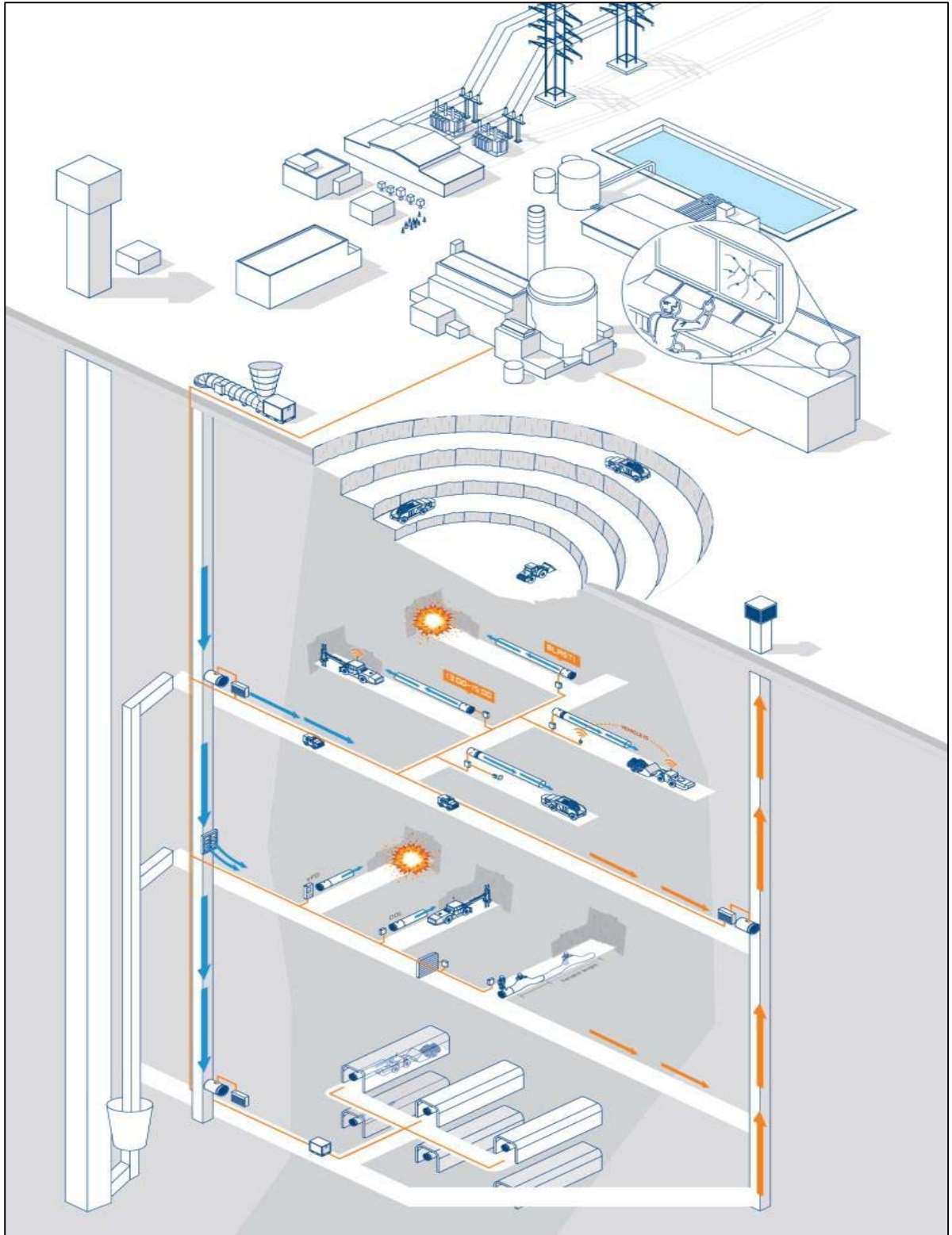


azaltılması mümkündür. Derin madenlerde oluşan “otomatik sıkıştırma” (auto-compression) etkisi şaftlardan madenin derinliklerine akan havaya entalpi eklenmesine sebep olur. Derin olmayan madenlerde bu etkinin getirdiği ilave ısı göz ardı edilebilir. Fakat maden derinleştikçe (örneğin 300 metreden sonra) maden havalandırma/iklimlendirme hesaplarına bu etki dahil edilmelidir.

Madenler derinleştikçe havanın katetmesi gereken mesafe uzamakta, dirençler (şok ve sürtünme kayıpları) artmakta ve gereken havanın ilgili aktif yüzlere ulaştırılması ve zararlı emisyonları seyreltme ve maden ocağı dışına atma işi zorlaşmaktadır. Öte yandan maden derinleştikçe gönderilen hava otomatik sıkıştırma etkisi yüzünden ısınmaktadır. Bu durum bazı derin madenlerde havalandırma sisteminde cebri soğutma yapılmasını gerektirebilir.

Madende çalışan dizel araçların sayısının artması durumunda araçların yaydığı ısı ve zararlı egzoz emisyonlarını seyreltmek için havalandırma miktarlarının da artırılması kaçınılmazdır. Dizel araçlar elektrikli olanlarla yer değişse bile araçların ısı yayma durumu değişmeyecektir. Özellikle derin maden işletmelerinde havalandırma sistemleri işletme maliyetleri dikkatle yönetilmesi gereken husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan elektrik, yatırım ve bakım maliyetleri de eklenince, yer altı kaynaklarının ekonomik olarak çıkarılması için havalandırma sistemleri optimizasyonu giderek daha fazla bir gereklilik haline gelmiştir. Optimizasyon olmadan eklenecek hacimler madenlerdeki enerji maliyetlerinde önemli ölçüde artışa yol açacaktır. Günümüz havalandırma otomasyon sistemleri ihtiyaç duyulan optimizasyonu güncel bilgi toplayıp işleyen ve dinamik kararlar verebilen senaryolar yardımıyla sağlayabilmektedir.

İhtiyaca bağlı havalandırma ve havalandırma sistem optimizasyonu süreçlerinin genel hedefi, üretimi arttırmak ve hava akışını yönetmelikler doğrultusunda etkin bir şekilde kontrol ederek enerji tasarrufu sağlamaktır. Örneğin, patlatmadan sonra kontrollü havalandırma ile yeniden giriş sürelerini kısaltılır ve üretim artırılabilir.



Şekil-4 VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma) sistem şematik görüntüsü. [28]

VOD uygulanan havalandırma sistemlerinde ayarla-unut mantığı kullanılmaz, sistem dinamik olarak işletilir. İlgili maden havalandırma sistemine VOD uygulamadan önce aşağıdaki konuların sorgulanması gereklidir:

- Tüm mahallerde havalandırma gerekiyor mu?
- Havalandırma gereken alanlarda sabit havalandırma miktarları gerekiyor mu?
- Tüm tali havalandırma sistemlerine aynı anda ihtiyaç duyuluyor mu?
- Orijinal sistem tasarım kriteri aşıldı mı?
- Aktif olmayan zamanlarda havalandırma gerekli mi?

Tekil proseslerin (patlatma, çıkartma, taşıma) zamanlamasını ayarlayarak işletme verimliliği daha da artırılabilir. Akıllı yükleme yönetimi daha düşük işletme maliyetlerini sağlayabilir. (Örneğin yüksek elektrik enerjisi gerektiren proseslerin düşük elektrik tarifeli zaman dilimlerine kaydırılması).

VOD sisteminin uygulanması için, maden havalandırma ağı, süreçler ve yönetmelik gerekleri hakkında eksiksiz ve ayrıntılı bilgi gerekir.

Bölgesel hava taleplerini kesin olarak tanımlamak için, tüm araçların özellikleri ve konumları bilinmelidir. Ayrıca, personel konumları bilinmelidir. Herhangi bir alanda personel olmadan debiler izin verilen minimum değerlere düşürülebilir. Personel ve araçların konumlarının tespiti için izleme ve tanımlama sistemi gerekli olacaktır. Ayrıca konumları tespit edilen araçların aktif halde olanları da bilinmelidir.

Daha sonra araç ve personel hakkındaki bilgiler, gerekli hava akışlarını belirlemek ve uygun davranışları üretmek için analiz edilmelidir. Verilerin analiz edilmesi ve komutların tetiklenmesi, merkezi bir kontrol sistemi veya merkezi olmayan bir sistem tarafından yürütülebilir. Her iki durumda da bilgi akışı için uygun haberleşme altyapısı gereklidir.

Ayrıca, hava akışlarını hesaplanan ihtiyaçlara göre dinamik olarak ayarlayabilmek ve ilgili bölgelere ulaştırabilmek için havalandırma sisteminde gerekli altyapı kurulmalıdır. Fanların değişken debili olmaları, hava ayarlayıcılar, damperler, kapılar gibi hava akışı yönlendirme mekanizmalarının sistemde yer almaları gereklidir. İhtiyaç duyulan kısa reaksiyon zamanlarını temin edebilmek için havalandırma altyapısının uzaktan kontrol edilebilmesi gereklidir. Bu durumda fanlar için VFD üniteler, hava yönlendirme ve ayar mekanizmaları için ise elektrikli veya pnömatik tahrik ünitelerinin sisteme dahil edilmeleri gereklidir.

Yönetmelik taleplerini karşılamak için, sadece kullanılan araçlara göre statik hesap yapmak (örneğin dizel araçların egzoz gaz emisyonları) dizel motorlu ekipman yeterli olmayacaktır. Özellikle büyük madenler, gaz patlamaları gibi beklenmeyen olaylar açısından çok büyük tehlike barındırmaktadır. Maden ocağını gaz algılama sensörleri ve ölçüm cihazlarıyla izlemek, hava kalitesini analiz etmek ve belirli yönetmelik gerekleri doğrultusunda havalandırmayı yönetmek verimli ve güvenli maden işletmesi için gereklidir.

VOD, hesaplanan miktarları ezbere uygulamak yerine bir izleme sistemi kullanır. Böylece, maden havalandırma sistemi ani olaylara tepki veremeyen miktara dayalı bir sistem olmaktan çıkıp kaliteye dayalı bir sistem (ihtiyaca dayalı) haline gelecektir.

VOD değişik seviyelerde uygulanabilir. Genel olarak 5 seviye VOD uygulamasından bahsedilebilir. Uygulama açısından seviye yükseldikçe elde edilen kazanımlar artacaktır.

Seviye-1: Kullanıcı müdahalesi. Havalandırma ihtiyaçlarının sağlanması için fanların ve ayarlayıcıların elle kontrol edilmesi. Bu kontrol bizzat mekanizmaların başından veya yazılım üzerinden işletme personeli tarafından yapılır.

Seviye-2: Zaman programı. Fanlar ve hava ayarlayıcılar elle kumanda edilmez. Önceden ayarlanmış zaman programları (önceden ayarlanmış günlük aç-kapa yapısıyla) devreye girer.

Seviye-3: Olay tabanlı. Maden ocağındaki belli aktivite ve olaylar (patlatma veya yangın) doğrultusunda havalandırma sisteminde otomatik değişiklik yapılması.

Seviye-4: İşaretleme. Maden ocağındaki havalandırma personel ve araçların gerçek zamanlı konumlarına ve durumlarına göre ayarlanır. Personel ve araçların gerçek zamanlı konum bilgileri işaretleme ve takip sistemi ile elde edilir.

Seviye-5: Çevresel. Maden ocağındaki gaz konsantrasyonlarının, havalandırma parametrelerinin bilgisayarlı izleme sistem yazılımı vasıtasıyla takip edilmesi (Atmosfer İzleme Sistemi).

Seviye 1 dışındaki tüm seviyelerde otomatik kontrol yazılım bazlıdır.

İhtiyaca bağlı havalandırma (VOD), maden ocağında ihtiyaç duyulan zamanda gerekli miktarda havanın akıllı ve kontrollü bir şekilde sağlanmasını hedefleyen maden havalandırma sistemlerindeki optimizasyonun kavramsal adıdır. Bir VOD sistemlerinin uygulanması için aşağıdaki hususlara dikkat edilir:

- Havalandırma ihtiyaçları emisyon kaynakları, tüketiciler ve düzenleyici yönergeler doğrultusunda tanımlanır.
- Emisyon kaynakları, tüketiciler, personel konumları, araç konumları, araç tanımları bilinir.
- Havalandırma sistemi değişken debili ana ve tali fanlar, ayarlayıcılar ve kapılar yardımıyla ayarlanır
- Hava, gaz ve toz ölçüm cihazları ve sistemleri doğrulanır
- Takip sistemiyle, ağ altyapısı ile, kontrol üniteleri ve yazılım ile ağ haberleşmesi sağlanır.

### 3.2. VOD Uygulamalarına Dünya'dan Örnekler

#### 3.2.1. Güney Afrika

Güney Afrika'daki 7 adet altın, 3 adet platinyum olmak üzere toplam on adet madende yapılan enerji denetimi çalışması, VOD uygulamalarının hayata geçirilmesiyle yıllık toplam 179 421 MWh elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koydu. Ortaya çıkan maliyet tasarrufunun, ortalama 9 aylık geri ödeme süresiyle 11,57 milyon ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Ortalama sera gazı emisyon azaltımı yıllık %53 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu çalışmada, maden havalandırma fanlarına orta gerilim değişken hızlı sürücülerin monte edilmiştir. Verimliliği artırmak ve emisyonları azaltmak için VOD uygulamalarının bir parçası olarak ilgili maden havalandırma fanlarında orta gerilim değişken hızlı sürücülerin monte edilmesinin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Sonuçlar, VOD uygulamalarının maden işletmesindeki güvenlik ve çalışma ortamı koşullarından taviz vermeden, maden işletmesinin sürdürülebilirliğini ve karlılığını artırdığını göstermiştir.

#### 3.2.2. Brezilya

Brezilya'da madenlerde VOD havalandırma uygulaması 2013 yılında Ipueira madeninde başlamış ve kısa bir süre sonra Cuiabá, Córrego do Sítio I ve Vazante madenlerinde uygulanmıştır. Her maden, ana havalandırma için frekans invertörlerini benimsemiştir; bu sayede ana fan hızı, ihtiyaca göre ayarlanmaktadır. Uygulanan VOD sistemi tali fanlarda VFD uygulamalı değil, koşullara bağlı aç-kapa şeklindedir. Bahsedilen yer altı madenlerindeki havalandırma sistem özellikleri ve VOD kaynaklı tasarruf değerleri aşağıda Tablo-1'de verilmiştir.

Özellik	Córrego do Sítio I Madeni	Cuiabá Madeni	Vazante Madeni
Fan Sayısı (adet) (Ana ve Tali)	25	35	50
Cevher	Altın	Altın	Çinko
Mevcut Derinlik (m)	800	1.400	850
Konum	Santa Bárbara-MG	Sabará-MG	Vazante- MG
Debi (m <sup>3</sup> /s)	440	400 to 720	500
Senelik Tasarruf (%)	21	25	15

**Tablo-1** VOD uygulanan Brezilya madenlerindeki havalandırma bilgi özeti. [16]



### 3.2.3. İsveç

Kankberg altın madeni İsveç'in Kuzeyinde yer alan Skellefte bölgesindedir. 2 adet 315 kW lık ana fan ve 7 adet 37 kW lık tali fan maden ocağı havalandırma sistemine hizmet etmektedir. Tüm fanlar VFD lidir. VOD uygulaması 2016'da devreye girmiştir. Fanların toplam elektrik tüketimi %54 düşmüştür. Bu değer yılda 1918 MWh elektrik enerjisine karşılık gelmektedir. Ana fan debileri %21 azalmıştır. Bu durum propan kullanan ısıtıcıların yakıt tüketimini de azaltmıştır. Dolayısıyla ana fan havalandırma sistemi ısıtması aynı oranda azalmıştır. Bu da kabaca yıllık 1000 MWh lik bir enerji değeri olarak hesaplanmıştır. İlâveten, debiler azaldığı için fanlardan kaynaklanan gürültü miktarı da azalmıştır.

### 3.2.4. Çin

Çin'de yer alan Pulang bakır madeni işletmesi yılda 12,5 milyon ton bakır üretimi yapmaktadır. Yaklaşık 4 km derinliği olan bu maden için fizibilite değerlendirmesi amaçlı VOD simülasyonu yapılmıştır.

Buna göre; madende yer alan havalandırma sistemini oluşturan ana ve tali fanlar VFD lidir. İlâveten havalandırma sisteminde hava ayarlayıcılar da vardır. Gaz ve aerosol izleme sistemi, havalandırma sistemi sensörleri (debi, hava hızı, sıcaklık, basınç, nem vb.), personel ve araç takip sistemi madende kuruludur. Eğer Pulang Bakır madeni yıllık 650 m<sup>3</sup>/s sabit havalandırma debisi kullansaydı, yıllık havalandırma enerji tüketimi 21,5 MWh (0,1 USD/kWh) üzerinden bedeli 2,15 milyon USD olacaktı. VOD uygulamasıyla enerji tüketimi 9,8 MWh (0,1 USD/kWh) üzerinden bedeli 0,98 milyon USD olmuştur. Simülasyon sonucu olarak VOD uygulaması havalandırma enerji tüketiminde yaklaşık %54,5'lik bir tasarruf tespit edilmiştir.

### 3.2.5. Kanada

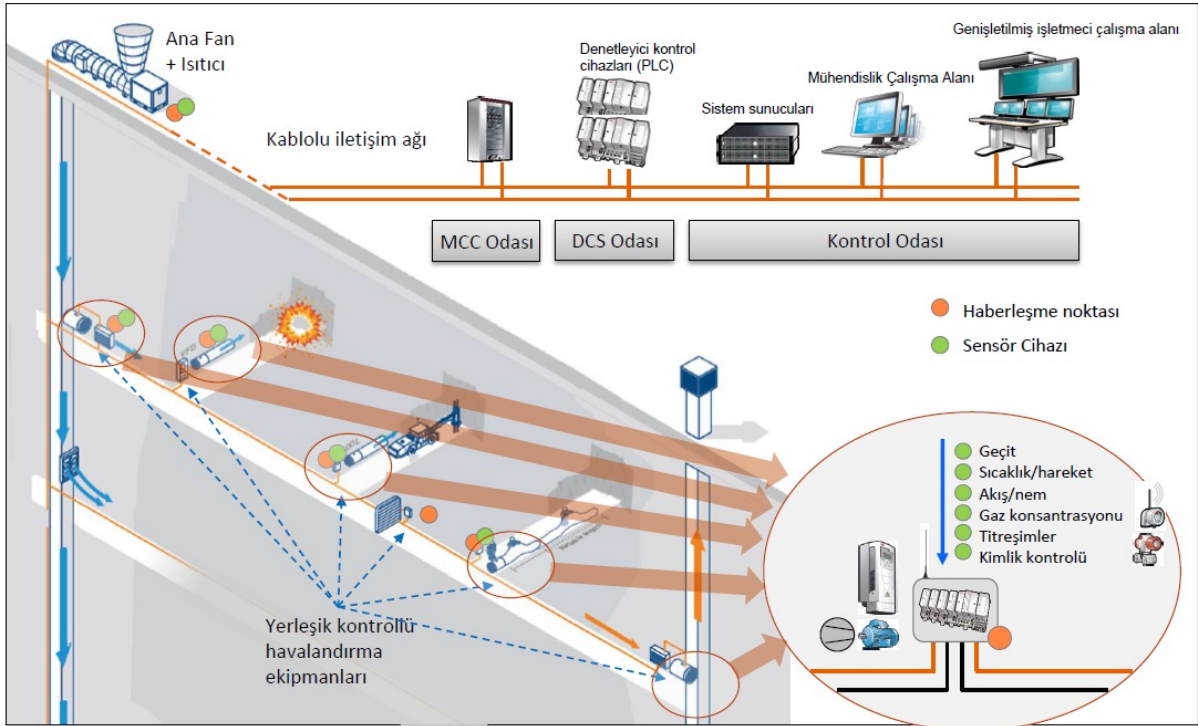
Kanada'daki Bousquet Madeni. 1990'da Havalandırma sistemi, 188 m<sup>3</sup>/s kapasiteli olarak maksimum on iki yüzeyde 1.800 ton/gün üretim kapasitesi için tasarlandı. Ancak, 1999'da üretim yaklaşık 2.100 ton/gün'e çıktı ve ilave 110 m<sup>3</sup>/s havalandırma gerekti. VOD uygulaması ile sistem kendi artırılmış üretim kapasitesini aynı havalandırma kapasitesi ile (188 m<sup>3</sup>/s) sağlayabildi.

## 4. ADAPTİF HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

### 4.1. Genel

Mevcut yaklaşımlar temel olarak ihtiyaca bağlı havalandırma konseptleri (VOD) ve sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına odaklanmaktadır. Ancak, akıllı ve güvenli "Geleceğin Madeni", gelişmiş ve uyarlanabilir havalandırma sistemlerinin daha da geliştirilmesini gerektirir.

Madencilik süreçleri ile havalandırma sistemi arasındaki etkileşimi daha da geliştirmek için, adaptif maden havalandırma sistemleri açısından yeni bütünsel kavramların geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzün ihtiyaca bağlı havalandırma sistemleri, meydana gelen ve ölçülen duruma tepki vermek için sensörlerden gelen giriş verisini kullanır. Ancak daha gelişmiş sistemler, gerçek zamanlı optimizasyon için tahmine dayalı modeller sağlamak üzere dinamik simülasyonlar ve makine öğrenimi ile birleştirilebilir.

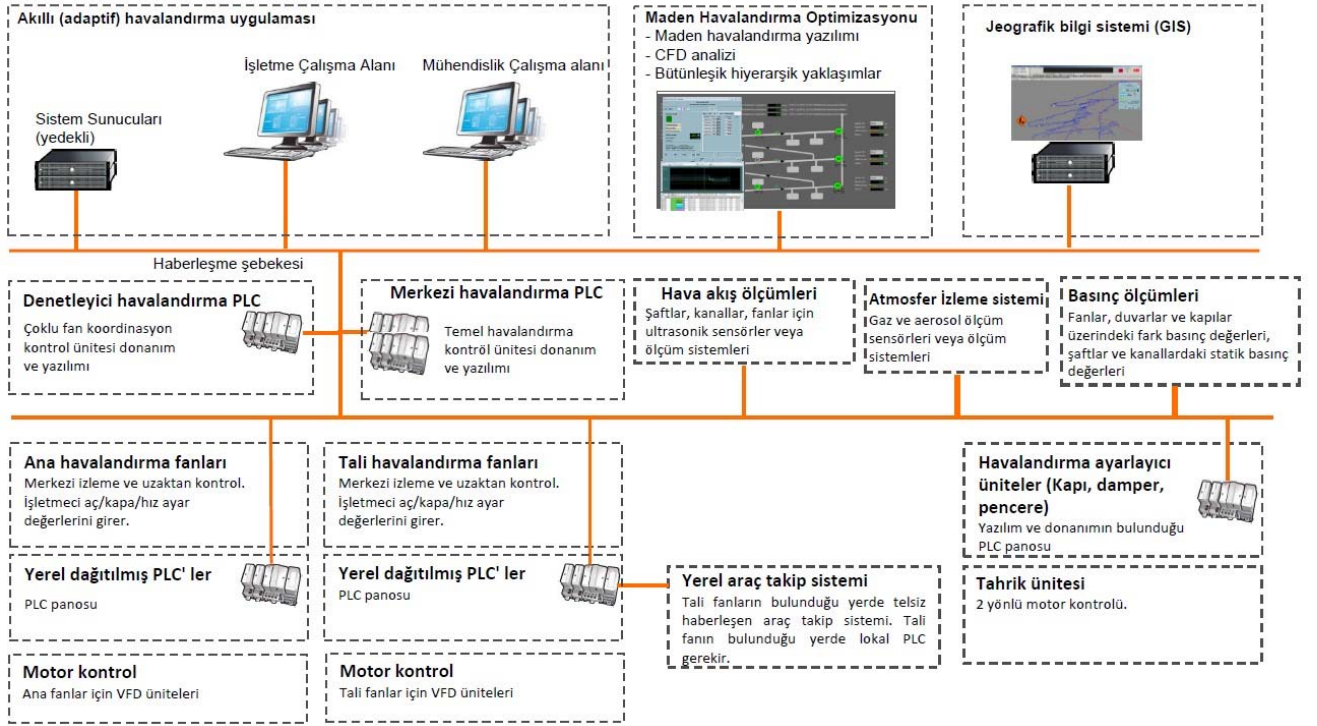


**Şekil-5** Akıllı maden havalandırma otomasyon sistemi genel bakış. (Kullanıcıların sisteme erişimi sabit veya seyyar ekranlar vasıtasıyla olabilir. Sistem haberleşmeleri telli telsiz olabilir. Emisyon ölçümü doğrudan sensörlerin sistem PLC ünitelerine bağlanmasıyla olabildiği gibi bağımsız atmosfer izleme sistemlerinin havalandırma otomasyon sistemine entegrasyonu ile de olabilmektedir. Havalandırma yazılımı ve CFD analizi de akıllı maden havalandırma kontrolünde yer alır) [32]

Bir madencilik veya havalandırma sisteminin kendisi siber-fiziksel bir sistem (CPS) olarak anlaşılabilir. CPS kavramı insanlara ve işletmelere çok çeşitli yenilikçi uygulamalar ve hizmetler sağlayan birbirine bağlı ve iş birliği yapan yeni nesil gömülü ICT sistemleri (Bilgi ve haberleşme teknolojileri) olarak tanımlanabilir. (Bilgi ve haberleşme teknolojisi (ICT) insanların ve organizasyonların dijital dünyada etkileşmelerini mümkün kılan tüm cihazlar, uygulamalar, sistemler, ağ cihazları, internet bağlantısı, bulut hesaplama sistemleri, dijital alışveriş, internet bağlantısı, haberleşme teknolojileri gibi kavramların tamamını içine alan terimdir).

Fiziksel bileşen, sistemdeki tüm nesnelere, sensörleri ve sürücülerini içerir. Sistemin kendisi, bağlam yönetimini ve sistemdeki farklı nesnelere ve varlıklar arasındaki ilişkileri dikkate alan bütüncül bir sistem mühendisliği yaklaşımı içerir. Süreç modelleme, (gerçek zamanlı) simülasyon, kendi kendine öğrenme modellerine dayalı optimizasyon ve ağ içindeki iletişime izin veren tüm bilgiler siber sistem içinde mevcuttur.

Değişen ortam ve koşullara uyum sağlayabilmek, belirsiz ve acil durumlarla başa çıkabilmek için sistemin sadece operasyonu kontrol etmesi değil, aynı zamanda öz-farkındalık, bağlam-farkındalık ve hedef-farkındalık anlamında adaptif olması gerekir.

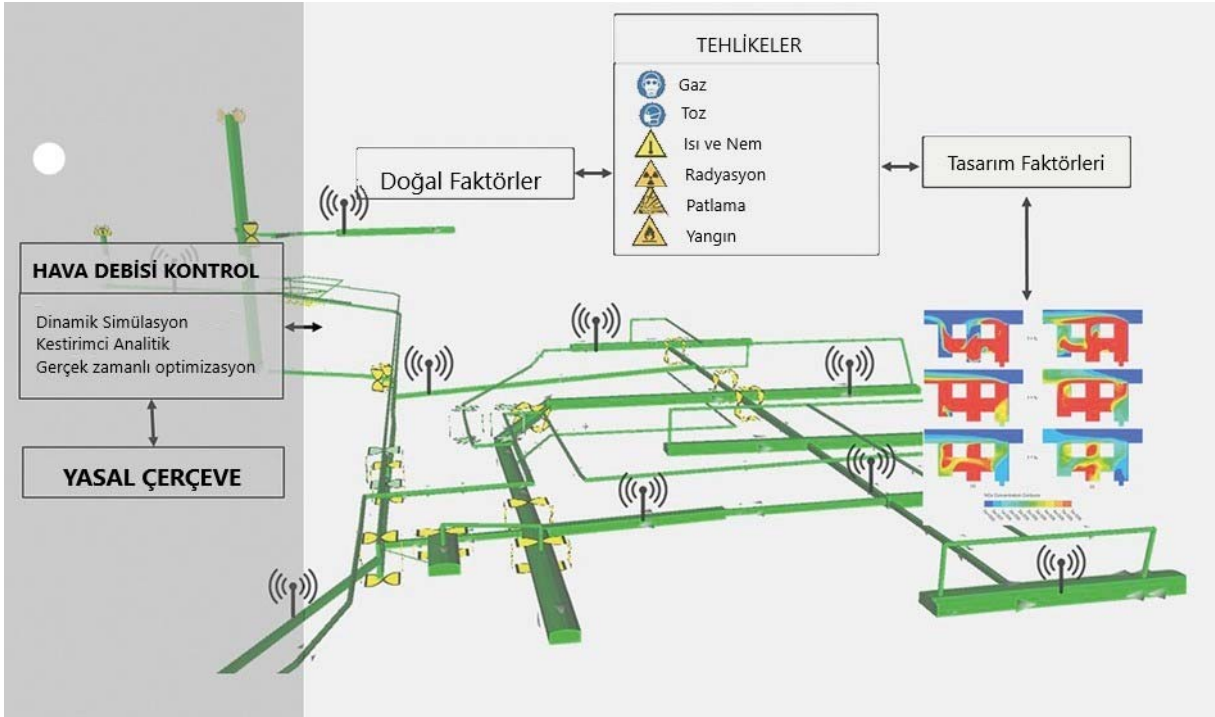


Şekil-6 Adaptif havalandırma sistemi genel bileşenleri. [32]

Adaptif havalandırma sistemlerinin geliştirilmesinin temeli, uygun ICT yapılarının kullanılmasının yanı sıra, sistemin kendisinin, ilgili nesnelerin durumu ve konumu, davranışları ve ilişkileri hakkında bilgi farkındalığına sahip olması, daha da önemlisi sistemdeki değişikliklerin oluşturduğu (genel) etkilerin sistem tarafından anlaşılmasıdır. Mevcut gereklilikleri karşılamak için genel havalandırma sisteminin ayrıntılı olarak anlaşılması gereklidir. Bunun için adaptif havalandırma sistemlerinin aşağıdaki fonksiyonlara sahip olması gereklidir:

- o Uygun maden havalandırma yazılımı tarafından desteklenen kapsamlı havalandırma şebekesi analizi ve hesaplaması.
- o Ayrıca hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) kullanarak akışkan davranışlarının incelenerek (tali) yüzey havalandırması analizi.
- o Maden havalandırma yazılımı sonuçları ile hesaplamalı akışkan dinamiği analiz sonuçlarının "bütünleşik hiyerarşik yaklaşımlar" yoluyla birleştirilmesi.





Şekil-7 Adaptif maden havalandırma sistemi. [23]

Maden havalandırma yazılımı: Havalandırma şebekesinin analizi ve hesaplaması için kullanılır. Sıkıştırılabilir havalandırma modellerini, hava akışlarını, basınçları, termodinamik özellikleri, kirleticileri, otomatik doğal havalandırma basıncı, geçici akış süreçleri, finans ve yangını modellemek ve simüle etmek için tasarlanmıştır. Canlı sensör verisi kullanan yazılımlar dinamik simülasyon ve kestirimci analitik alanlarında yeni fırsatlar sunmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği: İlgili gazların özelliklerini (basınç, sıcaklık, hız, yoğunluk) göz önünde bulundurarak yüz havalandırmasıyla ilgili akışkan dinamiklerini analiz etmek kullanılır. Maden havalandırma işlemleri için tipik uygulamalar:

- o Zor jeolojik koşullarda gazların davranışının modellenmesidir.
- o Patlatma sonrası yeniden giriş süreleriyle bağlantılı olarak patlatma dumanlarının davranışının modellenmesidir.
- o Yükleyici-taşıyıcı araçlar gibi dinamik gaz kaynaklarının davranışının devridaim veya modellenmesinin etkisinin araştırılmasıdır.

Bütünleşik hiyerarşik yaklaşımlar: Hem bireysel modelleme hem de simülasyon tekniklerinin ve akışkan analiz araçlarının (maden havalandırma yazılımı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği) avantajlarını birleştirmek için hiyerarşik bir yaklaşım önerilmiştir.

CFD kullanımıyla elde edilen (optimum) tali yüz havalandırmasından elde edilen bireysel sonuçlar daha sonra doğrulama için genel havalandırma ağına entegre edilecek, yaklaşımın ve sonuçların fizibilitesi gözden geçirilecektir.

Maden havalandırma yazılımının hiyerarşik yaklaşım içindeki ana özellikleri, havalandırma sisteminin sıkıştırılabilir havalandırma şebeke analizi ve hesaplaması açısından temsili, değişen havalandırma durumlarının gösterilmesi, değiştirilmesi ve analizi, sonuçların akla yatkınlık ve uygulanabilirlik analizidir.

Hiyerarşik yaklaşımdaki CFD analizinin ana işlevleri ve özellikleri, belirli (uzamsal olarak sınırlı) alanlar için (çok fazlı) akış modellemesi ve simülasyonu, (optimum) ikincil yüz havalandırma stratejileri

geliştirme ve analiz için basınç, sıcaklık, ısı ve ivme gibi ilgili sıvı özelliklerini dikkate alma olarak ifade edilebilir.

## 4.2. Adaptif Havalandırma Uygulamasına Dünyadan Örnek

### 4.2.1. İsveç

2018'in başlarında İsveç'teki Boliden Garpenberg madeni, VOD havalandırma sistemine ek olarak adaptif (optimize edilmiş) bir kontrol stratejisi uyguladı. Stratejinin amacı, ana ve yardımcı fanlar için enerji kullanımını daha da en aza indirirken aynı zamanda fanlar üzerindeki min/maks diferansiyel basınç ve madenlerdeki alanlar arasındaki hava etkileşimi gibi kısıtlamaları ihlal etmeden hava debisi ayar değerlerini sağlamaktır.

Hava akışı ölçümleri ve havalandırma sisteminin dinamik bir modeli kullanılarak, fanların maden genelinde koordinasyonu ve kontrolü gerçekleştirilebilir. Sayısal model, verilere dayalıdır ve işletmenin geçmiş verilerinden veya adım cevabı deneylerinden türetilmiştir. Sayısal model hem ilk çalıştırmayı hem de maden geliştikçe ömür boyu model bakımını nispeten kolay bir işlem haline getirir. Kontrol sisteminin, modeli yeniden kalibre etmek zorunda kalmadan uzun süreler boyunca istikrarlı bir şekilde çalıştığı kanıtlanmıştır. Sonuçlar, ilgili fanlar için enerji kullanımında %40'lık bir azalma (900 kWh) ve hava akışının daha fazla kontrol edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, madene giren toplam hava akışının %15 oranında azaltılması, kış dönemlerinde ek orantılı ısıtma tasarrufu sağlayacaktır.

## 5. ATMOSFER İZLEME SİSTEMLERİ

### 5.1. Giriş

Kanarya kuşları, metan ve karbonmonoksit özellikle duyarlı oldukları için bir zamanlar kömür madenlerinde erken uyarı sistemleri olarak kullanılmışlardır. Kuşlarda gözlemlenen herhangi bir stres işareti madencilere ortamın güvenli olmadığı fikrini vermekteydi. Günümüzde ise madenlerde kanaryalar emekli olmuşlar, mekanik havalandırma ve gaz algılama sistemleri maden ortam havasını güvenli ve çalışmaya uygun hale getirmektedir.



Şekil-8. Kömür madenlerinde kullanılan oksijenli kanarya kafesi [33]

Madenlerde sabit veya seyyar cihazlar vasıtasıyla zararlı gaz konsantrasyonlarını ölçmek mümkündür. Sabit ölçüm cihazları (dedektörler) madende birçok sabit lokasyonda ilgili zararlı gaz konsantrasyonunu ölçüp merkezi bir sisteme aktarırlar. Böylece gaz algılama sistemi madende belirlenmiş sabit lokasyonlardaki ilgili gaz miktarını merkezi olarak izleyip kaydeder. Tanımlanmış eşik değerleri aşıldığında alarm üretir. Üretilen alarmlar doğrultusunda maden havalandırmasıyla ilgili birtakım senaryolar yönetilir. Örneğin alarminin olduğu bölgedeki havalandırma miktarını artırmak için gerekli fanların debilerini artırmak, alarminin olduğu bölgeyi fiziki olarak kapatmak ve zararlı gaz konsantrasyonu bulunan ortamı izole etmek.

Seyyar cihazlar ise gaz ölçüm ve izleme amaçlı maden çalışanlarının yanlarında taşıdıkları cihazlardır. Ayarlanan eşik aşıldığında oluşan alarm üzerine personel gerekli eylem planını uygular ve oluşmadan önce riski azaltır. Örneğin havalandırma otomasyonu yönetimini uyararak merkezi sistem üzerinden erkenden müdahale edilmesini sağlarlar.

Madencilikte güvenlikle ilgili en önemli endişelerden biri, madendeki uygun havalandırmadır. Uygun olmayan havalandırma teknikleri, yer altı hava kalitesinin düşmesine, oksijen seviyesinin düşmesine ve hatta zararlı gazların birikmesine neden olabilir. Bu nedenle, havalandırma sistemlerini uygun şekilde kontrol etmek için maden ocaklarındaki hava akışını izlemek ve ölçmek çok önemlidir.

Zehirli ve patlayıcı gazları algılamak ve maden ortamından uzaklaştırmak, madende çalışan insanlara ve içten yanmalı motor kullanan araçlara taze hava sağlamak amacıyla kullanılan havalandırma ve atmosfer izleme sistemleri günümüz madenlerinde işletme için olmazsa olmaz sistemler arasında yer almaktadır.

Madenlerde atmosfer izleme sistemi faydaları:

#### **1. İş verimini artırır**

Çalışma ortam havasının tehlikeli ve zararlı kirleticilerden arındırılmış olması iş verimini iyi yönde etkiler ve üretkenliği artırır.

#### **2. Patlatma sonrası işe geri dönüş sürelerini kısaltır**

Sert kaya madenleri patlatma işlemi içerir. Patlatma işlemi zararlı gaz ve aerosollerin maden havasında bulunması anlamı taşır. Bunlar seyreltilmeden çalışmalara geri dönülemez ve iş durur. Patlatma sonucu maden havasında oluşan kirleticiler hava kalite izleme sistemleri tarafında izlenerek ihtiyaca bağlı havalandırma yapılırsa işe geri dönüş süreleri her vardiya için 30 ila 90 dakika arasında kısalmaktadır.

#### **3. Enerji tüketimini azaltır**

VOD gibi senaryoların uygulanmasının önünü açar. Madenlerde havalandırma sistemi enerji tüketimi maden toplam enerji tüketiminin %50 sine kadar ulaşabilmektedir. Maden havalandırma otomasyon sistemi gereği gibi VOD uygularsa, sert kaya madenlerinde sabit debili sürekli havalandırma senaryosuna kıyasla VOD senaryosu maden yıllık enerji tüketimini %30-%40 mertebesinde azaltacaktır. Bu tasarruf miktarının derin madenlerde yıllık 1 ila 5 milyon USD arasında olduğu tahmin edilmektedir.

#### **4. İşçi verimini artırır**

Çalışma ortam havasının temiz ve zararlı kirleticilerden arındırılmış olması çalışan verimini iyi yönde etkiler ve üretkenliği artırır.

#### **5. Yatırım maliyetlerini azaltır**

Havalandırma havasının doğru işçi konumuna ve programlanan zamanda iletilmesi, madeni havalandırmak için gereken toplam hava miktarını büyük ölçüde azaltabilir. Bazı madenler, havalandırma havasını izleyerek ve kontrol ederek, madenin ömrünü uzatmak için maliyetli hava

şaftları, ana veya yardımcı fanların eklenmesi fikrinden vaz geçmişleridir. Tasarruf hem zaman hem de sermaye maliyetlerinde tipik olarak milyonlarca USD'dir.

## 6. İşçi sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulmasını sağlar

Hemen hemen tüm madencilik bölgelerinde, dizel üretim ekipmanının her HP'si için belirli bir hava akış oranı ile toksik veya patlayıcı gazlar için izin verilen maksimum değerleri gerektiren katı düzenlemeler vardır. Düzenlemeler, düzenlemeleri karşılamak için kilit havalandırma ve atmosfer değerlerine ait kayıtların doğru tutulmasını gerektirir. Gerçek zamanlı atmosfer izleme sistem kurulumu, patlayıcı gazların kontrolü gibi insan gücü yoğun ve tehlikeli faaliyetleri basitleştirmiş ve otomatikleştirmiştir.

## 7. Kazaları, yaralanmaları ve tazminatları azaltır

Maden ocağındaki patlama, yangın ve zehirlenme gibi akut olayları önler.

## 8. Yangın algılamaya destek olur

Konveyör kaynaklı yangınların azaltılmasında CO izleme sistemlerinin katkısı vardır. Birçok maden işletmelerinde tipik noktasal ısı dedektörlerine ilave olarak veya onların yerine CO izleme sistemleri kullanılmaktadır.

## 9. Sera gazı emisyonlarının ölçülmesi ve azaltılması

Karbondioksit ve metan kaçak emisyon olarak tanımlanırlar. Atmosfere salındıklarında potansiyel bir ekonomik kaybı temsil etmenin yanı sıra sera gazı seviyelerinin artmasına katkıda bulunurlar. Örneğin kömür madenlerinde damar gazı metan, basınç altında kömür damarlarında depolanır. Kömür çıkarıldığında basınç düşer ve gaz açığa çıkar. Avustralya Ulusal Sera Gazı Envanteri 'ne (ANGGI) göre kömür madenciliğinden kaynaklanan kaçak emisyonlar, Avustralya'nın toplam sera gazlarının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır. Yer altı madenciliği ise bu toplamın %61'inin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

### 5.2. Maden Atmosferinde Gaz Ölçümü

Yer altı maden ocaklarında zehirli, boğucu, patlayıcı ve yanıcı gaz emisyonları bulunur.

GAZ	KAYNAKLAR
<b>CO</b> Karbonmonoksit	Eksik Yanma Sızıntı Patlama Patlatma
<b>CO2</b> Karbendioksit	Tam Yanma Fermentasyon Solunum Asidik su ile karbonatlar arasındaki kimyasal reaksiyonlar Patlatma
<b>CH4</b> Metan	Organik maddenin su varlığında ayrışması Gözeneklerdeki metan
<b>SO2</b> Kükürtdioksit	Dizel motorlar Kayalardan sızıntı Patlama Patlatma
<b>N2</b> Azot	Patlatma
<b>NOx</b> Azotoksitler	Dizel motorlar Patlama Patlatma
<b>NH3</b> Amonyak	ANFO patlayıcısının çimento ile reaksiyonu
<b>H2S</b>	(Yüksek miktarlarda nadir görülmektedir)

Hidrojen Sülfür	Organik maddenin bakteriyel ayrışması Durağan sular Dizel motorlar (Sülfürlü yakıt kullananlar) Elektrikli motorlar
<b>H2</b> Hidrojen	Aküler Yangınlar Kuvvetli asitler ile metaller arasındaki reaksiyon
<b>C6H6</b> Benzen	Dizel motorlar
<b>Rn</b> Radon	Kömürde, kayaçlarda veya yer altı sularında bulunan uranyum elementinin bozunması

**Tablo-2** Madenlerde bulunabilecek bazı zararlı gazlar ve kaynakları [12]

### 5.2.1. Karbondioksit Ölçümü

Karbon Dioksit, dağılmayan bir kızılötesi (NDIR) sensör kullanılarak ölçülebilir. Ölçüm, CO<sub>2</sub> moleküllerinin kızılötesi ışığı veya belirli dalga boylarını soğurduğu fiziksel özelliğe dayanır. Hedef gaz üzerinden ışık geçirerek ve uygun optik filtreler kullanarak, ölçüm cihazında yer alan ışık detektörünün bir CO<sub>2</sub> konsantrasyon değerine dönüştürülebilen bir çıktı vermesi sağlanır.

### 5.2.2. Karbonmonoksit Ölçümü

Karbon Monoksit, bir elektrokimyasal gaz sensörü kullanılarak tespit edilir. Bu sensör CO konsantrasyonunu bir elektrotta oksitleyerek ve ardından ortaya çıkan akımı ölçerek ölçer. Diğer yanıcı gazlara çapraz duyarlılığı azaltmak için H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>O, NO ve SO<sub>2</sub> için kimyasal filtrelerle sahiptir.

CO seviyelerinin ölçülmesi, yangınların ve yer altında ısınmanın tespit edilmesine yardımcı olur. Sensörler, azalma olmadan CO konsantrasyonlarında sabit bir artış algılayacaktır. İş makineleri kaynaklı dumanlar ve dizel egzozu karbon monoksit alarmlarını tetikleyebilse de hızlı artış ve düşüş modelleri bilinmektedir.

Karbon Monoksit, madenlerde kömürün oksidasyon süreci sırasında olduğu kadar, maden ocaklarında odunun oksidasyonu ve maden atmosferindeki gaz halindeki metanın eksik yanması sonucu oluşabilir. Solunduğu zaman, çalışanlar baş dönmesi, halsizlik, mide rahatsızlığı, kusma, baş ağrısı, göğüs ağrısı ve kafa karışıklığı gibi CO zehirlenmesi semptomlarından mustarip olabilir. Yüksek konsantrasyonlarda CO, bireylerin bilincini kaybetmesine veya daha kötüsü komaya (ölüme) neden olabilir. Karbonmonoksit renksiz, tatsız ve kokusuz olduğu için var olduğu ortamda çalışanlar için daha da tehlikelidir. Madenciler, bir maden yangını veya patlamasının ilk etkilerinden sağ çıkabilseler de hala karbon monoksit boğulması (oksijensiz kalma) riski altında olabilirler.

### 5.2.3. Hidrojen Sülfür Ölçümü

Güçlü hidrojen sülfür kokusu, 1 ppm kadar düşük koku konsantrasyonları ile tespit edilebilir; ancak bir uyarı sistemi olarak bu son derece güvenilir bir yöntemdir ve kullanılmamalıdır.

Hidrojen Sülfür, elektrokimyasal sensörlerle donatılmış bir gaz detektörü kullanılarak ölçülebilir. Elektrokimyasal sensörler, akımları ölçerek gaz seviyelerini ölçer; ilgili gaz, atmosferde bulunan gazın konsantrasyonuyla doğru orantılı bir akım üreten bir kimyasal reaksiyona girer.

### 5.2.4. Metan Ölçümü

Metan gazı monitörleri, dağılmayan bir kızılötesi (NDIR) sensöre sahiptir. Ölçüm, CH<sub>4</sub> moleküllerinin kızılötesi ışığı veya belirli dalga boylarını soğurduğu fiziksel özelliğe dayanır. Hedef gaz üzerinden ışık geçirerek ve uygun optik filtreler kullanarak, ölçüm cihazında yer alan ışık detektörünün bir CH<sub>4</sub> konsantrasyon değerine dönüştürülebilen bir çıktı vermesi sağlanır.

Ateş alma eğiliminin daha yüksek olması nedeniyle, madenlerdeki gaz seviyelerinin çalışma yüzeyinde rutin olarak izlenmesi gerekir. Seviyeler %1'i aştığında uyarı sağlamak için monitörlere ihtiyaç vardır.

Seviler hızla yükselip düşebildiğinden ve personelin reaksiyon süreleri kritik olduğundan, yeterli ve zamanında müdahale sağlamak için tehlikeli seviye olan %5 yerine %1'de bir uyarı sağlanması yerinde olmaktadır.

Metan, doğrudan kömür çıkarma işlemi sırasında açığa çıktığı için madencilik uygulamalarında çok gerçek bir risk oluşturur. Kömür çıkarma işlemi, kömür damarı içinde hapsedilmiş gazı serbest bırakır ve bu daha sonra madenin hava beslemesi üzerinden madendeki işçiler tarafından solunabilir, boğucu veya patlayıcı etki oluşturarak ve sağlık ve güvenlik tehlikesine neden olabilir.

Maden gazı doğal bir üründür. Bu gazın bir takım ana unsurları vardır; bunlar oksijen, azot, karbondioksit ve metandır. Madenlerde kullanılan patlatma işlemleri, hidrojen sülfürün yanı sıra büyük miktarlarda karbon monoksit oluşmasına neden olabilir. Maden gazı hem çatlaklarda serbest bir gaz hem de kömürün iç yüzeyinde emilmiş bir gaz olarak kendini gösterir. Madencilik faaliyetleri sırasında maden gazı salındığında yanıcılığı nedeniyle tehlike arz eder. Hava ile karıştığında yangına ve patlama riskine neden olabilir.

Maden işletmesinde gaz algılama ve izleme ekipmanı kullanmak, metan konsantrasyon seviyeleri ile tehlikeli hale gelebilecek alanların yüzeyden temiz hava ile havalandırılmasını sağlar. Bu havalandırma işleminin getirdiği metan konsantrasyonundaki seyreltme maden ortamındaki patlama riskini azaltır.

Madenden çıkan egzoz havasının metan içeriği izlenerek, içeri giren taze hava miktarı uygun şekilde kontrol edilebilir ve mahalde çalışanların operasyonlarını gerçekleştirirken güvende kalması sağlanır. Madencilik sektöründe yasal gerekliliklere uyum çok önemli olsa da güvenlik süreçlerinin yerinde olmasını sağlamak sektördeki işletmelerin sahipleri ve yöneticileri için sorumluluk anlamı taşımaktadır. Madencilik işletme kavramı geniş kapsamlı olduğundan, ihtiyaca uygun olan doğru algılama ekipmanı temin ve tesis etmek için ön çalışma ve araştırma gereklidir. Doğru yerleşimde, doğru ekipmanın doğru bir şekilde montajlanarak kullanılması, gaz seviyelerinin doğru bir şekilde izlenmesini ve çalışanların erkenden ortamdaki tehlikeli konsantrasyonlara karşı uyarılmasını ve havalandırma sisteminin bunu destekleyecek şekilde çalışmasını sağlayacaktır.



**Şekil-9** Atmosfer izleme istasyonu ve maden havalandırma bilgilendirme ekranı. [31]

### 5.2.5. Maden Ocaklarındaki Patlayıcı Tozlar

Maden ocaklarında toz patlaması oluşabilmesi için aşağıdaki faktörlerin varlığı gerekmektedir:

- Yanıcı toz
- Yeterli konsantrasyon
- Oksijen varlığı
- Ateşleme kaynağı
- Âtil kapalı alan

Kömür tozu, sülfür tozu, alüminyum tozu, titanyum tozu, magnezyum tozu patlayıcı tozlara örnek olarak verilebilir. Etkin çalışan maden havalandırma otomasyon sistemi söz konusu patlayıcı toz konsantrasyonlarını azaltmada faydalı olacaktır. ATEX direktifi doğrultusunda işletme faaliyeti ise etkin havalandırma ile patlama ve yangınların önüne geçmede faydalı olacaktır. Eğer patlama olursa, yine havalandırma sistemi yoluyla patlamayı izole etmek ve patlama sonucu oluşan atmosfer şartlarını tahliye etmek patlamanın oluşturacağı hasarı, kayıpları ve madenin kapalı kalma süresini azaltacaktır.

### 5.2.6. Radon Ölçümü

Radon; doğada bütünüyle radyoaktif olarak bulunan, havadan daha ağır, renksiz, kokusuz, tatsız bir soy gazdır. Radon, başta kayaç, toprak ve su olmak üzere doğada değişik miktarlarda bulunan uranyum (U) elementinin radyoaktif bozunmasıyla açığa çıkan radyum (<sup>226</sup>Ra) izotopunun radyoaktif bozunum ürünüdür. Radon gazı ile özellikle uranyum madenlerinde karşılaşılması olası olup kömür madenlerinde de karşılaşılabilir. Ülkemizde bazı kömür havzalarında geçmişte radon ölçümü yapılmış olup, Zonguldak taşkömürü havzasında ölçülen değerler 253-1470 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Tütün dumanı ile radon gazı akciğer kanseri oluşumlarında önemli rol oynamaktadır. WHO, akciğer kanseri vakalarında radon ile ilişkilendirilen vaka oranını, oranın hesaplanma yöntemine ve ülkedeki ortalama radon konsantrasyonuna bağlı olarak, %3-14 arasında değiştiğini belirtmektedir.

Türkiye 2013 maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği'nde Radon gazı için maruz kalma sınır değerine dair bir bilgi yer almamaktadır. Öte yandan TAEK'na göre kapalı alanlardaki maruz kalma sınır değeri 400 bq/m<sup>3</sup> tür. ABD'de radon ölçümü tüm madenlerde zorunludur. Güncel Avrupa EU-BSS değerine göre işyerlerinde yıllık ortalama maruz kalma sınır değeri 300 Bq/m<sup>3</sup> olarak açıklanmıştır. Benzer kavram için OSHA değeri ise 333 Bq/m<sup>3</sup> şeklindedir.

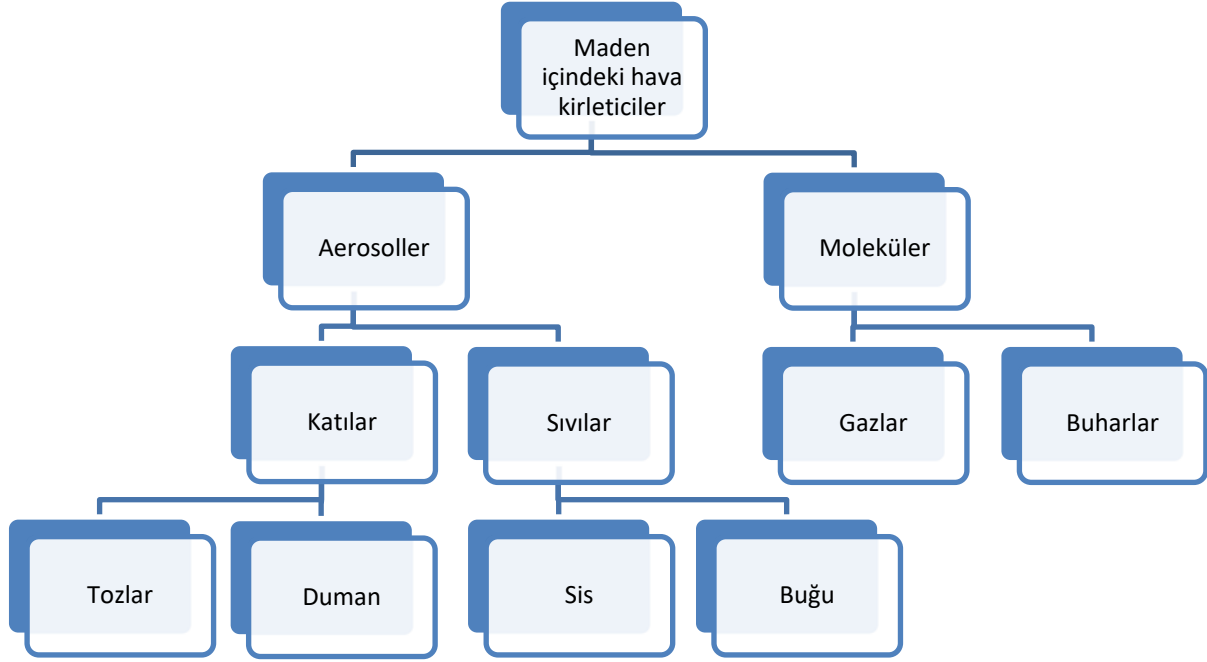
Radon gaz olsa da bozunma ürünleri katıdır ve tozlara yapışır. Dolayısıyla filtrelenebilirler. Koruyucu önlem olarak, mümkün olduğu kadar insansız maden işletmesi yapmak, yoğun havalandırma, genel havalandırma filtrelemesi, toz için bireysel koruyucu ekipman kullanımı, maruz kalma zamanını azaltmak için rotasyonlu personel çalışması önerilebilir.

Madenlerde radon gazını ölçmek için seyyar ve sabit ölçüm ve analiz cihazları/sistemleri geliştirilmiştir. Seyyar cihazlar numune alınarak laboratuvarlarda yapılan tespit çalışmalarına göre kesintisiz ve daha hızlı sonuçlar vermektedir. Söz konusu sistemler tıpkı aerosol ölçme sistemleri gibi ölçüm ve analiz yazılımları ile iş güvenliği ekibini erken uyarılmaktadır ve maden işletmesine radyoaktif gaz emisyonunu ve dolayısıyla radyoaktif toz miktarını azaltıcı, çalışan sağlığını koruyucu aksiyonları alma yeteneği kazandırmaktadır. Öte yandan merkezi laboratuvara gönderilmek üzere kullanılan kısa süreli ve uzun süreli numune setleri de sıklıkla kullanılmaktadır.

### 5.3. Maden Atmosferinde Aerosoller

Maden havasında bulunan ana aerosol tipi tozdur. Toz taneleri genellikle 1 ila 100 mikron arasında büyüklükte olurlar. Tozlara ek olarak duman partiküllerine (1 mikrondan küçük) de sık rastlanır. Bunlar çoğunlukla dizel makinaların yanma prosesinden veya yangın sonucu ortaya çıkmaktadır (DPM).

Katıların havada yayılmasının yanı sıra, havada sıvıların da sis (daha yoğun) veya buğu (daha hafif) halinde bulunması da sıklıkla rastlanır durumdur. Havadaki sıvı varlığı maden ortamındaki yüksek nem ve yüksek sıcaklık sonucu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil-10.** Madenlerdeki hava kirletici tipleri [12]

Madencilerin en çok etkilendiği iş hastalığı Pnömonyoz'dur. Akciğerde toz birikimine bağlı doku reaksiyonu ile kendini gösteren akciğer hastalığı durumudur. Pnömonyoz'un birçok çeşidi vardır, Silikozis madencilerde en çok görülen tipidir. Silikozis kuvars şeklinde kristal yapıya sahip silika tozlarının bir süre solunması sonucu akciğerlerde kalıcı ve ilerleyebilen hasara yol açan bir meslek hastalığıdır. Kazma, delme, tünel açma işlemleri; taş ocakları ve madenler (kömür, altın, kalay, demir, bakır, nikel, gümüş, granit, tungsten, uranyum, vb..) silikoz açısından riskli iş kollarıdır.

Silika IARC tarafından insanlarda kanser yapıcı olarak sınıflandırılmıştır. Silika ile ilgili olarak uluslararası standartlar ve otoriteler tarafında belirlenmiş maruz kalma sınır değerleri şu şekildedir:

OSHA: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (PEL-TWA)

ACGIH: 0,025 mg/m<sup>3</sup> (TLV-TWA)

EU Directive 2017 2398 BOELV: 0,1 mg/m<sup>3</sup> (TWA)

Öte yandan, Uranyum madenlerinde Radon gazının bozunmasıyla radyoaktif hale gelebilen tozlar madencilerin soluduğu başka bir toz çeşitidir. Dizel motor egzozundan çıkan katı emisyonlar (yanmış ve yanmamış hidrokarbonlar, sülfatlar, metal parçacıkları ve onların oksitleri ve tuzlar) DPM olarak adlandırılırlar. Bu parçacıklar 5 ila 50 nm boyutları arasında olup birleşerek mikrometre boyutu altına yaklaşır. 100nm boyutun altındakilere nano DPM denmektedir ve en zararlı olan tür bunlardır, zira solunum üzerinden kan yoluyla vücudun her yerine merkezi sinir sistemine kadar ulaşır. Mesleki maruziyet kısa vadede göz ve boğazda tahriş, baş dönmesi ve baş ağrısı gibi şikayetlere sebep olmaktadır. Uzun vadede ise kalp akciğer hastalıklarına ve akciğer kanserine sebep olur. Amerikan 30CFR 57.5060 yönetmeliğine göre yer altı madenlerinde çalışanların günlük 8 saatlik çalışma süresindeki ortalama maruz kalma sınır değeri birim metreküp havadaki 160 mikro gram toplam karbon miktarı olarak (160TC [MICRO]g/m<sup>3</sup>) olarak belirtilmiştir.



Maden ortamında çalışanları korumak için çalışılan yüzeylerin ıslatılması, dizel makinalarda düzenli bakım, dizel motorlarda partikül filtrelerin ve katalitik konverterlerin kullanılması, düşük emisyonlu dizel motor kullanılması, yakıt olarak biyodizel kullanımı, elektrikli iş makinası kullanmak, makine operatörleri kabinlerinin izole edilmesi, madende filtreli havalandırma, işçilerin bireysel koruyucu ekipman kullanması gibi tedbirler yoluyla zararlı aerosol emisyonları sınırlandırılabilir.



**Şekil-11** Kömür madeninde su püskürterek havada asılı toz önemeli faaliyet [35]

Maden ortamındaki zararlı aerosollerden çalışanları koruyabilmek için ölçmek başta gelir. Çalışanların aerosole maruz kaldıkları ortamlarda, bu maruziyetin tehlikeli seviyelere ulaşmadan tespit edilmesi ve buna göre önlem alınması çok önemlidir. Ölçüm seyyar cihazlarla veya örnek alınıp gravimetrik örnekleme testi için laboratuvarlara gönderilerek yapılır. Seyyar cihaz kullanımı, aerosol konsantrasyonunun ışın saçılımı metoduyla gerçek-zamanlı olarak izlenmesi zamandan tasarrufu nedeniyle kullanılan bir yöntemdir. Ölçüm sonuç verilerine hızlı erişim ve analiz yapabilme, problemi tespit etmek ve çözüm için önlem almak konusunda işletmeye zaman kazandırır. Gerçek zamanlı izleme ve analiz, geleneksel gravimetrik örnekleme testi sonucu gelene kadar maruziyetin azaltılması için acil müdahale gerektiren durumlarda iş güvenliği uzmanlarına önemli zaman kazandırır, çalışanların sağlığını korur.

Dünyada ve ülkemizde maden işletmelerinde kullanılmak üzere PM10, PM2,5, PM1, Silika, DPM ölçen seyyar aerosol izleme çözümleri (cihazları, sistemleri) arzı mevcuttur. Bu cihazların yanıcı patlayıcı ortamda (örneğin kömür madenleri) kullanılabilen (IECEX / ATEX onaylı) tipleri de mevcuttur.



**Şekil-12** Yer altı madenlerinde zararlı aerosol ölçüm istasyonu [32]

#### 5.4. Maden Havalandırma/İklimlendirme Parametreleri Ölçülmesi

Maden iklimlendirmesinin yapılabilmesi için ilgili parametrelerin otomasyon sistemi tarafından doğru olarak izlenip, analiz ve kontrol edilmesi temel ihtiyaçtır. Hava miktarını doğru ayarlayabilmek için hava hızı, basınç gibi parametrelerin muhakkak ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, zararlı gaz ve aerosol konsantrasyon değerlerinin yanısıra ortam sıcaklık ve nem değerlerinin ölçülüp kontrol edilmesi personel sağlığı ve üretkenliği, işletme verimi açısından gereklidir. Zira özellikle derin madencilikte yerden aşağıya doğru inildikçe otomatik sıkıştırma etkisiyle havaya entalpi eklenir. Buna araçlar, maden cevheri ve insanlardan yayılan ısı enerjisi eklendiğinde derin madenlerde ortam sıcaklıkları 40 C ve üstüne çıkabilir. Bu ortam sıcaklığı kontrol altına alınamazsa personel üzerinde oldukça olumsuz etki yapacaktır. Sıcak iklim bölgelerinde yer alan derin madenlerde cebri soğutma ve sıcaklık kontrolü sıklıkla görülmektedir. Öte yandan soğuk iklimde bulunan madenlerde madene veriş havasının donma önleme amaçlı yüzeyde ısıtılarak verilmesi, derin madenlerde ise kışın yüzeyde madene verilecek havanın ısıtılması gerekirken, aşağıya ulaşan havanın soğutulması gerekebilir. Sonuç olarak, maden ocaklarında hava hızı, fark basınç, statik basınç, sıcaklık, nem gibi parametreler ölçülerek debi ve sıcaklık kontrol döngüleri işletilir. İlaveten, fan izleme sistemleri fanlara ait debi, titreşim, sıcaklık, çekilen güç gibi bilgileri de havalandırmanın ihtiyaç duyulduğu zamanlarda fanların kesintisiz çalışabilmesi için gereklidir.

#### Eşdeğer Sıcaklık (Te)

Bu kavram, çevresel sıcaklık, bağıl nem ve hava hızını içerir. Bir insanın termal açıdan hissetmesini yaklaşık olarak tanımlar. Bu sıcaklık değeri ölçülmez, hesaplanır.

Eşdeğer Sıcaklık için madencilikte en çok kullanılan formül:

$$Te = 0,9 Tw + 0,1 Td \quad \text{VEYA} \quad Te = 0,7 Tw + 0,3 Td - v \quad \text{olarak kullanılmaktadır.}$$

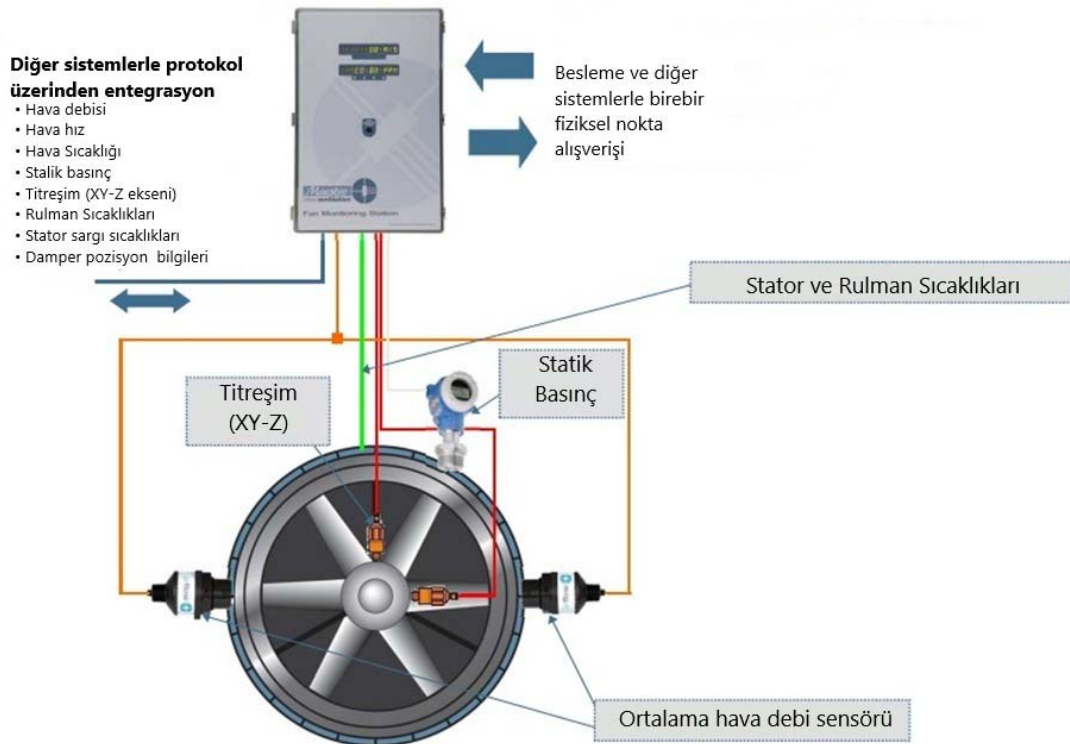
Te: Eşdeğer Sıcaklık (C),

Td: Kuru termometre sıcaklığı (C),

Tw: Yaş termometre sıcaklığı (C),

v: Hava hızı (m/s)

#### 5.4.1. Fan İzleme ve Kontrol Sistemi



Şekil-13 Ana fan tipik izleme ve kontrol sistemi ve noktalarından bazıları [31]

#### 5.4.2. Ultrasonik Hava Akışı Ölçer

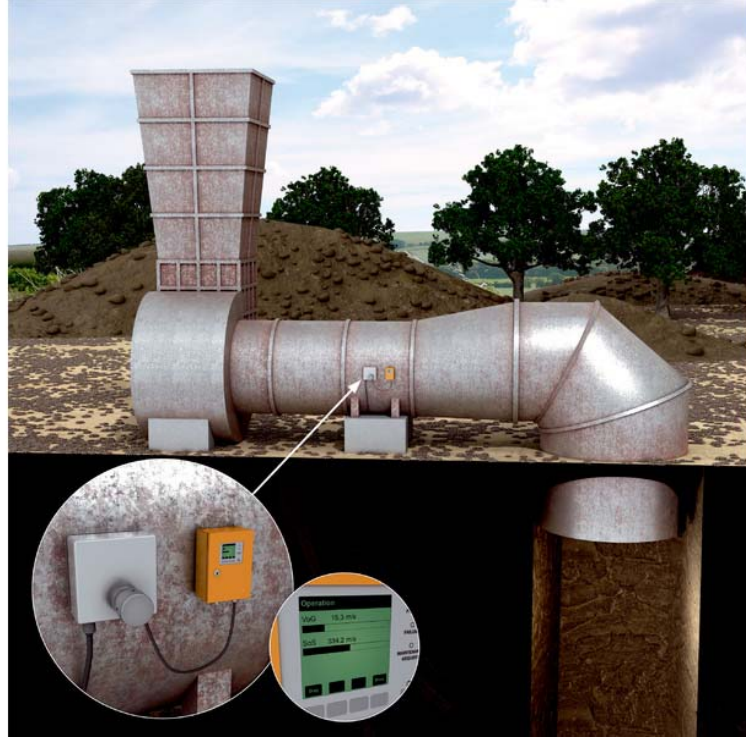
Havalandırma sistemlerinde hava akışını ölçmek için çeşitli metotlar vardır. Pitot tüp, anemometre, sıcak tel prensibi ile ölçer gibi metotlara göre gerek ortalama ölçebilmesi gerekse de montaj kolaylığı ve ölçüm doğruluğu gibi nedenlerden dolayı maden havalandırma sistemlerinde ultrasonik ölçüm prensibiyle çalışan hava akış ölçüm sistemleri fanlarda, kanallarda ve şaftlarda hava hızı ölçüp debi hesaplamak için sıklıkla tercih edilmektedir.

Ultrasonik akış ölçerler, ultrasonik dalgalar kullanarak hava akışını ölçer. Bir ses dalgasının bir ortamda yayılma hızına sesin hızı denir. Ultrasonik sensörler, bir sensörden bir tünel veya kanalın kesiti boyunca bir sinyal gönderecek ve diğer uçtaki bir sensör tarafından alınacak şekilde düzenlenebilir. İki sensör kesite açılı olarak konumlandırılırsa, ses dalgası hava akışından etkilenir. Örneğin, bir sensörden bir sinyal gönderilirse ve hava akış yönü boyunca bir sonraki sensöre hareket ederse, sensörün bu sinyali alma süresi, sinyalin hava akış yönünün tersine gönderilmesinden daha kısa olacaktır. Biri hava akışına ve diğeri hava akışına karşı olmak üzere iki sinyal göndererek, iki sinyal arasındaki zaman farkına göre hava akışının hızı hesaplanabilir. Bu ölçüm işlemi sırasında hava sıcaklığı sabit kaldığı için zaman farkı hava hızı ile doğru orantılı olacaktır.

Ortalama hava hızı ölçülünce, ilgili kesit ile çarpılarak debi değer elde edilmiş olur. Ultrasonik hava hızı ölçer cihazlar oldukça geniş kesitlerde başarıyla ölçüm yapabilmektedir. 0,25 mt ila 35 mt ye kadar genişliği olan kesitlerde ölçüm yapılabilmektedir. Hız ölçüm aralığına örnek olarak -40 m/s ila + 40 m/s aralığı verilebilir.



**Şekil-14.** Madende galeride ultrasonik hava akışı ölçüm sistemi [32]



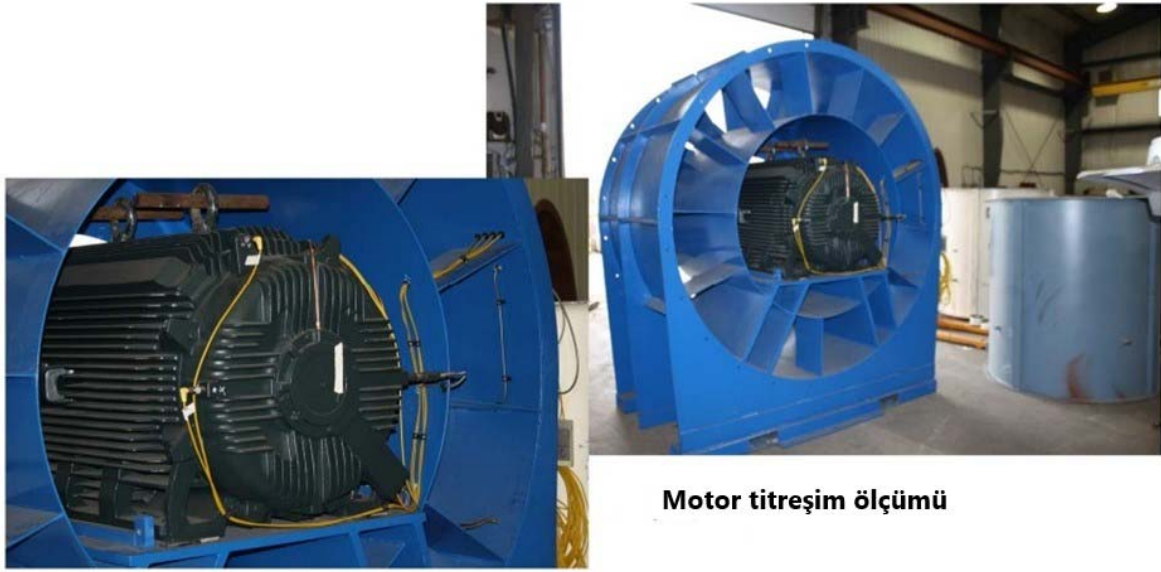
Şekil-15 Maden ana fanlarında ultrasonik hava akışı ölçümü [30]



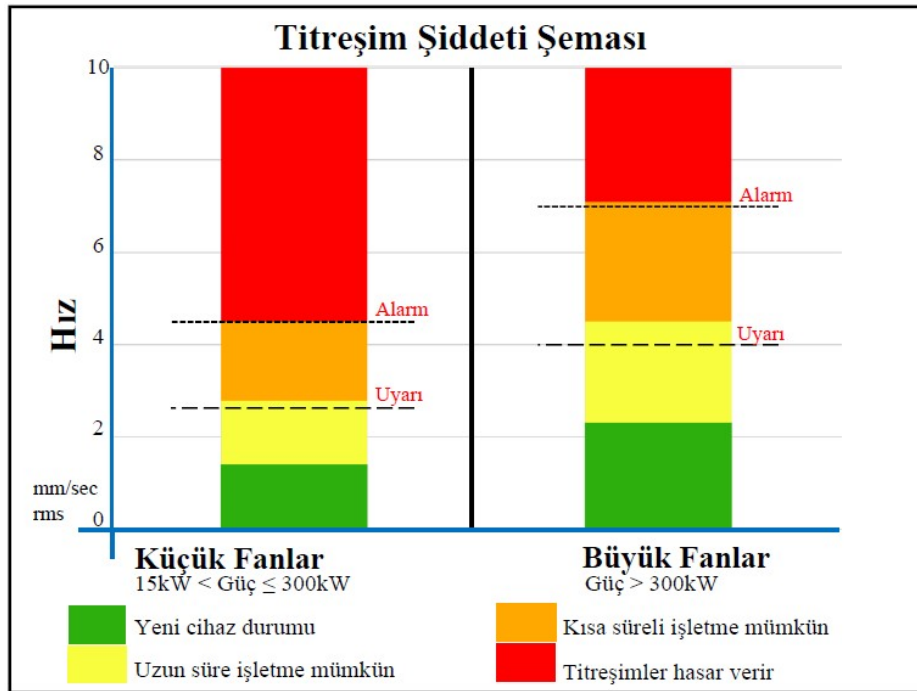
Şekil-16 Kanal tipi ultrasonik hava akış ölçer [31]

#### 5.4.3. Fan Titreşim Ölçümü

Fan motorunda ve rulmanlarında yatay, düşey veya üç eksenli titreşim ölçmek vasıtasıyla fan motorunun ve fan mekanizmasının sıhhatli çalışmasıyla ilgili izlenim edinilir. Havalandırmayı sekteye uğratabilecek fan arızalarını önleyip kesintisiz faaliyet imkanını hep mümkün kılmak için önemlidir. Titreşim bilgileri otomasyon sistemi tarafından sürekli izlenip kaydedilir. Titreşim değerleri belirlenen eşik değerlerine göre değerlendirilerek otomasyon sistemi üzerinden işletme uyarılır. Gerekli müdahale işletme tarafında zamanında sağlanmış olur.

**Motor titreşim ölçümü****Şekil-17** Fan motor titreşim sensörleri [31]

Fan başına 6 noktadan titreşim ölçülmesi tavsiye edilmektedir. İki tane fan sabit yatağına, bir tane fan gezer yatağına, bir tane motorun mil çıkan tarafına, iki tane ise motorun diğer ucuna takılarak fan titreşimleri izlenir.

**Şekil-18** Fan motor alarm seviyeleri [36]

#### 5.4.4. Fan Sıcaklık Ölçümü

Fanlar tarafından yönlendirilen havanın sıcaklığı, fan motoru stator sargı sıcaklığı, yatak rulman sıcaklığı gibi bilgiler havalandırma otomasyon sistemi tarafından izlenir. Genellikle RTD (Pt100) tipinde sıcaklıkla

##### Sıcaklık izleme

- Fan kanal havası
- Stator sargıları
- Fan motor rulmanları



Şekil-19 Fan sıcaklık sensörleri [31]

birlikte dirençleri değişen, pasif sinyal (ohm) veren sensörler kullanılmaktadır. Kablo veya kanal tip olarak kullanılırlar. Soğuk iklimdeki madenlerde donma önleme amaçlı, sıcak iklimdeki madenlerde soğutma amaçlı maden yüzey veriş havası sıcaklık kontrolü yapılabilir. Ayrıca fan elektrik motorunun ve rulmanların (yatakların) sıcaklıkları otomasyon tarafından izlenerek fiziksel arızaların erkenden fark edilmesi ve sistemi durduracak kesintilerin önlenmesi sağlanmış olur. Genelde sıcaklık sensörleri ölçüm aralığı 0-250 C dir. Normal şartlarda yataklardaki sıcaklığın 85 C den az olması istenir. Yatakların ısınması motor ömrünü olumsuz etkiler.

#### 5.4.5. Statik Basınç Sensörü

Maden havalandırmalarında fanların basınçlandırmalarını ölçmek için kullanılır. Genelde 0-6kPa ölçüm aralığında ve oransal sinyal (0-10Vdc, 4-20mA vb.) veya haberleşme üzerinden doğrudan veya atmosfer izleme sisteminden dolayı olarak havalandırma otomasyon sistemine bağlanırlar.



Şekil-20 Statik basınç sensörü [31]

### 5.5. Dünyada Yasal Mevzuat

Dünyada birçok ülkede güvenlik ve yönetmelikleri ve kılavuzları doğrultusunda madenlerde gaz seviyesi izleme mecburiyeti vardır.

Batı Avustralya'da 1995 yılı maden güvenliği ve denetleme yönetmeliği doğrultusunda zehirli, boğucu ve patlayıcı gazların izlenmesi ve kontrol edilmesi için gerekli önlemlerin alınması mecburi kılınmıştır. İngiltere'de 2014 yılı Madenler Sağlık ve Güvenlik Yürütme Yönetmeliği doğrultusunda madenlerde gaz seviyelerinin izlenmesi ve maden havalandırması ile ilgili gerekli önlemlerden bahsedilmektedir.

Kanada'da 2021 yılı Kömür madeni iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği doğrultusunda kömür madenlerinde solunabilir toz miktar limitleri, zehirli ve patlayıcı gaz limitleri, oksijen ve karbondioksit gaz limitleri ve bunlara yönelik havalandırma ile ilgili önlemlerden bahsedilmektedir.

ABD'de 2023 yılı 30 CFR Part 1-199 Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi yönetmeliği doğrultusunda madenlerdeki zehirli, boğucu, radyoaktif ve patlayıcı gazların yönetilmesi, havalandırma yöntemleri konusunda gerekliliklerden bahsedilmektedir. 1872 tarihli Genel Madencilik Yasası, ABD'de federal topraklarda tespit edilebilir mineralleri yöneten birincil yasadır. Madencilik ortamlarındaki tehlikeli gaz güvenliğinin sağlanması açısından, yasa, bir maden işletmesi her bir yer altı madenci grubuna ve yalnız çalışan her bir kişiye metan, oksijen ve karbon monoksiti ölçmek için MSHA onaylı, el tipi, çoklu gaz dedektörü sağlanmasını gerektirir. ABD yasa ayrıca, her bir yer altı madencisi grubundan en az bir nitelikli kişinin ve tek başına çalışanların çoklu gaz dedektörünü kullanmak üzere eğitilmesini şart koşturmaktadır. Yasa, tüm ekipmanın da uygun şekilde bakımının yapılmasını ve kalibre edilmesini gerektirmektedir.

### 5.6. Türkiye'de Yasal Mevzuat ve Ocak Atmosferi Sınır Değerleri

Türkiye'de 19.09.2013 tarihli 28770 sayılı Resmî Gazete 'de yayınlanan maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği doğrultusunda sağlığa zararlı ve patlayıcı gazların ölçülmesi, izlenmesi ve madenlerin havalandırılması konusundaki tedbirlerden bahsedilmektedir. Bu yönetmeliğe göre maden atmosferi izleme ve havalandırma sistemleri otomasyonu konusunu ilgilendiren maddeler orijinal metninden alınarak aşağıda listelenmiştir:

10.5. Havalandırma bir veya daha fazla mekanik sistemle sağlanır.

10.4. Bütün grizulu ocakların, havalandırma planında tespit edilen istasyonlarında, en geç 10 günde bir gerekli ölçümler yapılır. Hava akımını etkileyecek bir değişikliğin olması durumunda gerekli ölçümler yenilenir. (Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291) Ocakta yeterli sayıda kalibre edilmiş seyyar gaz ölçüm cihazları bulundurulur, birbirinden ayrı noktalarda çalışan her ekipte en az bir adet cihaz bulunur. Bu cihazlar metan, karbonmonoksit, oksijen ve hidrojen sülfür gazlarını ölçecek özellikte olur. Bu cihazlarla; sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıkta ocağın çalışan bulunan bölgelerinde, baraj önlerinde, hava istasyonlarında ve su ceplerinde ölçümler yapılarak, bu ölçümler havalandırma defterine kaydedilir. Herhangi bir cihazın arızalanması halinde kullanıma hazır yeterli sayıda yedek cihaz bulundurulur.

10.3. Grizulu ocaklarda havalandırma ile ilgili değerler her vardiyada ölçülür, metan gazı ölçümleri bu ölçümlerle beraber yapılır. Havada % 1'den çok metan gazı tespitinde, bu oran % 1'in altına düşünceye kadar ölçümler aralıksız sürdürülür. Üretim ünitelerinden dönüş havası içinde ve üretim yerlerindeki gazların birikebileceği yerlerde metan gazı seviyesi sürekli olarak izlenir. (Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291) Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler; oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, sıcaklık ve hava hızı değerlerini ölçecek şekilde, sayıları ve yerleri sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilerek yerleştirilir. Ancak, bu sensörler, asgari olarak, ocağın ana hava giriş yolunda, üretim bölgelerinin her birinin temiz hava giriş ve hava dönüş yollarında, hazırlık çalışması yapılan bölgelerin hava dönüş yollarında ve ocağın kirli havasının ocak dışına çıktığı nefesliklerde bulunur. Sensör ölçümleri; farklı ölçüm metotlarıyla doğrulanır. Bu ölçümler sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıklara göre yapılır ve havalandırma defterine kaydedilir. Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler ile bu sisteme bağlı diğer tamamlayıcı unsurların bakım ve onarımı İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği hükümlerine uygun olması sağlanır.

8.9. Ocağın çeşitli kısımlarında, sıcaklık ve nem oranı düzenli olarak ölçülür. Nem oranı göz önünde bulundurularak hava sıcaklığının sağlığa zararlı düzeye yükselmemesi için gerekli tedbirler alınır. Bu

düzeğe yaklaşıldığında ölçme işlemi her gün gerekli görülecek aralıklarla yapılır ve ölçme sonuçları havalandırma defterine yazılır. Söz konusu şartların sağlık için tehlikeli olması halinde çalışma geçici olarak durdurulur.

8.8. Ana vantilatör ve aspiratörler birbirinden bağımsız iki ayrı enerji kaynağına bağlanır. Bu enerji kaynaklarından birinin durması halinde diğer kaynağın ocak havalandırmasını aksatmayacak en kısa zamanda devreye girmesi sağlanır.

8.4. İnsan ve malzeme taşımada kullanılan kuyularda, lağımlarda, ana nefeslik yollarında, eğimli ve düz yollarda, hava hızı, saniyede 8 metreyi geçmez.

8.5. **(Değişik: RG-10/3/2015-29291)** Havasında %19'dan az oksijen, % 2'den çok metan, % 0.5'ten çok karbondioksit, 50 ppm (%0.005) den çok karbonmonoksit ve diğer tehlikeli gazlar bulunan yerlerde gerekli güvenlik önlemleri alınarak mevcut olan tehlikeyi bertaraf etmek amacıyla önleyici faaliyetler ve kurtarma çalışmaları dışında çalışılmaz. 8 saatlik çalışma için müsaade edilen en yüksek hidrojen sülfür oranı 20 ppm (%0,002)'dir.

8.3. Havalandırma ile ilgili değerler periyodik olarak ölçülür ve ölçüm sonuçları kaydedilir. Havalandırma sisteminin detaylarını kapsayan bir havalandırma planı hazırlanır, periyodik olarak güncellenir ve işyerinde hazır bulundurulur. **(Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291)** Ocaktaki hava miktarı; temiz hava giriş yolu ve havanın ayrıldığı bütün kollarda dâhil olacak şekilde, hava ölçüm istasyonları kurularak, gerekli ölçümler yapılmak suretiyle takip edilir. Bu ölçümler sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıklara göre yapılır ve havalandırma defterine kaydedilir. Hava hızı her halde 0,5 m/s'den az olamaz

8.2. 8.1 numaralı maddede belirtilen şartların doğal havalandırma ile sağlanamadığı yerlerde, havalandırma bir veya daha fazla mekanik sistemle sağlanır. Havalandırmanın sürekliliğini ve kararlılığını sağlayacak tedbirler alınır. Mekanik havalandırma sistemi kullanılan ocaklarda hava akımı mümkünse doğal hava akımı doğrultusunda yönlendirilir. Havalandırma sistemlerinin devre dışı kalmaması için bu sistemler devamlı surette izlenir ve istenmeyen devre dışı kalmaları bildirecek otomatik alarm sistemi bulunur.

8.1. Çalışma yapılan bütün yer altı işletmelerinde uygun havalandırma sağlanır. Üretime başlamadan önce, her ocakta, uygun bir havalandırma sistemi kurulur. Ocaklarda;

- Sağlığa uygun solunabilir hava sağlanması,
- Ortamdaki patlama riskinin ve solunabilir toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulması,
- Kullanılan çalışma yöntemi ve çalışanların fiziki faaliyetleri dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun hava özelliklerinin sağlanması ve bu durumun sürdürülebilmesi için sürekli havalandırma yapılması, zorunludur.

7.2. Radyoaktif maden ve minerallerin arama, üretim ve çıkarılmasıyla ilgili çalışmalarda bunların zararlı etkilerini giderici önleyici ya da koruyucu tedbirler alınır.

MADDE 7 – (1) İşveren, patlama ve yangın çıkmasını ve bunların olumsuz etkilerini önlemek üzere, patlayıcı ve sağlığa zararlı ortam havasının oluşmasını önlemek, yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse patlayıcı ortamın tutuşmasını önlemek, patlama ve yangın başlangıçlarını tespit etmek, yayılmasını önlemek ve mücadele etmek için yapılan işe uygun tedbirler alır.

5.4.6. **(Değişik: RG-10/3/2015-29291)** Kendiliğinden yanmaya elverişli madenlerde, bekleme barajları dahil olmak üzere gerekli tedbirler alınır. Yangın veya sızdırmazlık bekleme barajları üretimi biten panoların ya da herhangi bir yangın riskine karşı asgari olarak her üretim panosunun alt taban ve üst taban yollarında kurulur, bunlar dışında kurulacak bölgeler sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenir. Ocağın ana hava giriş ve çıkışında bir yangın tehlikesine karşı, ocağın giriş ve çıkışını tamamen kapatabilecek miktarda malzeme bulundurulur. Üretimi biten eski imalat ve panolardaki kalıcı bekleme barajları hava sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde kurulur ve ocak gazları yönünden sürekli kontrol altında bulundurulur. Bu barajlar, baraj arkalarında oluşabilecek gaz basıncı ve su baskınına karşı dayanımı hesaplanarak kurularak sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilir. Barajların arkasında bulunan oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür vb. ocak gazları ile sıcaklık ölçümleri 10 günde bir, değişiklik tespit edilmesi halinde sürekli yapılır ve kayıt altına alınır. Barajların açılmasında gerekli güvenlik tedbirleri alınır. Bu barajlar hazırlanacak olan yer altı çalışma planlarında gösterilir.

5.3.1. Zararlı maddelerin ortam havasına karıştığı veya karışabileceği yerlerde;

- Zararlı maddelerin çıkışının kaynağında engellenmesi,
- Kaynağından emilmesi veya uzaklaştırılması,
- Bu maddelerin ortam havasındaki yoğunluğunun azaltılması,



gibi tedbirler alınarak çalışanların risk altında olması önlenir. Bu tedbirlerle ilgili uygulanan sistem, çalışanların risk altında olmasını önleyecek şekilde ve zararlı maddeleri ortam havasından uzaklaştıracak kapasitede olmalıdır.

5.1.1. Ortam havasında sağlığa zararlı ve/veya patlayıcı maddelerin bulunup bulunmadığının tespit edilmesi ve bu maddelerin konsantrasyonunun ölçülmesi için gerekli tedbirler alınır. Sağlık ve güvenlik dokümanında gerekli görülmesi halinde, elektrikli tesisatlar ve içten patlamalı motorların gücünü otomatik olarak kesen aygıtlar, belirlenmiş yerlerdeki gaz birikimlerini otomatik ve devamlı olarak ölçen kontrol aygıtları ve otomatik alarm sistemleri sağlanır. Otomatik ve mekanik ölçüm sonuçları sağlık ve güvenlik dokümanında öngörüldüğü şekilde kayıt altına alınır ve saklanır.

2.1.6. Yer altı (**Ek ibare:RG-10/3/2015-29291**) kömür ocaklarında kullanılacak ekipman ve tesisatlar ile bu tip madenlerin grizu gazı ve/veya yanıcı tozlar tarafından muhtemel tehlike oluşturabilecek yerüstü tesislerinde kullanılan parçalar 30/12/2006 tarihli ve 26392 4 üncü mükerrer sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)'te belirtilen I. Grup (**Değişik ibare:RG-10/3/2015-29291**) Teçhizatın uygun kategorisinde olmalıdır.

### 5.7. Dünyada Ocak Atmosferi Sınır Değerleri

GAZ	ACGIH		BOELV / IOELV		OSHA	NIOSH
	TWA (ppm)	STEL(ppm)	TWA (ppm)	STEL(ppm)	PEL(ppm)	IDLH(ppm)
CO	25	-	20	100	50	1200
CO <sub>2</sub>	5000	30000	5000	15000	5000	40000
NH <sub>3</sub>	25	35	20	50	50	300
NO	25	-	25*--> 2	35	25	100
NO <sub>2</sub>	3	5	3*--> 0,5	5*-->1	5	20
H <sub>2</sub> S	10	15	5	10	20	100
SO <sub>2</sub>	2	5	0,5	1	5	100

Tablo-3 Maden gazlarına mesleki maruziyet limitleri. [12]

\*NO<sub>x</sub> limitleri için: AB'deki maden sektöründe 2023 ten sonra ok işaretinden sonraki değerler geçerli olacaktır.

GAZ	Safe Work Australia		RGNBSM	
	TWA (ppm)	STEL(ppm)	TWA (ppm)	Tavan(ppm)
CO	30	-	50	100
CO <sub>2</sub>	5000 (Kömür hariç madenler) 12500 (Kömür madenleri)	30000	5000 (%0,5)	12500 (%1,25)
NO	25	-	10	25
NO <sub>2</sub>	25	-	10	25
H <sub>2</sub> S	10	15	10	50
SO <sub>2</sub>	2	5	5	10
H <sub>2</sub>	-	-	1000 (%0,1)	10000 (%1)
CH <sub>4</sub>	1000	-	15000 (%1,5)	25000 (%2,5)

Tablo-4 Avusturalya ve İspanyol Maden Yönetmeliklerindeki Maruz Kalma Sınırları [12]

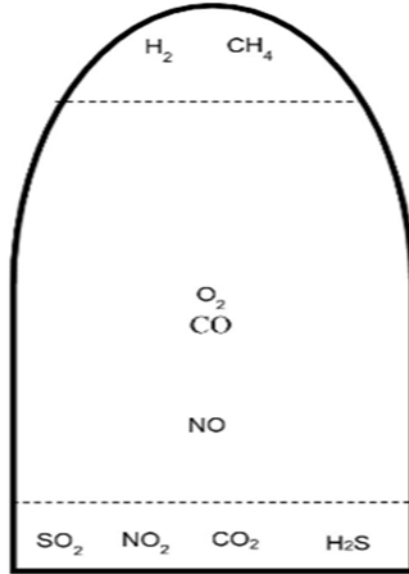
Gaz	Parlayıcı	Patlayıcı	Zehirli	Boğucu	Patlayıcı Limitler LEL%- UEL%
CO	x	x	x	x	12,5- 73
CO <sub>2</sub>				x	
CH <sub>4</sub>	x	x	x	x	5-15
SO			x		
N <sub>2</sub>				x	
NO <sub>x</sub>			x		
H <sub>2</sub> S	x	x	x	x	4,3-46
H <sub>2</sub>	x	x		x	4,1-74
Benzen	x	x			1,3-79

Tablo-5 Maden ocaklarında bulunabilen zararlı gazlar ve patlama limitleri [12]

### 5.8. Gaz Algılama Sensör Montaj Yerleri

Şekil 20'de gösterildiği gibi gaz ölçüm dedektörleri yerleşim yerleri ile ilgili tavsiyeler aşağıdadır:

1. H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> havadan daha hafif olduğu için bu gazlara ait dedektörlerin galeri tavanına monte edilmeleri gerekir.
2. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve bazı hidrokarbonlar havadan yoğun oldukları için bu gazlara ait dedektörlerin galerinin alt tarafına monte edilmeleri gerekir.
3. CO ve O<sub>2</sub> dedektörleri yaklaşık insan baş hizasına monte edilir. NO ise havadan küçük bir miktar daha yoğun olduğu için baş hizasından daha aşağıya monte edilir.
4. Sensörler doğrudan taze hava beslemesi olan zonlara monte edilmemelidir. Zira taze hava gazların seyrelmesine ve yanlış ölçülmesine sebep olacaktır.
5. Bunu yerine sensörler gazların birikmesi muhtemel olan yerlere monte edilmelidir. Bu kural yanıcı gazlar için geçerli değildir. Yanıcı gazlar için tam tersi konsantrasyon artmadan (birikmeden) tespit etmek daha doğru olacaktır.
6. Çoğu zaman, spesifik bir gaz ölçülmesinden ziyade, O<sub>2</sub>'nin başka bir gaz tarafından (örneğin N<sub>2</sub>) süpürülmesi önemli bir risk teşkil eder.
7. Zehirli gazlar her zaman ortalama insan baş hizasından izlenmelidir.



Şekil-21 Maden galerisinde değişik gaz sensörleri için yerleşim yerleri [12]

## 6. HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEM TASARIMI

Yer altı madenlerinde kurulacak havalandırma otomasyon sistemleri için yapılacak tasarım için aşağıdaki başlıklarda detaylı çalışma yapılmalıdır. Maden işletmesinin ihtiyacına (ocağın tipine, havalandırma sistemi tasarımına, yasal yönetmeliklere, enerji verimliliği hedefine ve bütçeye) bağlı olarak çalışmalar şekillendirilir. Oluşturulan tasarım paketi, ihale, BİD faaliyeti ve işletme süreçlerini çok yakından etkileyeceği için çok dikkatli ve ihtiyaçlar doğrultusunda hazırlanmalıdır.

### 6.1. Çalışma Senaryoları

Uygulanabilecek bazı sistem çalışma senaryoları aşağıda listelenmiştir:

- Otomasyon sistemi ekranından (sabit bilgisayar, seyyar akıllı cihazlar, seyyar tablet, seyyar bilgisayar) elle müdahale
- Olaya bağlı aksiyon
- VOD ve tipleri
- Fanların eş yaşlandırılması
- Havanın resirkülasyonu (Potas ve tuz madenlerinde)
- Yedekli fanların otomatik asıl yedek değişiminin yapılması
- Bakım zamanı yönetimi (Önleyici, kestirimci, periyodik bakım, atmosfer izleme sistemi ekipmanı kalibrasyonu vb.)
- Fan takip etme; asıl ve tali fanların birbirini takip ederek koordine çalışması
- Sıcaklık kontrolü (hava giriş ana şaftında donma önleme amaçlı propan yakıtlı veya elektrikli ısıtıcı kontrolü veya hava yıkama yoluyla soğutma (çiğ nokta kontrolü)
- Soğutma sistemi kontrolü (chiller plant kontrol): Soğutma kulelerinin dış hava yaş termometre sıcaklığına bağlı olarak çıkış su sıcaklığı ayar değerinin kaydırılması, madenden gelen ısınmış su sıcaklığının ön soğutma kulesi ve (hava yıkamalı) soğutucu ve soğutma grupları vasıtasıyla hedeflenen sıcaklık değerine soğutularak aşağıya maden ocağında yer alan sulu serpantinli fanlı ünitelere gönderilmesi. Bu süreçte sirkülasyon pompaları değişken debi kontrolü, soğutma gruplarının kulelerin ve pompaların EER değerine göre çalıştırılması, eş yaşlandırma, yedekli çalıştırma
- Yer altındaki soğuk su serpantinli soğutmalı fanların su sıcaklık kontrolü ve debi kontrolü
- Personel veya araç takip sistemine göre havalandırma miktarının ayarlanması
- Patlatma sonucu oluşan zararlı emisyonların miktarına bağlı havalandırma miktarının ayarlanması
- Maden içi havalandırma akış hızının belirlenen sınırlar içinde tutulması (örneğin 0,5 ila 8 m/s)
- Maden içi toz seyreltme havalandırması (örneğin 2 m/s)
- Maden için oksijen miktarının sınır değerinin altına inmeyecek şekilde havalandırma miktarının ayarlanması
- Yangın senaryosuna destek (işletme yangın senaryosu doğrultusunda)
- Maden ortam havası sıcaklık (ısıtma / soğutma) kontrolü
- Maden ana fan kanal sıcaklık kontrolü (temiz hava şaft girişi yaş termometre sıcaklığı 5 C'nin altına düşmeyecek şekilde)
- Maden havasındaki DPM konsantrasyonu sınır değerini aşmayacak şekilde aktif dizel araç bölgelerinde havalandırma miktarını ayarlamak
- Maden havasındaki patlayıcı yanıcı gaz konsantrasyonu sınır değerlerini aşmayacak şekilde ilgili bölgedeki havalandırma miktarını (sabit veya değişken havalandırma hedef değeri hesaplayarak) ayarlamak
- Maden havasındaki zehirli gaz konsantrasyonu sınır değerlerini aşmayacak şekilde ilgili bölgedeki havalandırma miktarını (sabit veya değişken havalandırma hedef değeri hesaplayarak) ayarlamak
- Zaman programı/Zamana bağlı havalandırma (Örneğin vardiya özelliği, patlatma süreci vb.)
- Telemetriye bağlı havalandırma (Personel ve araç takibi)
- Diğer

## 6.2. Nokta Listesi

Sistemde yer alabilecek (giriş/çıkış) bilgi kapsamı aşağıdaki gibi listelenebilir. Belirtilen noktalar birebir fiziksel kablolar yoluyla taşınabildiği gibi endüstriyel standart haberleşme protokolleri üzerinden entegrasyon yoluyla da sistem kapsamında yer alabilir.

### 6.2.1. Ana fanlar için noktalar

- Fan çalışma
- Fan arıza
- Fan Otomatik/ El Modu
- Fan stator U fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator V fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator W fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan ön yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Fan arka yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Maksimum Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Reaktif (kVAR)
- Fan akımı L1,L2,L3 (A)
- Fan gerilimi U1,U2,U3 (A)
- Güç faktörü
- THD
- Frekans
- VFD arıza
- VFD çalışma
- VFD hızı (%)
- VFD kumanda on-off
- VFD kumanda oransal ((0)4-20mA veya (0)2-10 Vdc)
- VFD By-Pass devresi durumu
- Elektrikli Isıtıcı Kumanda
- Elektrikli Isıtıcı Yüksek Sıcaklık Alarmı
- Elektrikli Isıtıcı Hava Akış Bilgisi
- Kanal tipi duman dedektörü alarmı
- Fan Hava Debisi (m<sup>3</sup>/sn)
- Fan Hava Hızı (m/s)
- Fan Kanal Sıcaklık Bilgisi (°C)
- Fan Statik Basınç Bilgisi (Pa)
- Fan çalışma zamanı (saat)
- Fan bakım alarmı
- Fan damper on-off
- Fan backdraft damper pozisyon bilgileri
- Fan giyotin damper on-off
- Fan giyotin damper pozisyon
- Diğer

### 6.2.2. Tali fanlar (besleme, egzoz, takviye amaçlı ikincil, üçüncül fanlar)

- Fan çalışma
- Fan arıza
- Fan Otomatik/ El Modu
- Fan stator U fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator V fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator W fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan ön yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Fan arka yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Maksimum Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Reaktif (kVAR)
- Fan akımı L1,L2,L3 (A)
- Fan gerilimi U1,U2,U3 (A)
- Güç faktörü
- THD
- Frekans
- VFD arıza
- VFD çalışma
- VFD hızı (%)
- VFD kumanda on-off
- VFD kumanda oransal ((0)4-20mA veya (0)2-10 Vdc)
- VFD By-Pass devresi durumu
- Fan Hava Debisi (m<sup>3</sup>/sn)
- Fan Hava Hızı (m/s)
- Fan Kanal Sıcaklık Bilgisi (°C)
- Fan Basınç Bilgisi (Pa)
- Fan çalışma zamanı (saat)
- Fan bakım alarmı
- Fan kelebek damper oransal kumanda
- Fan kelebek damper pozisyon bilgisi
- Diğer

### 6.2.3. Hava Akışı Ayarlayıcılar

- Kapı kumanda on-off
- Kapı açık-kapalı pozisyon bilgisi
- Kapı oransal kumanda
- Kapı pozisyon bilgisi
- Pencere oransal kumanda
- Pencere pozisyon bilgisi
- Damper oransal kumanda
- Damper pozisyon bilgisi

### 6.2.4. Atmosfer İzleme Sistemi

#### 6.2.4.1. Gazlar

- Karbondioksit (CO<sub>2</sub>): 0- 50,000 ppm veya 0-%5 hacimsel
- Yanıcı gazlar: 0-100% LEL
- Metan (CH<sub>4</sub>): 0-%5 hacimsel.
- Oksijen (O<sub>2</sub>): 0-% 30hacimsel



- Karbonmonoksit (CO): 0-1,000 ppm veya 0-1500 ppm veya 0-2000 ppm veya 0-9999 ppm
- Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S): 0-500 ppm
- Azotdioksit (NO<sub>2</sub>): 0-150 ppm
- Azotmonoksit (NO): 0-250 ppm
- Sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>): 0-150 ppm
- Hidrojen Klorür (HCL): 0-30 ppm
- Hidrojen Siyanür (HCN): 0-30 ppm
- Amonyak (NH<sub>3</sub>): 0-50/100 ppm
- Radon: 1-1,000,000 Bq/m<sup>3</sup> veya 2-2,000,000 Bq/m<sup>3</sup>

#### 6.2.4.2. Seyyar Ölçülen Aerosoller (Toz, Duman, Sis, Buğu)

- DPM ve Silika (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> ve 0,8 µm DPM): 0,001- 100 mg/m<sup>3</sup> (konsantrasyon ölçüm aralığı) 0.1- 10 µm (ölçülebilen partikül boyut aralığı)

#### 6.2.5. Telemetri (Personel ve İş Makinası İzleme) Sistemi

##### 6.2.5.1. Personel takip

- Personel kimlik no
- Personel konum bilgisi
- Zaman
- Tarih

##### 6.2.5.2. Araç takip

- Araç kimlik no
- Araç konum bilgisi
- Araç çalışma durumu
- Zaman
- Tarih

#### 6.3. Ayar Parametreleri

##### 6.3.1. Genel Liste

- Tüm izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların sınır değerleri
- İlgili maden ocağındaki çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait sınır değerleri
- Yedekli fanların eş yaşlandırma süreleri
- VFD ünitelerin alt ve üst hız ayar değerleri
- VFD ünitelerin rampa zamanları
- Damperlerin çalışma modlarına göre almaları gereken pozisyonları (Örneğin üretim, aktarma, patlatma var, patlatma yok)
- Fanların çalışma modlarına göre debi değerleri (Örneğin üretim, aktarma)
- Dizel araçların tiplerine göre gereken havalandırma miktarları
- Çalışan başına havalandırma miktarı
- Toz seyreltme için gereken optimum hava hızı
- Patlatma sonucu oluşan zararlı gaz seyreltmesi için havalandırma miktarı
- Elektrikli ısıtıcı yüksek sıcaklık alarmı sınır değeri
- Maden ocağı soğutma sistemi su sıcaklık ayar değerleri
- Maden ocağı ısıtma sistemi hava sıcaklık ayar değeri
- Diğer



### 6.3.2. Yer altı maden ocaklarında yapılan havalandırma sistemi ayar değerleri için spesifik bilgiler

#### 6.3.2.1. Cevher çıkartma bölgesinde gerekli hava akışı

##### 6.3.2.1.1. Cevher çıkaran madencilerin solunumu için gereken minimum hava miktarları

Bağımsız galeride bulunan maden işçisi başına 40 litre/sn (RGNBSM-ITC 04.7.01)

Dolayısıyla ilgili bölge minimum hava debisi: ilgili bölgede bulunabilecek (en kalabalık vardiya) maksimum personel sayısı \* 40 lt/sn olarak hesaplanabilir.

##### 6.3.2.1.2. Gazların düzenleyici minimum hızda dönmesi için gereken minimum hava akış hızı

Patlayıcı kullanılan madenlerde minimum hava hızı 0,2 m/s olarak uygulanmaktadır. (RGNBSM-ITC 05.0.01)

Kömür madeni galerilerinde minimum hava hızı 0,3 m/s olarak uygulanmaktadır. (RGNBSM-ITC 04.7.01)

Minimum hava hızı kesit ile çarpılırsa minimum hava akış miktarı hesaplanabilir.

##### 6.3.2.1.3. Dizel egzoz gazlarını seyreltmek için gerekli minimum hava debisi

Bertard ve Bodelle yaklaşımına göre, CO ve NOx konsantrasyonlarını kabul edilir seviyelere düşürecek minimum hava debisi (Qm) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$Qm (m3/s) = F * (10000 * CO + 40000 * NOx)$$

F: Dizel egzoz gazı debisi (m3/s)

CO: CO gazı konsantrasyonunun toplam egzoz gazlarına oranı

NOx: NOx gazı konsantrasyonunun toplam egzoz gazlarına oranı

Çeşitli ülke yönetmeliklerine göre aşağıdaki gibi ifade edilmektedir, değerler minimum olarak kabul edilmelidir:

Avustralya: 0,06 m3/sn x Motor gücü (kW)

Kanada: 0,045- 0,092 m3/sn x Motor gücü (kW)

Şili: 0,063 m3/sn x Motor gücü (kW)

Güney Afrika: 0,063 m3/sn x Motor gücü (kW)

İspanya: 0,066 m3/sn x Motor gücü (kW) (RGNBSM-ITC 04.7.02)

ABD: İlgili alanda DPM konsantrasyonunu 800 mikro gr. / m3 TC yapan debi (MSHA)

Öte yandan, konuyla ilgili günümüzde giderek yaygınlaşan Egzoz Kalite Endeksi (EQI) olarak adlandırılan bir başka yaklaşım daha vardır. EQI değerini 3'ün altına indirecek hava miktarı madenlerde havalandırma değeri olarak kullanılmaktadır. EQI formülü aşağıda verilmiştir:

$$EQI = CO/50 + NO/25 + DPM/2 + 1,5*(SO2/3 + DPM/2) + 1,2*(NO2/3 + DPM/2)$$

DPM (mg/m3)

CO, NO, SO2, NO2 (ppm)

##### 6.3.2.1.4. Patlatma sonrası oluşan zararlı gazları seyreltmek için gereken hava debisi

Patlatma sonrası oluşan zararlı gazlardan en tehlikeli ikisi NO2 ve CO dur. Bazı Avrupa ülkelerinde bu iki gaz dikkate alınarak patlatma sonrası oluşan zararlı gaz atmosferi ile ilgili zehirlilik endeksi hesaplanmaktadır. Bu endeks RGTI'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Lco = CO + 6,5 * NOx$$

CO: Birim kütle (kg) patlayıcı sonucu oluşan CO hacmi – litre

NOx: Birim kütle (kg) patlayıcı sonucu oluşan NOx hacmi – litre

Patlayıcı	Birim patlayıcı kütesine (kg) bağlı gaz hacmi (litre)					
	CO <sub>2</sub>	CO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO+6.5*NO <sub>x</sub> Genel bağlı zehirlilik değeri
Ammonite 1	145.15	5.87	3.58	1.15	4.74	36.65
Ammonite 2	110.22	2.63	0.77	0.56	1.22	10.56
Dynamite 1	167.45	5.93	0.92	0.07	0.99	12.38
Dynamite 2	181.60	4.37	2.61	4.50	0.64	8.53
Dynamite 3	185.12	4.58	1.89	0.11	2.00	17.59
Dynamite 4	171.53	1.56	5.49	0.46	5.96	40.31
MWE 1	109.34	21.85	0.62	0.06	0.68	26.28
MWE 2	123.72	21.43	1.09	0.06	1.15	28.90
MWE 3	105.26	21.43	0.38	0.02	0.40	24.03
Methanite 1	91.85	9.29	3.69	0.16	3.86	34.35

**Tablo-6** Farklı patlayıcıların ürettiği gaz hacim değerleri, genel bağlı zehirlilik değeri (CO+6,5\*NO<sub>x</sub>). [12]

Gaz	Birim kg ANFO karşılığında oluşan gaz kütesi (kg)	Gaz Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Birim kg ANFO karşılığında oluşan gaz hacmi (m <sup>3</sup> )
CO	0,0163	1,25	0,01304
CO <sub>2</sub>	0,1639	1,977	0,0829
NO <sub>2</sub>	0,0035	1,36	0,0026

**Tablo-7** Birim kütle ANFO patlatmasında oluşan zararlı gazların kütle ve hacimleri [12]

ANFO, birçok maden işletmesinde en çok tercih edilen patlayıcı olduğu için havalandırma hesaplarında ana referans olarak kabul edilir. Avustralyalı patlatma mühendislerinin kullandığı değerler Tablo-7'de gösterilmiştir.

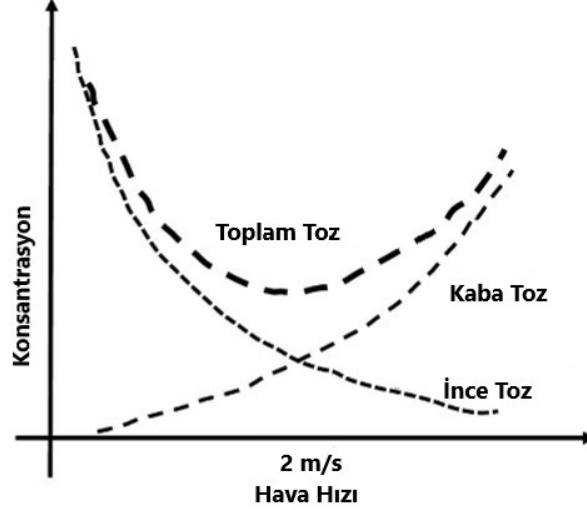
ABD'de MSHA, yer altı kömür madenlerinde veya gaz sızdıran madenlerde izin verilen patlayıcıların üretebileceği gaz miktarını (kg patlayıcı başına) 156 litre CO eşdeğeri ile sınırlamıştır. AB standartı EN13631 ise maden patlayıcılarının üreteceği gazlar ile ilgili bir sınır getirmemiş, bu görevi birlik üyesi ülkelerin ulusal standartlarına bırakmıştır. Buna örnek vermek gerekirse, Polonya'da madenlerde kullanılan patlayıcılar birim kg başına 0,016 m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> ve 0,027 m<sup>3</sup> CO gaz hacmi ile sınırlıdır. Belçika, Slovakya, Fransa ve Çek Cumhuriyeti'nde kg patlayıcı başına 0,05 m<sup>3</sup> toplam gaz hacmine izin verilmektedir.

Solunabilir kadar küçük boyutlu partiküller olağanüstü yavaş çökelirler. Bu yüzden seyreltme hesaplarında gaz olarak düşünülebilirler. Bu toz partiküllerinin havadaki konsantrasyonunu azaltmanın yolu uygulanan hava debisi miktarıdır. Büyük partiküller çökelmeye meyilli olsalar da hava hızının yüksek olması havadaki konsantrasyonlarını korumalarına sebep olur. Hava hızı ne kadar yüksek olursa, havada asılı partikül sayısı o kadar çok olacaktır.

Yere çökelmiş partikülleri havaya kaldırmamak için galerilerde ve cevher çıkarma alanlarında hava hızının üstten sınırlanması gerekmektedir. Genel amaçlı olarak bu hız limiti 8 m/s civarlarında tutulur.



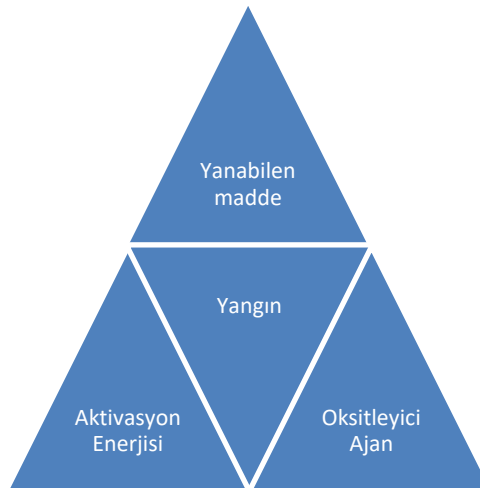
Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi hava hızı arttıkça havada asılı kalan ince partiküllerin konsantrasyonu azalmaya başlamaktadır. Havada asılı toplam toz konsantrasyonu 2 m/s hız civarında minimum değerine ulaşmaktadır. Kalın toz partikülleri madencilere rahatsızlık verse de solunum sistemi için önemli bir risk teşkil etmez.



**Şekil-22** Maden ocağında farklı hava hızlarında bulunan ince, kalın ve toplam toz konsantrasyonu [12]

#### 6.3.2.2. Maden İşletmelerinde Yangın ve Patlama Durumunda Havalandırmanın Rolü

Aktif veya işletilmeyen madenlerde yangınlar ve patlamalar oluşabilir. Kömür yataklarında ani oluşan kendiliğinden tutuşmalar patlamalara sebep olur, çıkan yangınlar söndürülemez ve yıllarca yanmaya devam edebilir. Kömür yatağı yangınları global bir sorundur, çünkü tonlarca CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Hg ve küller toprak ve suyu kirletir. Bu etki o kadar yoğundur ki, dünyadaki fosil yakıt kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun %2 ila %3'ü söndürülemeyen kömür madeni yangınlarından kaynaklanmaktadır. Bu etkilere ilave olarak yangın çıkan kömür damarı kalın ise, ilgili bölgedeki yer kabuğu yüzeyinde çöküntü bile meydana gelebilir. OSMRE, 2020 yılı itibarıyla ABD'de tahmini 98 adet kömür yatağı yangının hala sürmekte olduğunu bildirmektedir.



**Şekil-23** Yangın üçgeni

Havalandırma sistemi oksijeni sağladığı için ve yanıcı, parlayıcı gaz veya buhar konsantrasyonlarını azaltabildiği için maden ocaklarında yangın ile mücadelede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Öte yandan maden havalandırma sistemi mesela fanlar gereken durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilecek yapıda olmalıdırlar (EN 1127-2: 2014). Aynı standart ülkemizde "Patlayıcı ortamlar-

*Patlamayı önleme ve korunma- bölüm 2: Madencilikte temel kavramlar ve metodoloji* başlığıyla TS EN 1127-2:2014 olarak yürürlüktedir.

Madenlerde patlayıcı atmosfere uygun ekipman seçimi ile ilgili referans dokümanı 2014/ EU-ATEX direktifidir. Benzer direktif ülkemizde “*muhtemel patlayıcı ortamda kullanılan teçhizat ve koruyucu sistemler*” ile ilgili yönetmelik (2014/34/ab) olarak yürürlüktedir.

Galeri veya tünelde yangın oluşması durumunda dumanın tahliye yönünün tersine hareket ettirilmesi önemlidir. Yetersiz havalandırmaya bağlı olarak dumanın geriye doğru tabakalaşması ve tahliye yönünde hareket etmesi tahliyeyi olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sorun yeterli miktarda taze hava besleme ile çözülebilir ki bu durumda beslenecek hava belirli bir hızdan daha düşük olmamalıdır (NFPA 502:2020).

Yer altı madenlerinde sorumlu disiplinlerin hazırladığı yangın senaryosu doğrultusunda havalandırma sistemine otomasyon üzerinden ve/veya elle müdahale yoluyla yangın ile mücadele edilir.

#### 6.4. Alarmlar

- Tüm izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların aşılma sınır değerleri
- Tüm izlenen, ölçülen aerosollerin aşılma sınır değerleri
- Yangın Alarmları
- Patlatma Alarmları
- İlgili maden ocağındaki çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait sınır değerlerinin aşılması
- Otomasyon Pano hacimleri sıcaklık alarmı
- MCC Pano hacimleri sıcaklık alarmı
- Jeneratör odası sıcaklık alarmı
- Jeneratör havalandırma sistemi arıza
- UPS Odası sıcaklık alarmı
- Trafo mahal sıcaklık alarmı
- VFD ünitelere ait alarmlar
- Fanlara ait alarmlar (titreşim, termik, faz hatası vb.)
- Kanal tipi elektrikli ısıtıcı alarmları (yüksek sıcaklık, duman alarmı, hava akış yok alarmı)
- Orta gerilim, düşük gerilim sistemine ait alarmlar
- Jeneratör sistemine ait alarmlar
- UPS sistemine ait alarmlar
- Yangın Algılama Sistemine ait alarmlar (yangın zon alarmları vb.)
- Yangın Söndürme Sistemine ait alarmlar (Yangın pompa istasyonu alarmları)
- Patlatma durum bilgileri (lokasyon, zaman ve tarih)
- Patlatma sonrası ilgili bölgede belli bir süre sonra ilgili fanların çalışmaması
- Regülatörlerin olmaları gereken konumda olmamaları
- Çalış komutu alan fanların çalışmaması
- Dur komutu alan fanların durmaması
- Açıl komutu alan regülatörlerin açılmaması
- Dur komutu alan regülatörlerin durmaması
- Fanların bakım alarmı (bakım için gereken çalışma saatinin tamamlanması)
- Hareket algılanmasına rağmen tali fan çalışmaması
- Takip sisteminin bilgi vermesine rağmen tali fanın çalışmaması
- Gaz alarmı olmasına rağmen ilgili fanın çalışmaması
- Aerosol alarmı olmasına rağmen ilgili fanın çalışmaması
- Zehirli, boğucu, yanıcı, patlayıcı gazlar ve/veya zararlı aerosol konsantrasyonunun sınır değerinin üstünde olduğu bölgede işçi varlığı tespit edilmesi
- Maden ocağı soğutma sistemi alarmları
- Maden ocağı ısıtma sistemi alarmları
- Haberleşme alarmları
- Diğer

### 6.5. Trendler

- Tüm bölgelerde izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların ölçülen değerleri
- İlgili maden ocağındaki tüm bölgelerde çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait ölçülen değerler
- Tüm fanların çalışma zamanları
- Tüm fanların arıza durumları
- Tüm fanlara ait ölçülen değerler (elektrik güç, titreşim, sargı sıcaklık, yatak sıcaklık, hava sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç)
- Trend grafiklerinde çoklu parametre ve ilgili parametreye ait sınır değer bulunabilecektir.
- Diğer

### 6.6. Zaman Programı

- Vardiyaların başlama ve bitiş zamanları
- Fanların çalışmaya başlama ve durma zamanları
- Soğutma ve ısıtma sistemi zaman programları
- Fanların farklı çalışma ayar değerlerine geçiş yapacağı zaman dilimleri
- Havalandırma sisteminin farklı çalışma modlarının (vardiya türü) uygulanacağı zaman dilimleri
- Patlatmadan sonra başlanacak tali havalandırma
- Dizel araç tespitinden sonra başlanacak tali havalandırma
- Diğer

### 6.7. Kullanıcı Yetkilendirme

Maden Havalandırma Otomasyon Sistemi kullanıcı yetkilendirme süreci maden işletmesi tarafından karar verilecek bir konudur.

Genel olarak; aşağıda belirtilen dört kullanıcı profili üzerinden yetkilendirme örnek olarak verilebilir:  
Yönetici: Kullanıcı tanımlar, yetkileri ayarlar, şifrelerini belirler. Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapabilir. Analiz yapar, rapor alır.

Operatör-1: Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapabilir. Analiz yapar, rapor alır.

Operatör-2: Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapamaz.

Teknisyen: Belirli bilgilere ulaşır, değişiklik yapamaz.

### 6.8. Sistem Mimarisi, Haberleşme

Sistem telli ve/veya telsiz haberleşme (hibrit de olabilir) üzerine kurulabilir. Genel olarak kullanılan haberleşme protokolleri ve yolları;

PLC düzeyinde: Modbus TCP, Ethernet IP, Profibus, Profinet,

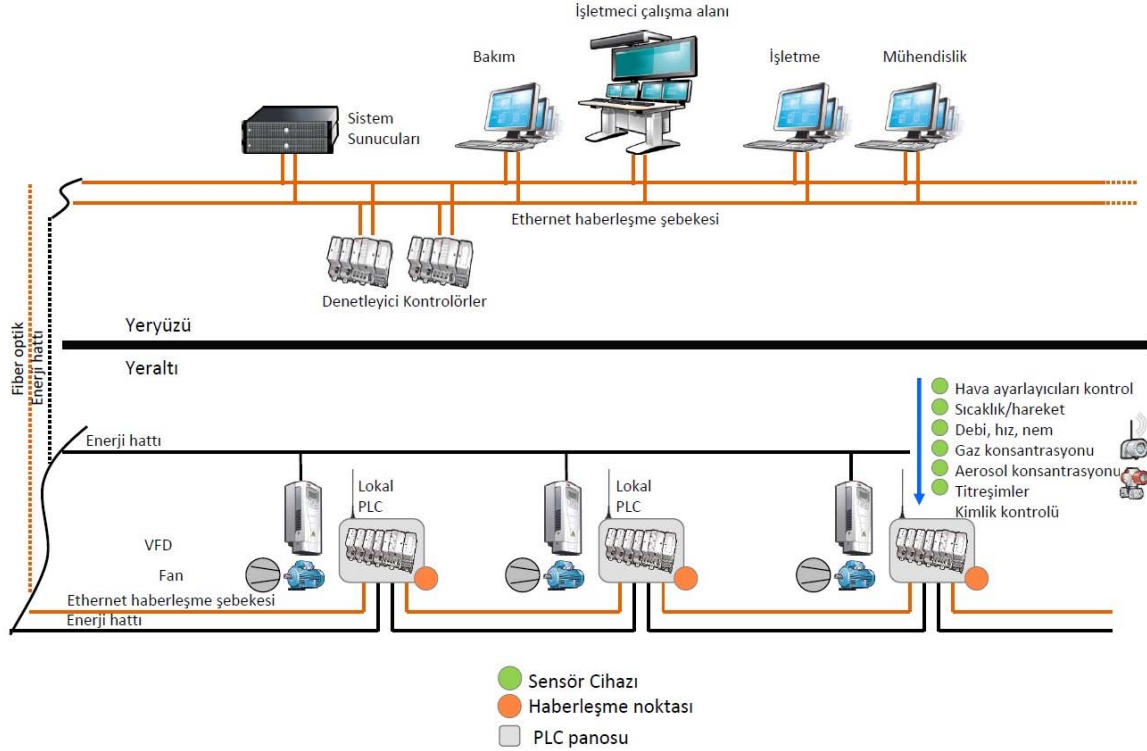
Telemetri (personel ve araç takip) sistemleri için telsiz olarak: Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee

Yazılım düzeyinde: OPC, OPC UA, Web Servisleri (REST, SOAP), Wifi, 5G, 4G,

Şekil 23'te de görüleceği üzere, havalandırma otomasyon sisteminin yer altı ve yer üstündeki haberleşme hatları bileşenleri sistem mimarisi projesinde şematik olarak detaylı gösterilir. Bu proje, sistemin en önemli altyapısını tariflediği için dikkatli ve maden ocağı fiziksel yapısı dikkate alınarak üretilmelidir. Bu projede aşağıdaki bilgiler yer alır;

- Haberleşme ağı yapısı (telli, telsiz, kablo tipi, haberleşme protokolleri, ağ ekipmanı, kanal sayıları, arayüzler, diğer sistemlerin entegrasyon arayüzleri, ağ tipleri, yedekli donanım, yedekli haberleşme ağı, haberleşme ağında kullanılacak donanım etiket no bilgileri)
- Otomasyon panoları (her otomasyon panosunda yer alan PLC ünite listesi, otomasyon panoları kapsamındaki alt sistemlerin listesi (örneğin ACP-1 de yer alan tali fan ve motorlu damper vb.), otomasyon pano etiket isimleri)
- Sistemde kullanılacak IP adres sayısı ve yedek sayısı
- Otomasyon panolarında kullanılan ve yedek fiziksel nokta sayısı bilgileri
- Yazılım kullanılan adres ve kullanılmayan yedek adres sayısı bilgileri
- Projede gösterilen tüm ekipmanın yerleşim bilgisi, üretici model no ve cihaz etiket no gibi bilgileri

- Yazılıma erişim yapma metodu (telli, telsiz) ve erişim yapacak terminallerin tipi (seyyar, sabit), buldukları mahal bilgisi, terminallere yüklenecek yazılım listesi, yazıcı, ağ anahtarı, ağ yönlendiricisi (router) gibi ekipman üretici model numaraları ile projeye işlenmelidir.



Şekil-24 Akıllı (adaptif) havalandırma sistemi haberleşme mimarisine örnek [32]

## 6.9. Saha Elemanları

Sahada kullanılacak tüm sensörler, motorlu hava ayarlayıcılar için adetli keşif listesi üretilmelidir.

## 6.10. Entegrasyon

Günümüzde maden havalandırma ve atmosfer izleme sistem bilgileri üçüncü parti sistemlere/yazılımlara kolayca entegre olabilmektedir. Entegrasyon yoluyla maden işletmesindeki diğer kontrol sistemleri genel bir çatı altında toplanır ve tesis yönetimi verimi artar. Haberleşme yoluyla entegrasyon, birebir fiziksel kablolar yoluyla bilgi alışverişine göre daha ekonomik, daha hızlı ve esnekler.

Tüm sistemde en genel anlamda havalandırma sisteminde ve diğer sistemlerle entegrasyon için kullanılabilen telli,telsiz endüstri standart haberleşme protokollerine ve yollarına Modbus TCP, Ethernet/IP, Profibus, Profinet, Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee, OPC, OPC UA, Webservisleri (REST, SOAP) uygulamaları örnek olarak verilebilir.

Maden havalandırma otomasyon sistemleri çatısı altına entegre olabilecek sistemler:

- GIS (Geographic Information System- Coğrafik bilgi sistemi)
- Atmosfer İzleme Sistemi,
- Yangın Algılama Sistemi
- Sıcaklık ve Debi Kontrol Sistemi
- Soğutma Sistemi (Chiller plant control system)
- Isıtma Sistemi (Main fan air heating system)
- Gaz Algılama Sistemi
- Personel ve Araç takip sistemi (Telemetry)
- Havalandırma Modelleme ve Simülasyon Yazılımı
- Tesis Bakım Yönetim Sistemi



- CFD Analizi
- Elektrik Enerjisi Yönetim Sistemi
- VFD
- Diğer

Sonuç olarak maden havalandırma otomasyon sistemi entegrasyon kapsamı bu bölümde netleştirilmelidir. Hangi sistemler entegrasyon kapsamında yer alacak ve hangi bilgiler havalandırma otomasyon sistemi ile nasıl (tek yönlü, çift yönlü) paylaşacak listelenmelidir. Öte yandan Maden havalandırma sistemi de bütünleşmiş maden yönetim sistemi çatısı altına girer. Bütünleşmiş maden yönetim sistemi havalandırma otomasyon sistemi yanısıra, video izleme ve analitik sistemleri, maden proses sistemleri, geçiş kontrol sistemleri, acil haberleşme sistemi gibi diğer sistemleri kapsamına alır.

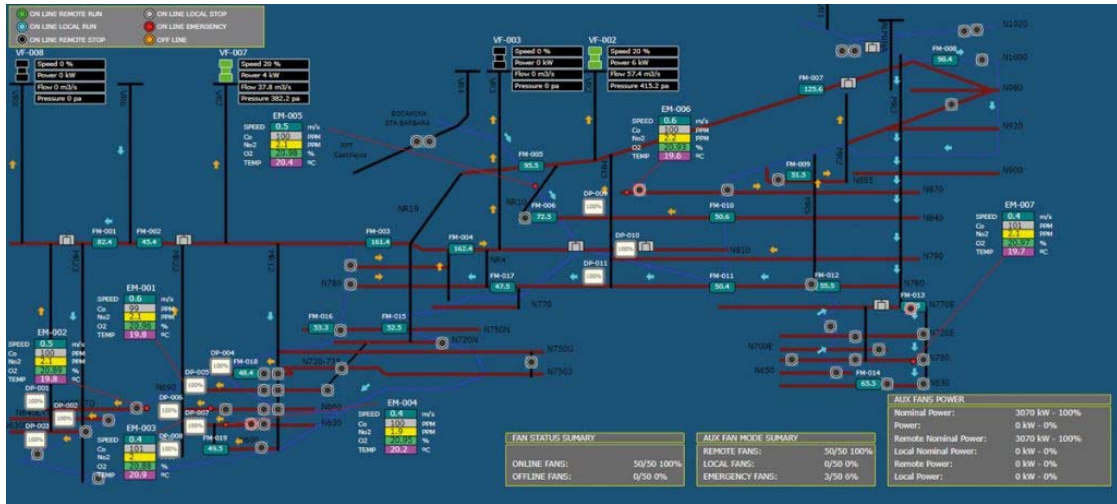
### 6.11. Raporlama

Havalandırma otomasyonu yazılımının otomatik olarak üretebileceği rapor çeşitleri aşağıda örneklendirilmiştir. Sistemin üretebildiği raporların adeti ve içeriği, işletmenin kararına göre şekillendirilir. Bu raporlar istenirse dijital belge olarak arşivlenir, istenirse konsol olarak ilgili kullanıcıya sunulur.

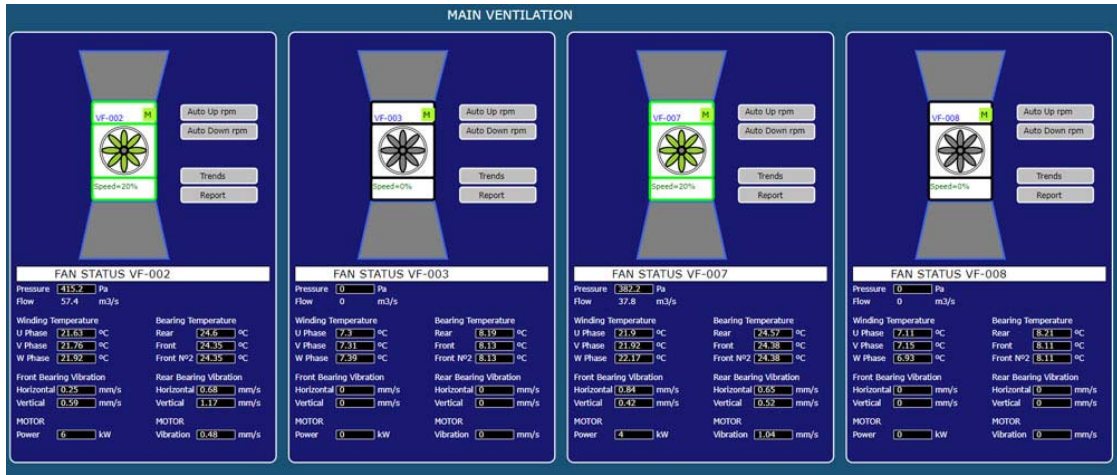
- Fanlara ait genel arıza ve çalışma durum bilgileri,
- Fan el / oto çalışma durumları
- Çalışan fanların toplam fan sayısına oranı
- El konumunda çalışan fan sayısı, Otomasyondan çalışan fan sayısı
- Fan güçleri, fan titreşim bilgileri, fan sargı ve rulman sıcaklıkları
- Maden ocağındaki gaz ve aerosol değerleri
- Maden ocağındaki hava hız, debi, basınç değerleri
- Bakım raporu: Sistemde yer alan cihazların çalışma zamanlarının kümülatif olarak yer aldığı rapor
- Güncel ayar değerleri raporu
- Sistem haberleşme durum raporu: Sistem haberleşmesiyle ilgili bilgiler
- Trafo, jeneratör, kesintisiz güç kaynağı (UPS) ve OG hücreler ile ilgili genel alarm bilgileri
- Maden ocağında havalandırma için gereken toplam elektrik gücü ile harcanan toplam güç
- Cihaz durum raporları: Cihazın çalışma senaryosu doğrultusunda hangi durumda bulunduğunu gösteren raporlar
- Kritik alarm raporu (Onaylanmamış)
- Adres raporları: Sisteme ait noktaların adreslerinin listelendiği rapor.
- Trend raporu: Sisteme ait bilgilerin geçmişe yönelik olarak tekil veya çoklu eğri formatında çizildiği rapor. Bu raporlarda istenilen limit değerlerinin de gösterilmesi gerekmektedir.
- Cebri soğutma sistemi genel arıza ve durum bilgileri, soğutma grubu su gidiş ve dönüş sıcaklıkları, soğutma grubu EER değeri, soğutma kulesi giriş çıkış su sıcaklıkları, dış hava yağ termometre sıcaklığı, soğutma sistemi pompa arıza, çalışma, el-oto pozisyon bilgileri
- Propan veya doğalgazlı ısıtıcı, elektrikli ısıtıcı çalışma, arıza ve sıcaklık bilgileri.
- Diğer

### 6.12. Ekran Resimleri

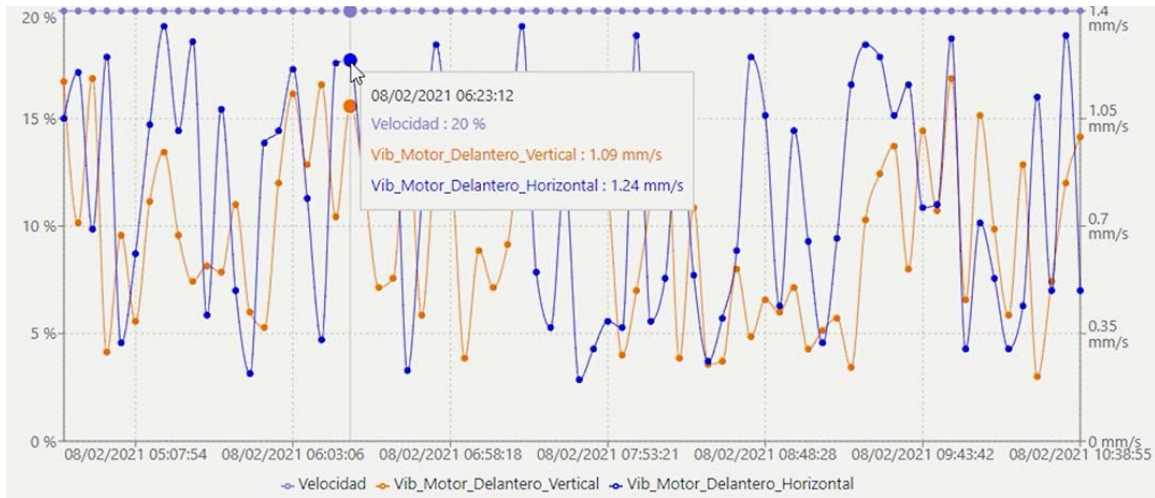
Ekran resimleri temsil ettikleri sistemi görsel olarak en kolay ve yeterli bilgi aktaracak şekilde kullanıcıya aktarabilmelidir. Renkli semboller, renk değişiklikleri, sesli ve hareketli objeler, yeterli seviyede bilgi noktası yoğunluğu ideal ekran resim sayfasında bulunmalıdır. Ekran sayfaları arasında geçiş kolay olmalı, trend, alarm, zaman programı, rapor, analiz, güvenlik gibi yazılım fonksiyonları ekran sayfaları üzerinden kullanıcıya hizmet vermelidir. İşletmenin isteğine bağlı olarak, otomasyon yüklenicisinin acil durumlarda irtibat bilgileri de ayrı bir ekran resminde yer alabilir. Sisteme ait sabit ayar değerleri, önemli işletme notları da yine ekran resmi olarak sistemde yer alabilir. Ekran resimleri maden işletmesinin onayı doğrultusunda son haline getirilmelidir.



Şekil-25 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı genel sayfası örnek [29]



Şekil-26 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı ana fanlar sayfası örnek [29]



Şekil-27 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı ana fanlar titreşim izleme sayfası örnek [29]

### 6.13. Veri Tabanı ve Veri Yedekleme, Arşivleme

Otomasyon sistemine ait veriler otomasyon panolarında yer alan PLC ünitelerde ve arayüzlerde toplanır ve yazılım veri tabanına aktarılır. Yazılım veri tabanına aktarılan veriler fiziksel sunucu bilgisayarlarında veya bulut alanlarında depolanırken paralel bir ortamda yedeklenmesi ve arşivlenmesi akıllı maden havalandırma otomasyon sistemlerinde önemli bir konudur. Gerek verilerin analiz edilerek benzer madenler için modellemede kullanılması, gerekse de ilgili işletmenin yasal mevzuat açısından tutması gereken kayıtları koruma altına almış olması sağlanır. Sonuç olarak yedekleme ve arşivleme fonksiyonları tasarımda yer almalıdır.

## 7. BİD (Belgeleme, İletişim, Doğrulama) Faaliyetleri

### 7.1. BİD Süreci

Yeni kurulmakta olan maden havalandırma otomasyon sistemlerinin işletme beklentilerini karşılayabilmesi için, sırasıyla planlanma, tasarım, uygulama ve işletme fazlarının başarıyla yerine getirildiğinin üçüncü parti bir BİD firması liderliğinde işveren, yükleniciler, tasarımcılar ile doğrulanması ve belgelenmesi gereklidir. Söz konusu başarılı bir sistem için önerilen BİD faaliyetinin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- o Maden ihtiyacını karşılayan planlama üzerinden yapılan tasarım doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Tasarımın ihtiyaçlarını karşılayan malzeme ve sistem temini doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Montaj, Çalışırlık ve Performans gerekliliklerini sağlayan doğru uygulama testleri
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Uygulamaya özel sistem işletme ve bakım kılavuzlarının hazırlanması doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Uygulamaya ve kılavuzlara özel sistem eğitiminin işletmeye verilmesi doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Sistem işletilmeye başlandıktan sonra belli bir süre sistemin takip edilip işletme ekibi görüşleri ve kayıtlı sistem verileri incelenerek ince ayarlama yapılması,
- o Başından sonuna kadar tüm faaliyetlerin imza altına alınarak güncel olarak belgelenmesi ve işletmeye teslim edilmesi.

Bahsedilen BİD faaliyeti BİD ekibi tarafından yapılır. BİD ekibi maden sahibi, tasarımcılar, yükleniciler, BİD firması ve danışmanlardan oluşmaktadır. Bu ekibin idari amiri maden sahibi iken, ekip lideri ise BİD firmasıdır. BİD faaliyeti BİD firması tarafından hazırlanacak BİD planı hazırlanıp maden sahibine sunulmasıyla başlar. BİD planı; sürecin kapsamını, aşamalarını ve detaylarını, sorumluluk ve belge matrislerini, süreç boyunca yapılacak doğrulama faaliyetlerini, hazırlanacak belgeleri, iletişim ve raporlama araçlarını, ekibi oluşturan disiplinlerin temas bilgilerini, BİD prosesi akış şemasını, BİD iş programını içerir.

Yukarıda sıralanan adımların yerine getirilmesi ile gerçekleştirilen maden havalandırma otomasyon sistemiyle, maden işletmesinde hedeflenen üretim yapılırken mümkün olan üst düzey enerji verimliliği, işçi sağlığı ve iş güvenliği garanti altına alınacaktır. İhtiyacı esnmeden sağlayan maden havalandırma otomasyon sistemlerinin işletmeye kazandıracığı enerji verimliliği otomasyon sistemi ilk yatırım maliyetini kısa bir süre içerisinde amorti edecektir.

İşletme BİD firması ile çalışma sürecini sonuçlandırdıktan sonra kendi içinde kuracağı bir ekip ile kendi BİD faaliyetini devam ettirmelidir. Bu faaliyete sürekli BİD faaliyeti adı verilir. Bu faaliyet maden işletmesinin ömrünün sonuna kadar sürmelidir. Bu süreçte, maden ocağının dinamik karakteristiği doğrultusunda özellikle sistem değişikliği, bakım, ayarlama, kalibrasyon, tazeleme eğitimi, belgeleme gibi işletme sürekliliğini ve etkinliğini koruyacak faaliyetler sağlanır ve kayıt altına alınır.

### 7.2. BİD Süreci Tasarım Aşaması

Maden havalandırma otomasyon sistemleri BİD faaliyeti tasarım doğrulaması için yüklenici tarafından üretilen aşağıdaki tasarım belgelerinin işletme ihtiyacı doğrultusunda kontrol edilmesi ve doğrulanması

gerekir. BİD firması tarafından kontrol yapılır ve sapmalar tespit edilirse raporlanır, işletme tasarrufu doğrultusunda giderilerek tasarım paketi uygulanmak üzere son haline getirilir.

### **Maden Havalandırma Sistemi Tasarım Belgeleri**

- Saha elemanları keşif listesi
- Nokta analizi
- Motorlu hava ayarlayıcı ünite ve fan listesi
- Maden havalandırma prensip şemaları (Saha elemanlarının işaretlendiği şemalar (sembol tanımlamalarını gösteren tablo ile)
- Pano-PLC dağılım tablosu
- Dikey entegrasyon (havalandırma sistemi içinde yer alan alt cihaz ve sistemlerin haberleşme protokolleri yardımıyla havalandırma otomasyon sistemine entegrasyonu. Örneğin Modbus TCP üzerinden VFD entegrasyonu) kapsamı ve nokta detayları
- Yatay entegrasyon (kendine ait otomasyon sistemi olan diğer sistemlerle havalandırma otomasyon sistemi arasında haberleşme protokolleri yardımıyla kurulan entegrasyon. Örneğin gaz algılama sistemi ile havalandırma otomasyon sistemi arasında oluşturulacak entegrasyon veya kapsamı ve nokta detayları
- Sistem mimarisi (Sistem mimarisinde yer alan her haberleşme kanalında o kanal ile ilgili yedek kapasite bilgileri yer alacaktır)
- Veri merkezi cihaz listesi
- Otomasyon kablo listesi
- Otomasyon pano imalat projeleri
- MCC panolarının otomasyona uygun tipik projeleri
- Sistem çalışma senaryoları / genel
- Sistem çalışma senaryoları / ayar parametreleri
- Sistem çalışma senaryoları / enerji verimliliğine yönelik
- Sistem çalışma senaryoları / zaman programı
- Sistem çalışma senaryoları / kullanıcı-sistem erişimi
- Sistem çalışma senaryoları / dikey entegrasyon senaryoları
- Sistemde tanımlanacak alarmlar ve limitleri / alarm yönetimi
- Sistemde tanımlanacak trendler için nokta listesi / trend yönetimi
- Veri yedekleme yönetimi
- Veri saklama ve arşivleme yönetimi

### **7.3. BİD Süreci Uygulama Testleri**

Maden havalandırma otomasyon sistemleri BİD faaliyeti uygulama doğrulaması için aşağıdaki testler için gerekli yapım yöntemi ve ekleri işletme ihtiyacı doğrultusunda hazır edilir ve testler yapım yöntemleri doğrultusunda gerçekleştirilir. Sapmalar tespit edilirse raporlanır ve işletme tasarrufu doğrultusunda giderildiği doğrulanarak sonuçlar imzalı kayıt altına alınır. Test evrakı BİD firması tarafından hazırlanır. Testler BİD firması eşliğinde otomasyon yüklenicisi tarafından yapılır. Testler sırasında kullanılması gereken güncel kalibrasyonlu test cihazları yüklenici tarafından temin edilir ve testlerde kullanılır.

Önce montaj kontrol testleri yapılır, yerleşim, montaj, bağlantı gibi üretici tavsiyeleri doğrultusunda imalatlar kontrol edilir, sapmalar tespit edilip giderilir. Hemen sonra çalıştırma yeterliliği testleri başlatılır, havalandırma otomasyon sisteminde yer alan ekipman, alt ve yan sistemlerin enerjilenmesi, genel çalışma durumları yetkili servisleriyle beraber kontrol listeleri üzerinden doğrulanır. Sapmalar tespit edilip giderildikten sonra çalışma senaryoları üzerinden performans testleri yapılır. Sapmalar tespit edilip raporlanır ve giderildikten sonra işletme için gerekli çalıştırma ve bakım belgeleri tamamlanır, gerekli eğitim süreçleri doğrulanır. Sapmalar giderildikten sonra maden havalandırma otomasyon sistemi işletme kullanımına devredilmiş olur.

### **Saha Testleri (Montaj / Çalışma Yeterliliği / Performans Yeterliliği):**

- Otomasyon sistemi dahilindeki tüm panoların üretici atölyesinde (FAT) testlerinin yapılması
- Saha ekipmanı montaj ve etiket kontrol testi
- Kablo uç ve etiket kontrol testi



- Ayar parametreleri kontrol testi
- Alarm Listesi ve Alarm Geçmişi Kontrol Testi
- Raporlama kontrol testi
- Kullanıcı yetkileri kontrol testi
- Kullanıcı aktivite ve veri kayıt testi
- Trend fonksiyonları kontrol testi yapılması
- PLC üniteleri haberleşme kontrol testi
- Yatay ve dikey entegrasyon haberleşme ve nokta testleri
- Kullanıcı-sistem haberleşme performans testi
- Sunucu yazılımları kurulum kontrol testi
- Yedekleme ve arşivleme yazılımı performans kontrol testi
- Ekran resimleri ve ekran sayfaları ağaç yapısı kontrol testi
- Çalışma senaryoları performans kontrol testi yapılması

Maden işletme kullanımına geçtikten sonra işletmenin yorumları ve mevsimsel testlerden elde edilen sonuçlara göre havalandırma otomasyon sistemine ince ayar yapılabilir. Öte yandan, maden işletme süreci başladıktan sonra maden ocağı fiziksel yapısı ve ona bağılı olarak havalandırma sisteminin değışeceğı de gözden kaçırılmamalıdır. Dolayısıyla maden işletilmeye başlamakla birlikte işletmenin kendi BİD sürecini maden ömrü bitene kadar sürdürmesi kesinlikle gereklidir.

## 8. Değışken Frekans Değıştirici Üniteler (VFD)

Maden havalandırma sistemlerinde yer alan alternatif akımla (AC) çalışan fanlarda değışken frekans değıştirici ünitelerin kullanılması değışken debili sistemlere imkân tanır ve bu durum enerji verimliliğı açısından oldukça önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. İhtiyaca bağılı havalandırma senaryolarında önemli bir aktör olan bu üniteler gerek motorların yumuşak kalkmasına gerekse de fan afinite yasaları doğrultusunda elektrik motorlarının daha az akım çekmelerine imkân tanır. Öte yandan, bu ünitelerin temin ve tesisi konusunda dikkatli olunmaz ise özellikle otomasyon haberleşmesini etkileyecek birtakım sorunlar yaşanma ihtimali yüksektir. Dolayısıyla maden havalandırmasında kullanılacak değışken frekans sürücü üniteler ile ilgili aşağıdaki hususlar önemlidir:

- 1- Ünitelerin koruma sınıfları (IP dereceleri) uygulama yerine göre uygun seçilmelidir. Toza karşı 5 veya 6; su korumasına karşı 4, 5 veya 6 en çok kullanılan sınıflardır. (Örneğın IEC 60721-3-3 Class 3C2)

- 2- Değışken frekans değıştirici ünitelerin fan elektrik motorlarından ayrık olduğu uygulamalarda ünite ile elektrik motoru arasına tesis edilecek enerji kablosunun uzun mesafeli olacağı bir gerçektir. Bu kablunun uzun olması gürültü oluşumuna sebebiyet verecektir. Özellikle harmonik gürültü üretimi haberleşmeleri olumsuz etkileyecektir. Dolayısıyla temin ve tesis edilecek frekans sürücünün lokal gürültü önleyici filtrelere (RFI, EMI vb..) sahip olması, harmonik üretiminin düşük olması oldukça önemlidir. (Örneğın IEC 61800-3 Kategori C3 uyumlu olmaları)

- 3- Ünitelerin az ısınması buldukları elektrik odalarının soğutulması için harcanacak enerjinin daha az olmasına sebep olacaktır. Ünitelerin yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda (örneğin 50 C) bile çalışabilmesi bazı uygulamalarda çok önem kazanmaktadır.

- 4- Ünitelerin endüstri standardı haberleşme protokollerine (Modbus TCP, Profibus, Ethernet/IP vb..) sahip olmaları ilave kablo çekmeden birçok marka kontrol ünitesiyle bilgi alışverişi yapmasını sağlar. Bu durum kablolamada tasarruf ve daha çok bilgi alışverişi anlamına gelmektedir. Modbus TCP, Profibus, Ethernet/IP vb. entegrasyonu yapılan havalandırma otomasyon sistemlerinde ilave cihaz (enerji analizörleri, akım sensörü vb...) kullanılmadan fan elektrik enerji tüketim bilgileri otomasyon sistemine aktarılmış olur. Bu durum işletmeye hem yatırım maliyetinde hem de yerden tasarruf getirir.

- 5- Enerji verimliliğı için yüksek verime sahip değışken frekans değıştirici kullanılması tavsiye edilir.

- 6- Patlayıcı tehlikesi olan ortamlarda kullanılması planlanan ünitelerin ATEX veya IECEx onaylarının olması gerekir.

- 7- Bazı derin maden uygulamalarında OG (orta gerilim) VFD üniteler kullanılmaktadır. Bu üniteler bina sektörünün alışağıdeğı VFD'lerden farklı olarak 1000 VAC üstü beslemenin frekansını değıştirmekte ve dikili tip pano grupları olarak görev yapmaktadırlar. AG (alçak gerilim) VFD'lere göre çok fazla yer kaplar ve çok daha fazla ısınırlar. Bu ünitelerin yapılarına bağılı olarak hava veya su ile soğutulmaları gereklidir



Şekil-28 OG VFD ünite [28]



Şekil-29 AG VFD ünite [34]

## 9. MADEN HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

### 9.1. Giriş

Maden havalandırma otomasyon sistemi, maden ocağında değişik alanlara dağılmış olarak bulunan havalandırma sistem tesisatlarının ve çevresel izleme sisteminin merkezden kontrolü, denetimi ve gözlemlenmesini üstlenir.

Havalandırma otomasyon sistemi, birbirleriyle iletişim özelliği olan, ancak bağımsız olarak da çalışabilen programlanabilir kontrol cihazları, giriş/çıkış modülleri, arayüzler, bilgisayar sistemi, grafik kullanıcı arabirim yazılımı, havalandırma modelleme ve simülasyon yazılımı, CFD analiz yazılımı, bilgi ekranları, akıllı terminaller, tabletler, yazıcılar ve ağ cihazlarından oluşabilir.

Sistemin mimari tasarımı, kontrol ve alarm bilgilerinin tek bir cihaza bağımlı kalınmaksızın, sistemin herhangi bir cihazından toplanabilmesini sağlayacak yapıdadır. Kendi kontrol işlevlerini gerçekleştiren otomasyon panoları (PLC üniteler), mikroişlemcilerini ve programlarını bünyelerinde bulundurma özelliği ile sistem merkezindeki veya iletişim içerisinde bulunduğu ağdan bağımsız olarak kendi tanımlanmış kontrol işlevlerini, alarm ve diğer fonksiyonlarını yürütmeye devam eder. Sistemlerin merkezindeki, iletişim hatlarındaki veya diğer panoda (PLC ünite) herhangi bir arıza durumunda

bile, otomasyon panosu kendine bağlı tesisleri kontrol etmeğe devam etmelidir. Örneğin cevher işleme yüzündeki tali fan oradaki dizel araç varlığıyla egzoz gazı seyreltmesini kendi PLC panosuyla yapabilmelidir. Hatta, ilgili yüzde cevher bittiğinde hem havalandırma hem de varsa hava soğutma sistemi otomasyon ve kumanda panolarıyla sensörleriyle birlikte toplanıp bir başka aktif yüze kurulabilmektedir. Dağıtılmış akıl mantığı, maden gibi her an olumsuz olay (göçük, yangın vb.) yaşanabilecek bir ortamda telli telsiz haberleşmenin kesilmesi durumunda bile segmentlerin kendi yerel kontrol süreçlerini yürütebilmesini sağlar.

Sistem iletişimi üç seviyeli bir yapıya sahiptir:

- Yönetim seviyesi (Yazılım seti, bir veya birden çok merkezi bilgisayar, akıllı telefon, tablet, bilgi ekranı ve/veya bulut arası)
- Otomasyon seviyesi (Otomasyon panoları /PLC üniteler)
- Saha seviyesi (Otomasyon istasyonları ile saha elemanları arasında veya arayüzler ile diğer sistemler arasında)

Otomasyon sistemi işletmedeki tüm mekanik altyapı sistemlerini entegrasyon (bütünleştirebilme) özelliğine sahiptir ve kullanıcıların havalandırma sistem verisine, tesis içinde telsiz veya telli yerel ağ üzerinden ve (tesis dışında) internet üzerinden standart internet tarayıcı programları ile ulaşımına imkân verir. Sisteme ait bilgilerin depolanmasına ve bu bilgilerin daha sonra işlenmesine, analizine izin verir. Bilgileri depolayıp, işlenmesini ve kullanılmasını sağlarken internet üzerinden erişim güvenliğini de koruyacak özelliklere sahiptir (siber güvenlik).

Sistem, maden ocağında her bölümde arzu edilen çevre koşullarını sağlarken; enerji tüketiminde maksimum ekonomiyi sağlamak için, kullanılan enerjiyi optimize eden (enerji verimliliğine ve sürdürülebilirliğe yönelik) çalışma senaryoları doğrultusunda havalandırma sistemini çalıştırır. Dağınık alana yayılmış tüm elektrikli mekanik ekipmanın (örneğin ana ve tali fanlar, motorlu kapılar, motorlu damperler, soğutma sistemi, ısıtma sistemi vb..) belirlenecek lokasyonlarda bulunan görsel renkli grafik ekranlardan (HMI) ve/veya alfanümerik bilgi ekranlarından işletilmesine izin verir.

## 9.2. Haberleşme Sistemi

Madencilik iş güvenliği açısından en riskli işlerinden birisi olarak değerlendirilirler. Bu nedenle güvenlik, güvenilirlik ve gerçek-zamanlı erişim akıllı (adaptif) bir maden havalandırma otomasyon sistemi yapısı kurmak için önemli faktörler olarak değerlendirilir. Dolayısıyla ilgili tüm alt sistemleri birbirine bağlayıp iletişimlerini sağlayan bir ağ yapısı şu özellikleri taşımalıdır:

### 9.2.1. Ethernet ağ kurulumu

Maden havalandırma otomasyon sistemleri için, etkin bir ağ kurulumu bütün alt-sistemlerle bağlantı ve iletişim sağlamalıdır. Günümüzde, telli iletişim için ethernet iletişim veri yolu geleneksel iletim veri yollarına göre pek çok avantaja sahiptir. Çeşitli veri iletimi desteğine ek olarak diğer önemli avantajı ise veri hacmindeki yüksekliktir. Yerel ve geniş alan ağları üzerinden endüstriyel ethernet halka ağ anahtarları (switch) yoluyla aynı omurgaya bağlı bütün cihazlarla birlikte daha geniş kapsamlı ve yedekli kullanıma izin verir.

Sistem haberleşmesi telli veya telsiz olabilir. Telli haberleşme için ethernet üzerinden bakır veya fiber telli haberleşme yapılması yaygındır. Telli haberleşmede ethernet ağı yedekli yapıda inşa edilmelidir. Bunun için yönetilebilir ana ağ anahtarları ile sistem anahtarları halka şeklinde ağ yapısı ile kurulmalıdır. Sistemin kritikliğine bağlı olarak ana ağ anahtarları, sunucu bilgisayarları, ağ ethernet halkaları da yedekli olarak kurulabilir.

### 9.2.2. Haberleşme Kablolar

Elektromanyetik gürültü haberleşmeyi olumsuz etkiler. Fiber hatların gürültü dayanımı mevcuttur. Kesintisiz iletişim mesafesi 100 metreyi geçtiği zaman fiber kablo kullanmak ethernet için gereklidir. 2 km ye kadar çoklu modlu fiber kablo, 2 km'den fazla mesafelerde tekli mod fiber kablo kullanımı tavsiye edilir. 100 metrenin altındaki ethernet iletim hatlarında bakır kablo kullanılabilir. Bakır kablo tercihinde gürültü dayanımı olan kablo tipi olarak Cat6 ekranlı kablo kullanılır. Maden otomasyon sistemlerinde kullanılması planlanan bakır ve fiber kabloların ocaktaki sıcaklık dağılımına dayanıklı

(örneğin -40C ila +75 C) yangına dayanıklı, halojensiz, kimyasal ve yağ dayanımlı, darbe ve aşınma dayanımlı, bakır iletkenin korozyona dayanıklı olan kalaylı olması ve mümkünse kabloların uluslararası otoritelerden birinden (örneğin MSHA) onaylı olması tavsiye edilir. Öte yandan dünyada yanıcı patlayıcı atmosfere sahip tehlikeli maden ocaklarında (örneğin kömür ocakları) kullanılacak bakır veya fiber kablo tesisatlarının bu ortamlarda kullanılmaya uygun özelliklerde (ortam tehlikesinin sınıflandırılmasına göre örneğin bakır için “Ex-proof/instrically safe”, fiber için “Ex op is” veya “Ex op pr” uyumlu) olması gerekmektedir. Bu tesisatlar ile ilgili ulusal standart, ülkemizde Patlayıcı ortamlar-Bölüm 14: Elektrik tesisatlarının tasarımı, seçimi ve yapılışı (EN 60079-14:2014) olarak yürürlüktedir. Bu tesisatların tehlikeli ortam gereklerine uygun olarak çekilmesi gerekli özelliklerde muhafazalar, korumalar, çeviriciler ve bağlantı elemanları kullanmak gerekmektedir. Aksi takdirde tesisatlarda oluşacak kıvılcım veya ışık kaynağı yer altı maden ocağında patlamalara sebep olabilecektir. 15 Şubat 2021 tarihinde TSE tarafından yeni IEC EN 60079-10-1: 2021 standardı yayınlanmıştır ve bu standart “Patlayıcı Ortam Sınıflandırması” konusunun ülkemizdeki sürecini tanımlamaktadır.

Haberleşme omurgasını oluşturacak bu kabloların çevresel etkilerden (darbe, yüksek sıcaklık, rutubet vs..) korunacak şekilde çekilmesi ve uç bağlantılarının yapılması önemlidir. Kablo uçlarında kullanılacak proje kodlamalarının bulunduğu kalıcı kablo etiketleri maden ocağındaki zorlu çevresel şartlardan etkilenmeyecek, zamanla silinmeyecek şekilde olmalıdır.

### 9.2.3. Yedeklilik & Sürdürülebilirlik

Etkin maden havalandırma yönetim sistemleri haberleşme hatalarından olumsuz etkilenir. İş güvenliği etkilenmeyeceği için bağlantı hatasını anlayıp ters yönde yeniden yönlendirebilen ethernet ağ anahtarları yedeklilik esasına göre halka topoloji ile bağlanırsa haberleşme sürdürülmüş olur. Böylece maden havalandırma sistemi kesintisiz bir şekilde faaliyetini sürdürmüştür.

### 9.2.4. Hızlı ve Uzun Mesafe İletimi

Ağ kapasitesi iletilen veri miktarını yürütmeye yeterli olmalıdır. Ethernet ağ anahtarları ve fiber optik kablolama hızlı ve düşük maliyetli bant genişliği ve iletim alanı kontrolörleri, sahadan otomasyon panolarına ve oradan yazılıma gönderilen bütün bilgilerin güvenilirliğini temin eder. Standart Ethernet bant genişlikleri 10, 100, 1000 Mbps'dir. Fiber optik kablolama gürültü varlığından etkilenmeden yüksek hız sağlayıp ocak içinde uzun mesafe gerektiren ağ uygulamalarının bağlantılarını güvence altına alır.

### 9.2.5. Zorlu Çevresel Şartlara Dayanıklı Tesisat

Görüntüleme, algılama ve havalandırma sistem sapmalarını anında giderme kritik-güvenlikli maden uygulamaları için bir zorunluluktur. Sistem güvenilirliğini daha fazla arttırmak ve otomasyon haberleşme sisteminin güvenliğini garanti edebilmek için sistemin dayanıklı endüstriyel-tip ürünlerden temin ve tesis edilmesi, toza ve suya karşı yüksek korumalı şekilde muhafaza edilmeleri ve geniş çalışma sıcaklık aralığı (örneğin -40°C ila 75°C veya -10°C ila 90°C) ve gerekli durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilme onayına (ATEX, IECEx) sahip olma gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

### 9.2.6. Telsiz haberleşme

Radyo dalgaları üzerinden telsiz haberleşmenin mümkün olduğu maden ocaklarında ise dizüstü bilgisayar, akıllı telefon, tablet gibi seyyar insan-makine arayüzleri wifi, 4G, 5G gibi hücreli ağ teknolojisi kullanarak maden havalandırma otomasyon sistemine erişim sağlayabilirler, profillerine özgü oluşturulmuş konsollar üzerinden çevresel faktörler ve havalandırma sistemleriyle ilgili bilgi alışverişinde bulunabilirler, kendilerine verilen yetkilendirme doğrultusunda izleme ve kontrol yapabilirler.

Maden işletmelerinin şehir dışında kırsal alanlarda olduğu varsayılırsa lokasyon olarak baz istasyonlarından uzakta kalabilmeleri ve hücreli ağ sinyali çekim şiddetinin düşük olması gayet mümkündür. Bu sorun sinyal güçlendirici, çoklayıcı üniteler ile aşılabılır. Cep telefonları elektromanyetik alanda statik elektrik alanı oluşumuna sebebiyet verebildikleri için bazı maden ocaklarında kullanılmaları güvenlik açısından sakıncalı olabilir. Bunun dışında kalan maden

ocaklarında gerek çalışanlar gerekse de iş makinelerinde wifi ve telsiz dışında üçüncü bir telsiz alternatif haberleşme yöntemi olarak kullanılırlar. Madenlerde ortaya çıkması olası yangın, patlama, göçük gibi tehlikeli süreçlerde kablolu haberleşmenin kablosuzla göre daha fazla olumsuz etkileneceği ve sektöre uğrayacağı ortadadır. Dolayısıyla iyi kurgulanmış, güvenli ve sinyal gücü yetkin altyapılı telsiz haberleşme altyapıları yer altı madenlerinde havalandırma otomasyonu ve maden yönetim sistemleri üzerinden çalışanların bilgilendirilmesi, iş makineleri ve süreçlerin koordine edilmesi açısından pratik ve daha dayanıklı çözüm teşkil etmektedir.

### 9.3. PLC Üniteler

Otomasyon seviyesi ağı haberleşme hızı ve yönetim düzeyi ağı ana haberleşme hızı 10/100/1000 Mbps olabilir, ağ yapısı ise Modbus TCP, Ethernet/IP, Profibus, Profinet protokolünü destekleyebilir. Sabit bilgi ekranları ve seyyar, sabit operatör terminalleri (dizüstü bilgisayar veya tablet) veri merkezi bilgisayarındaki olası bir arıza durumunda sistem ile haberleşerek yönetilmesini sağlar. Havalandırma otomasyon sistemi için maden ocağındaki belirlenecek noktalarda akıllı ekranlar üzerinden kiosk (bilgi ekranı) uygulaması yapılabilir ve belirlenen değerler ekrandan gerçek zamanlı olarak işletmeye sunulur. PLC üniteler, bilgi iletişim şebekesi dışında taşınabilir operatör terminali (dizüstü PC veya seyyar operatör paneli) vasıtası ile değerlendirdikleri tüm bilgilerin gözlenmesine / kontrolüne kablo bağlantısı ve şifre aracılığı ile izin verirler.

Her otomasyon panosunda en az bir adet CPU ünite bulunur. Bir otomasyon panosundaki CPU ünite ile diğer otomasyon panolarına hizmet verilmez.

Otomasyon panoları (PLC üniteler) üst düzeyde bilgisayar ağı, izleme sistemleri, yangın algılama, telemetri sistemleri, GIS ile, alt düzeyde ise saha ekipmanı (motorlu hava ayarlayıcılar, bilgi ekranları, hissediciler) ile iletişimi sağlar. Maden havalandırma otomasyonu kapsamında kullanılan PLC üniteler için aşağıdaki hususlar önemlidir:

- PLC üniteler, ilgili oldukları sahaya ait kontrol işlemlerini gerçekleştirirler. Her yerleşim için ayrı olarak kullanılacak otomasyon istasyonları; ilgili oldukları sahaya ait bilgilerin toplanmasına, lokal kontrol mantığı çerçevesinde değerlendirilmesine ve uygun komutların üretilerek ocak içi mahalin ihtiyaç duyduğu havalandırma kontrol hareketlerine gerektiğinde, veri merkezinden bağımsız olarak karar verirler.
- PLC ünitelerde depolanan ve işlenen yerleşime ait bilgiler, bilgi iletim şebekesi üzerinden veri merkezine aktarılacaklardır. PLC üniteler; kendi mikro işlemcilerine uygun yazılımlar vasıtasıyla yerleşime ait bütün bilgileri izleme, alarm seviyeleri tanımlama ve bu alarmları izleyebilme/düzeltebilme, bütün saha elemanlarını çalıştırabilme/durdurabilme, trendleri ayarlayabilme, bütün kontrol ayar değerlerini/parametrelerini değiştirebilme ve ölçülen değerleri, ayarları kaydedebilme yeteneğine sahiptir.
- PLC üniteler, Modbus TCP, Profibus DP, Profinet, Ethernet/IP gibi endüstriyel standart olan haberleşme protokollerini kullanabilirler. Değişken frekans dönüştürücüler, enerji analizörleri, UPS, Jeneratör OG hücre sistemlerini içeren enerji izleme ve yönetim sistemleri vb. gibi alt sistemler üreticilerinin yaygın olarak kullandığı haberleşme protokolü olduğu için entegrasyon kolaylığı açısından Modbus TCP üzerinden maden havalandırma otomasyonu ana omurga haberleşme protokolü olarak uygulanabilir.
- PLC üniteler, yerleşimin kontrolü için gerekli; zaman saati, değişken zaman gecikmeli röleler, görev çevrimi, uyum kontrollü optimum başlama/bitirme, tatil programı, takvim ve otomatik yaz/kış saati vb. tüm zaman tabanlı fonksiyonları yapma yeteneğinde olacaktır.
- PLC üniteler yerleşimin kontrolü için gerekli; P veya PI veya PID kontrol blokları, analog/dijital açma ve kapama blokları, lineer seviye dönüştürücü blokları, limit blokları, ölçü seçme blokları, büyük/küçük seçme blokları, toplama/çıkartma blokları, bölme blokları, mutlak nem, entalpi/optimizasyon gibi hesaplanmış değer blokları vb. fonksiyonları yapma yeteneğine sahiptir.
- PLC üniteler RTD, termokupl, 0(2)-10 Vdc, 0(4)-20 mA, kuru kontak ve puls sayıcı gibi universal ölçüm giriş sinyallerini destekleyebilir. Genelde konumlandırma çıkış sinyali olarak da 0(2)-10 Vdc, 0(4)-20 mA analog sinyal ve röle çıkışı sinyallerini desteklenebilir.
- PLC işlemcileri yedekli olur, asıl işlemci arızalandığında yedek işlemci çok hızlı bir şekilde (milisaniyeler mertebesinde) otomatik olarak devreye girer. PLC üniteler yedekli güç besleme

ünitesi kullanılabilir. Asıl güç besleme ünitesi arızalanırsa yedek güç besleme ünitesi devreye girer. PLC panoları muhakkak kesintisiz güç kaynağı üzerinden beslenmelidir.

- o PLC ünitelerde yedekli ethernet haberleşme portu bulunması tavsiye edilir. Birinci portta bir aksama olduğunda PLC yedek ethernet portundan haberleşmeyi sürdürebilecektir.
- o PLC ünitelerde gerçek zaman saati bulunmalıdır ve bu fonksiyon ve dahili hafıza, enerji kesilmelerine karşı dahili pil ile desteklenmektedir.
- o PLC üniteler maden ocağı ortamına dayanıklı endüstriyel-tip ürünlerden temin ve tesis edilmesi, toza ve suya karşı yüksek korumalı şekilde muhafaza edilmeleri ve geniş çalışma sıcaklık aralığı (örneğin -40°C ila 70°C) ve gerekli durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilme onayına (ATEX, IECEX) sahip olma gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

#### 9.4. Yazılım

Yazılım seti, terminallerin (kablolu, kablosuz, sabit, seyyar, PC, tablet, akıllı el terminali) maden havalandırma otomasyon sistemine telli/telsiz bağlanarak maden ocağı çevresel koşullar ve havalandırma sistemiyle ilgili noktalarının renkli grafik ortamda gözlemlenmesini ve yönetilmesini sağlayacaktır. Grafik arayüzlerin tasarımı işletmenin ihtiyaçlarını karşılayacak detayda ve kullanımı kolay olmalıdır. Bazı kullanıcılara özel konsollar tasarlanarak ilgili bilgiler sabit veya seyyar terminallerden ulaştırılabilir.

Grafik ortamında maden ocağı havalandırma sistemi yapısının ekranda gözlemlenmesi ve kontrolü mümkün olmalıdır.

Sistemin çalışmasıyla ilgili bütün bilgilerin ayrıntısıyla listelenmesi ve ayar değerlerinin değiştirilebilmesi mümkün olmalıdır.

Maden ocağı çevresel şartlarını belirleyen zararlı gazlar ve aerosoller, hava hızları, hava debileri, statik basınç, eşdeğer sıcaklık, bağıl nem gibi kontrol parametrelerinde, belirli bir zaman dilimi içerisinde meydana gelen değişiklikleri gösteren trend (eğilim) bilgilerinin toplanması ve analiz edilmesi yazılım vasıtasıyla yapılabilecektir. Eğilim grafiklerinde ilgili parametre ile ilgili sınır değer eşliğinin gösterilmesi faydalıdır. Bazı eğilim grafikleri karşılaştırma maksadıyla çoklu parametre içermelidir. (Örneğin, dış hava yaş termometre sıcaklığı ile soğutma gidiş suyu sıcaklığının bir arada gösterilmesi veya aktif cevher yüzündeki oksijen konsantrasyonu ile ana ve tali fan debilerinin aynı trend şemasında gösterilmesi veya ana ve ilgili tali fan hava debilerinin aynı eğilim grafiğinde gösterilmesi).

Bütün sistem içindeki alarm noktalarının gözlemlenmesi ve uyarı ikazlarının alınması, bütün alarmların yönetimi, sistemde herhangi bir arıza durumunda önem sırasına göre grafik ortamda sistem resimleri üzerinden arızanın olduğu noktaya müdahale edilmesi ve arızanın giderilmesi önemlidir. Belirlenecek özel alarmlar lokal sesli, ışıklı ikaz düzeneleriyle, e-posta veya sesli mesaj yoluyla ilgililere gönderilmesi mümkündür. Sistemde oluşacak değişiklikler, sembol hareketi, renk değiştirme veya sesli uyarı şeklinde tanımlanır ve kullanıcıyı bilgilendirilir.

Ekranda kolaylık için tanımlanacak butonlar ve sembollerin işaret etmiş olduğu bilgilere (eğilim, alarm, ayar değişikliği, sayfa geçişleri vb..) kolayca ulaşılması önemlidir.

Sistemde geçmişe ait tüm veriler, kullanıcıların yazılım vasıtası ile sistemde yaptıkları işlemlerin türü, zamanı ve yetki aşırımları gibi tüm bilgiler yazılım tarafından güvenli bir veri tabanı dili olan SQL 'de tutulabilir. Sistemin işletme emniyeti veya arşivlenmesi açısından ve işletme bakım ve analizi için önem arz eden bu özellik sayesinde; yazılım, kullanıcıların yaptıkları tüm hareketleri ve sistem verilerini güvenli bir şekilde kaydedebilir ve böylece istenildiği anda geçmişe yönelik kontrol yapılabilir. Yazılım, sistem tasarım bölümünde sözü geçen işletmenin isteyebileceği hususları (alarm, eğilim, raporlama, yetkilendirme, zaman programı, ekran resimleri, kullanıcı yetkilendirme) yerine getirebilir. Yazılımın destekleyebileceği bazı haberleşme protokolleri ve yolları: Modbus TCP, Ethernet IP, Profinet, Profibus, OPC, OPC UA, Web servisleri (REST, SOAP)

Yazılım güvenliği ile ilgili olarak sisteme erişim yetkilendirilen profillerin kullanıcı adı ve parola yoluyla olmalıdır. İşletmenin değerlendirebileceği ilave güvenlik fonksiyonu olarak şifre yaşlanması, otomatik

dışarı atma, arka planda kayıt gibi özellikler sıralanabilir. Şifre yaşlanması kavramında sistem yöneticisinin ilgili kullanıcı için tanımladığı ve bildirdiği kullanıcı adı, şifre ikilisi bilgi grubu, yine işletmenin belirlediği zaman bittiğinde geçerliliğini yitirecektir ve kullanıcı yeni bilgi grubunu yöneticiden öğrenerek erişimine devam edecektir. Otomatik dışarı atma kavramında ise, işletmenin belirlediği süre boyunca kullanıcı ekranında işlem olmaz kullanıcı otomatik olarak otomasyon yazılımından dışarı atılacaktır, tekrar kullanıcı adı ve şifre girerek sistem erişimi sağlanacaktır. Arka planda kayıt özelliği ise, kullanıcıların yaptığı önemli işlemlerin (sisteme giriş, çıkış, ayar değeri değiştirme vb.) yazılım tarafından arka planda kaydedilmesi ve gerektiği zaman bu bilgilerin analiz ve rapor edilebilmesidir.

Otomasyon yazılımı fiziksel veya sanal sunucu bilgisayarına kurulabileceği gibi bulut teknolojisi altında da yer alabilir. Fiziksel veya sanal sunucu olarak tercih edildiği zaman yazılımın çalıştığı (tercihan yedekli) bilgisayar sunucuları veri merkezi odasında kabin içerisinde bulundurulur. Kullanıcı bilgisayarları veya diğer terminaller (akıllı cep telefonu, tablet, kiosk vb..) veri ağı üzerinden sunucuya erişim sağlayarak kullanıcı ile sistem arasında çift yönlü iletişim sağlar.

Yazılım setinin bakım yönetim özelliğine sahip olması gereklidir. Bakım yönetim sisteminin sistemde yer alan havalandırma ekipmanının çalışma sıhhatine yönelik parametrelerin (örneğin ana fan titreşim bilgileri veya fan akım bilgileri) izlenerek analitik yöntemlerle kestirimci bakım kararları alınabilmesi kesintisiz çalışma için önemlidir. Maden işletmesinde kurulu bağımsız bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri (CMMS) mevcut ise maden havalandırma yazılımı ile entegrasyon tavsiye edilir.

PLC ünite konfigürasyonu, izleme ve kontrol yazılım ayarları yapmak ve gerektiğinde ekran grafiklerini değiştirmek için gerekli yazılım, kütüphane vb. gibi işletme ekibinin ihtiyaç duyacağı yazılım paketinin maden havalandırma otomasyon sistemi yazılım setinde içinde bulunması tavsiye edilen bir durumdur.

#### 9.5. İşletme, Analiz ve Bakım

Yer altı madenlerinde havalandırma çok önemlidir. Hafriyat kamyonları, ekskavatörler, dozerler ve delme makinalarının içten yanmalı motorları için ihtiyaç duyduğu oksijen ve iş güvenliği için gerekli olan egzoz gazı bertarafı etkin bir havalandırma ve iklimlendirme sistemi ile sağlanabilir. Aksi durumda söz konusu iş makinaları çalışsa dahi ürettikleri egzoz emisyonları zararsız seviyeye indirgenene kadar iş makinalarının çalışması durdurulmak zorundadır. Bu durum, iş makinalarının yatması ve önemli miktarda kira bedelinin boşa gitmesi tehlikesini doğurur.

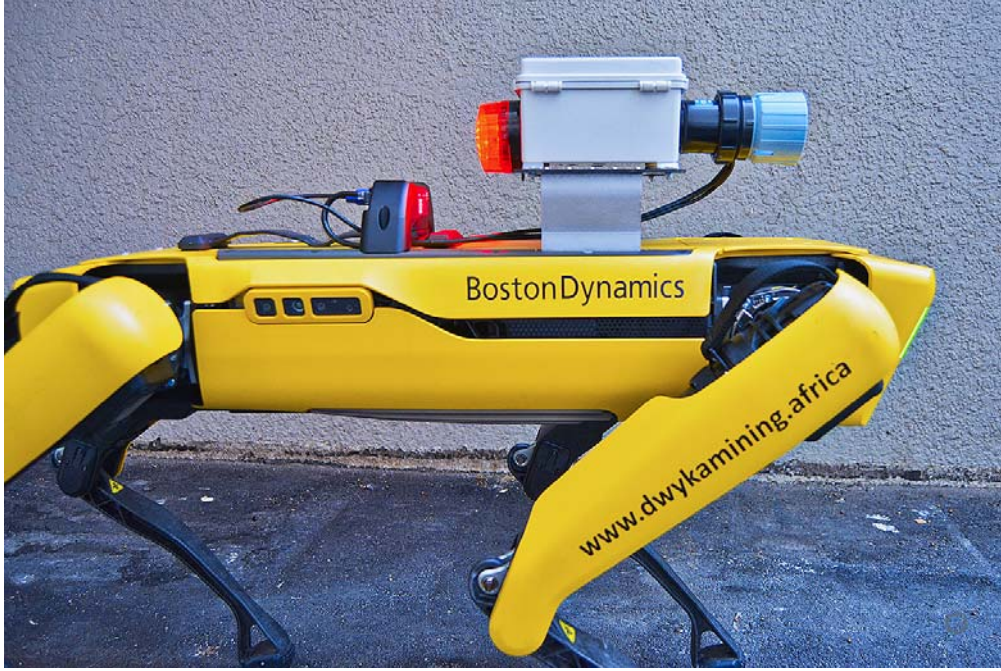
Yetkin ve kestirimci bakım HVAC sistemlerinin kesintisiz ve enerji verimli çalışmasını temin eder. Bu durum hedeflenen iş güvenliği ve enerji verimliliği seviyelerine erişmeyi mümkün kılar.

#### 10. HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GELECEK

Gelecekte maden otomasyon sistemleri için madene insan girmeyecek şekilde maden havalandırma yönetiminin yapılabilmesini hedeflenmektedir. Her ne kadar yakın gelecekte bunun olabilmesi pek mümkün görünmese de yer altı maden ocaklarının tehlikeli ve yıpratıcı atmosferinde insanların daha az zaman geçirmesi yakın gelecekte mümkün olacak görünmektedir. Zira günümüzde bazı yer altı madenlerinde akıllı maden yönetim sistemleri görev yapmaktadır. Adaptif havalandırma kontrol sistemlerinin yanı sıra, elektrikli ve uzaktan kumanda edilebilen insansız araçlar ile madencilik faaliyetleri (kırma, yükleme, taşıma) yapılmaktadır.

Diğer sektörlerde olduğu gibi madencilik sektöründe de aşağıdaki teknolojik kavramlar kullanılmakta ve teknolojiye paralel olarak geliştirilmektedir:

- Robotlar
- Elektrikli (bataryalı), uzaktan kumanda edilebilen, insansız iş makinaları
- Yapay zekâ, öğrenen makineler, ICT, Modelleme ve Simülasyon, CFD analizi, analitik yaklaşımlar
- Uzaktan erişim, izleme ve kontrol.
- Siber güvenlik
- Biyomadencilik,
- Otonom hava ve yer dronları



Şekil-30 Atmosfer izleme sistemleri için geliştirilmiş seyyar robot ölçüm istasyonu [31]



Şekil-31 Bataryalı (elektrikli) otonom yükleyici prototipi, 2020 [25]

## REFERANSLAR

- [1] Teknik Rapor, "Kapalı ortamlarda radon gazı", TAEK, 2012
- [2] Yüksel ÖRGÜN, Nilgün ÇELEBİ, "Radyasyon, radon (rn) ve toplum sağlığı", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- [3] Mert DURŞEN, Burak YASUN, "Yer altı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı", İSGÜM, 2012
- [4] WHO, "WHO handbook on indoor radon", a public health perspective. Geneva: WHO Press
- [5] Amin Shahrokhi, Tamás Vigh, Csaba Németh, Anita Csordás, Tibor Kovács, "Radon measurements and dose estimate of workers in a manganese ore mine", 2017
- [6] Mine Safety Appliances Company, "Gas Detection Handbook", 2007,
- [7] 30 CFR Section 57.5060, "Limit on exposure to diesel particulate matter"



- [8] Wei-gen Zhu , Wei-guo Zhang , Qing-gang Chen , and Zhuo-ming Yang, “Ventilation-on-Demand System in Pulang Copper Mine, Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress”, 2018
- [9] Marc Bascompta Massanés, Lluís Sanmiquel Pera, Josep Oliva Moncunill., “Ventilation management system for underground environments”.
- [10]Wallace Keith, Prosser Brian, Stinnette J. Daniel, “The practice of mine ventilation engineering”, 2015.
- [11]Glenn B Stracher , Tammy P Taylor, “Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe”, 2003.
- [12]SIERRA C., “Mine Ventilation”, 2020.
- [13]Tasneem Abbasi, S.A. Abbasi, “Dust explosions–Cases, causes, consequences, and control”, 2006.
- [14]Iwona Zawadzka-Małota, “Testing of mining explosives with regard to the content of carbon oxides and nitrogen oxides in their detonation products”, 2016.
- [15]Andries J.H.Nel, Deon C.Arndt, Jan C.Vosloo, Marc J.Mathews, “Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines”, 2019.
- [16]Leandro de Vilhena CostaJosé Margarida da Silva, “Strategies used to control the costs of underground ventilation in some Brazilian mines”, 2020.
- [17]S. Sjöström, E. Klintenäs, P. Johansson, J. Nyqvist, “Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy”, 2020.
- [18]J. Burman, A. Markström, “Ventilation on Demand in Kankberg Mine”, 2016.
- [19]www.maestrodigitalmine.com, “Top 10 reasons to consider “Real time” mine air quality monitoring, Maestro Digital Mine”.
- [20]Stefano Castegnaro, “Aerodynamic Design of Low-Speed Axial-Flow Fans: A Historical Overview”, 2018.
- [21]D. Mishra, Dr. N. Sahay, “Effect of auto compression on ventilation system of deep shaft coal mines in Jharia coal field – a case study”, 2015.
- [22]Felix Dicks, Elisabeth Clausen, “Ventilation on Demand”.
- [23]Dr.-Ing. Elisabeth Clausen, “Mine Ventilation in the 21st Century – Development Towards Adaptive Ventilation Systems”.
- [24]Türk Tesisat Mühendisleri Derneği BİD Komitesi, “BİD Teknik Şartnamesi Doküman”, 2022.
- [25]Australia’s Mining Monthly, “Future of Underground Series Part2”, 2021.
- [26]<https://www.tagesspiegel.de/>
- [27]ASHRAE Guideline 0-2019, “The Commissioning Process”
- [28]<https://new.abb.com/>
- [29]<https://zitron.com/>
- [30]<https://www.sick.com/>
- [31]<https://www.maestrodigitalmine.com/>
- [32]Patrik Westerlund, “ABB Smart ventilation”, Presentation, 2015
- [33]<https://www.openculture.com/2018/05/the-device-invented-to-resuscitate-canaries-in-coal-mines-circa-1896.html>
- [34]<https://www.danfoss.com/>
- [35]<https://www.australianmining.com.au/>
- [36]Gangrade Vasu, “Monitoring systems for coal mines utilizing booster fans”, 2014
- [37]Moridi Mohammad Ali, Kawamura Youhei, Sharifzadeh Mostafa, Chanda Emmanuel Knox, Wagner Markus , Jang Hyongdoo, Okawa Hirokazu, “Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS”, 2015
- [38]Charles Kocsis, Stephen G Hardcastle, “Ventilation system operating cost comparison between a conventional and an automated underground metal mine”, 2003
- [39]Michael Lundh, Jan Nyqvist, Mats Molander “Optimizing airflow for underground mines”, 2013
- [40]Jan Nyqvist, Michel Serres, “ABB discusses the benefits of ventilation on demand”, Canadian mining journal, 2020
- [41]T.C. 28770 nolu resmî gazete, “Maden işyerleinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği”, 19.09.2013
- [42]Mark Lafontaine, Tim Paquin, “Three strategies for ventilation control in underground mines”, 2022
- [43]Greg Noone, “What does the future hold for automation in the mining industry?”, 2020
- [44]Enrique I. Acuña, Roberto A Alvarez, Stephen G Hardcastle, “A theoretical comparison of ventilation on demand strategies for auxiliary mine ventilation systems”, 2014



- [45] Tanveer Jahir, Jian Zhao, Mohamed H. Mohammed, John David (Dave) McCullough, “Using Gas Monitoring and Personnel/Vehicle Tracking to Maximize the Benefits of Ventilation-On-Demand in Underground Mining Operations”,2011
- [46] E. Witrant, A. D’Innocenzo, A.J. Isaksson, M. D. Di Benedetto, K. H. Johansson, F. Santucci, M. Strand, “Mining ventilation control: a new industrial case for wireless automation”, 2008

## 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.

# HERMETİK BACA UYGULAMALARI / YANLIŞ UYGULAMALAR / KOLLEKTİF & KONSANTRİK BACA SİSTEMELERİ (LAS / CLV / 3CE )

*Hermetic Flue Applications / Wrong Applications / Collective & Concentric Flue Systems (LAS / CLV / 3CE )*

**Murat Coşkun**  
**Mustafa Zekai Yallagöz**

## ÖZET

Ülkemizde her yıl binlerce Hermetik Baca uygulaması yapılmaktadır. Ancak yapılan uygulamalarda ne tür sistemler kullanıldığı ve bu sistemlerin uygulamalarında nelere dikkat edilmesi gerekliliği, uygulamalarda pek rastlanmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada öncelikle hermetik baca ve doğalgaz şartnamelerinde izin verilen bağlantı çeşitleri tanımlanmıştır. Devamında yeni Yapı Malzemeleri yönetmeliği doğrultusunda yürürlükte bulunan standartlara bağlı kalınarak uygulamaların nasıl yapılması gerektiği konusunda detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Sürekli gelişen standartlar ve yüksek yapı teknolojileri ile birlikte binalarda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik önem kazanmıştır. AB'deki binaların sera gazı salınımlarının 2030 yılına kadar %60 oranında, nihai enerji tüketimlerinin %14 oranında, ısıtma ve soğutma sistemleri bakımından enerji tüketimlerinin ise %18 oranında azaltılması planlanmaktadır. Bu nedenle, bahse konu Planın temel bileşenleri arasında inşaat sektörünü de önemli boyutta ilgilendiren enerji verimliliği başlığı bulunmaktadır. Bu durum, bireysel ısıtma cihazlarının (Kombi-Şofben) kullanımının binalardaki enerji verimliliğine ve CO salınımına etkisini öne çıkarmaktadır. Birden fazla C tipi Hermetik cihazın tek bir baca sistemine bağlandığı Hava Atıkgaz Sistemleri enerji verimliliğinin artırılması ve CO salınımının azaltılması açısından bireysel sistemlerde kilit rol oynamaktadır. Çalışmanın devamında hava atık gaz sistemlerinin çeşitleri, uygulama alanları, kullanılan malzeme tipleri, sistemin teknik özellikleri, montaj uygulamaları ve kontrolü konusunda detaylı bilgilere yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hermetik Baca Sistemleri Hava Atık Gaz Sistemi, Enerji Verimliliği Yönetmelik, Standartlar, Uygulama Yöntemleri.

## SUMMARY

Thousands of Hermetic Chimneys are applied every year in our country. However, the kinds of systems that are used in the applications and what needs to be considered in the applications of these systems are not often encountered in the applications. For this reason, in this study, firstly, the types of connections allowed in hermetic chimney and natural gas specifications are defined. In the following, detailed information is given on how the applications should be made by adhering to the standards in force in line with the new Construction Materials regulation.

With the ever-evolving standards and high-rise technologies, energy efficiency and sustainability in buildings have gained importance. It is planned to reduce greenhouse gas emissions of buildings in the EU by 60%, final energy consumption by 14%, and energy consumption in terms of heating and cooling systems by 18% until 2030. Therefore, among the basic components of the Plan in question, there is the heading of energy efficiency, which is also significantly concerns the construction industry. This situation highlights the effect of the use of individual heating devices (Combi-Geysers) on energy efficiency and CO emission in buildings. Air Waste Gas Systems, in which more than one C-type

Hermetic device is connected to a single flue system, play a key role in individual systems in terms of increasing energy efficiency and reducing CO emissions. In the continuation of the study, detailed information about the types of air waste gas systems, application areas, types of materials used, technical features of the system, assembly applications and control are given.

**Key Words:** Hermetic Chimney Systems, Air-Waste Gas Systems, Energy Efficiency Regulations, Standarts, Application methods.

## 1- GİRİŞ

Sürekli gelişen standartlar ve yüksek yapı teknolojileri ile birlikte binalarda yalıtım ve sızdırmazlık önem kazanmıştır. Bu durum, yanma havasını ortamdaki temin ederek çalışan ısıtma cihazlarının (Kombi-Şofben) yeterli hava almalarına engel teşkil etmektedir. Ortam havasına ihtiyaç duyarak çalışan ısıtma cihazlarının yeterli hava ihtiyacını sağlamak için kullanılan yöntem ve teknikleri ne yazık ki bina sızdırmazlığını olumsuz etkilemektedir. Sorunu basit çözümlerle giderilmeye çalışılmaktadır. Örneğin havalandırma menfezlerinin zorunlu olarak kullanılması, ortamın sürekli olarak taze dış hava ile beslenmesinden dolayı ısı kaybına engel olmak için yapılan tüm izolasyon uygulamalarının bir anda boşa çıkmasına neden olmaktadır. Enerji verimliliğinin çok önemli olduğu günümüz koşullarında istenmeyen bir durumdur.

Bu sorun için kullanılabilecek en etkin çözüm, ısı izolasyonu yapılmış binalara zarar vermeden ortam yanma havasından bağımsız çalışan "**C tipi-Hermetik**" cihazların bağlandığı Hava Atıkgaz Sistemleridir.

## 2- C TİPİ ( DENGELİ ) CİHAZLAR

Yanma için gerekli olan havayı, monte edildikleri ortamdaki bağımsız olarak özel hava bağlantısı ile dış ortamdaki alan, kapalı yanma odalı, yanma ürünlerini özel atık gaz elemanları ile dış ortama veren havalandırma buldukları ortamdaki bağımsız olan cihazlar.

### 2.1- Cihazların Montajının Yapılmayacağı Yerler

Binaların merdiven boşluklarına, genel kullanımına açık koridorlarına, baca duvarları üzerine, imalatçı firma tarafından cihazın kabinsiz çalışabileceğinin belgelenmediği durumlarda açık balkonlara, bina aydınlıklarına, C tipi cihazların montajı yapılmamalıdır.

#### 2.1.2- Cihazların Montajının Yapılacağı Yerler İçin Genel Kurallar

C tipi cihazların monte edildiği odaya ilişkin bir sınırlama yoktur (cihazlar odanın hacmi ve havalandırma biçimine bağlı olmaksızın monte edilebilir). Koruyucu kabin (tabandan tavana kadar kapalı cihaz odası şeklinde) içerisinde olmak şartıyla açık alanlara da konulabilirler.

Cihazların, bina yapı elemanına bağlantısı rijit olarak yapılmalıdır. Cihaz ile gaz hattı arasında esnek bağlantı elemanı kullanılmalıdır. Ayrıca cihaz ısıtılmayan bir mahale monte edilecek ise tesisat suyundaki donmaya karşı gerekli tedbirler alınmalıdır.

#### 2.1.3- Atık Gaz Tesisatı

C tipi gaz yakıcı cihazların atık gaz tesisatına ait boyutlandırma, cihazların anma ısı yüklerine, cihazın sürekli devrede kalış süresine bağlı olarak belirlenir. Bu cihazlarda yanma için temiz hava temini ve atık gaz tesisatında kullanılan yardımcı donanımlar için; imalatçı firma tarafından temin edilen ve imalatçı firma talimatlarında belirtilen orijinal parçalar kullanılmalı ve bunlar imalatçının talimatlarına

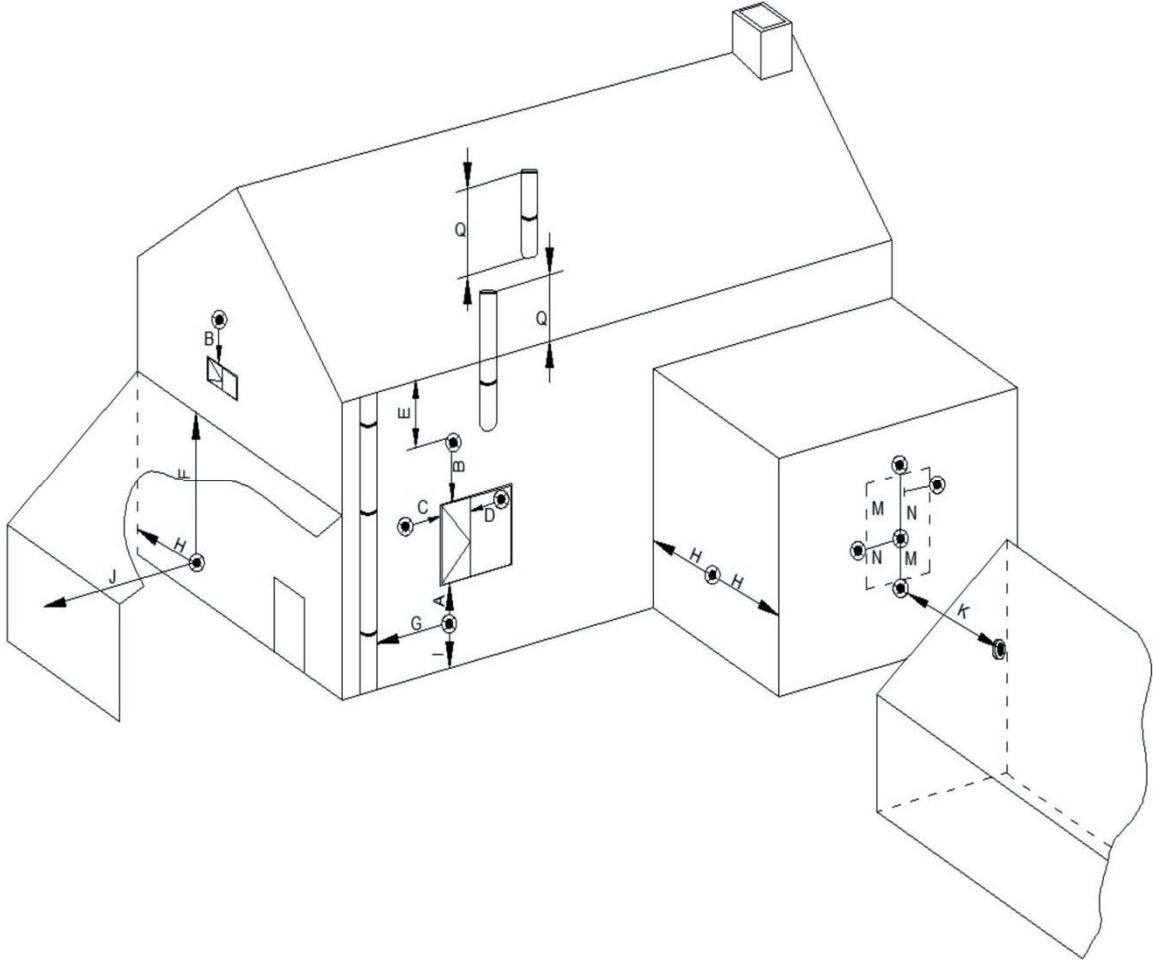
göre monte edilmelidir. Duman kanalı ve bacaların birbirine bağlantıları yatayla asgari 3° 'lik alçalan bir eğimle yapılmalıdır.

C tipi cihazların atık gaz tesisatı için cihazın monte edildiği odaya ilişkin bir sınırlama yoktur. Bu cihazların atık gaz tesisatı gaz çıkış yeri şartları (boru çıkış ağzının çeşitli formlara göre konumları, düşey, yatay asgari mesafeleri, kanallara veriliyorsa kanalların kesit alanları vb) TS EN 15287-1+A1 ve TS EN 15287- 2'de belirtilen kurallara uygun olarak yapılmalıdır.

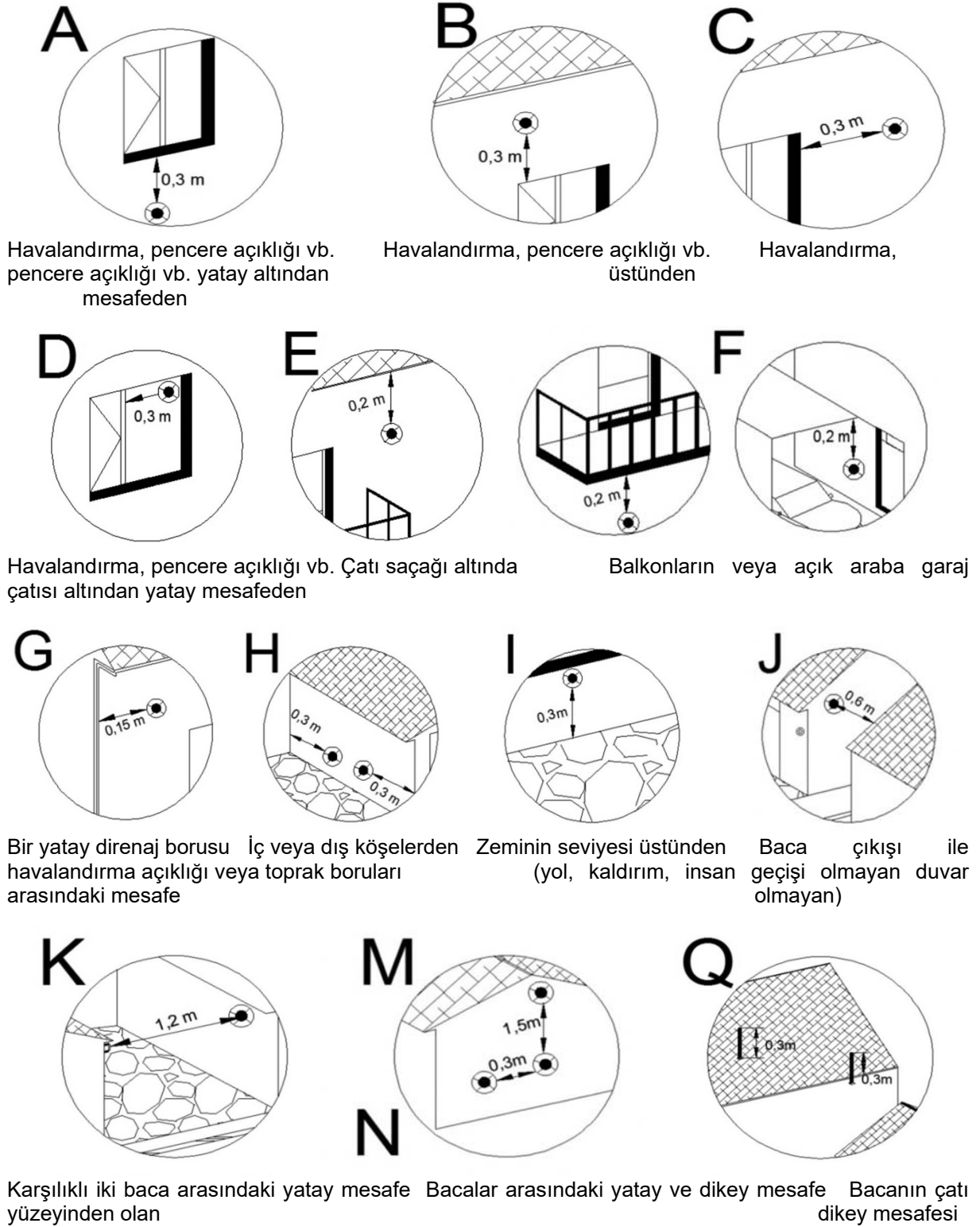
C tipi cihazlara ait baca çıkışları mutlaka doğrudan dış ortama açık, hava sirkülasyonu olan yerlere yapılmalıdır.

Geçit ve koridorlara, dar saçak aralıklarına, binaların havalandırma ve aydınlık boşluklarına, balkonlara (açık veya kapalı), asansör boşlukları ve atık gaz çıkışını engelleyen çıkıntılı yapı kısımlarının altlarına, başka birimlere temiz hava sağlayan açıklıklara, doğrudan rüzgâr direncine maruz kalabilecek yerlere çıkış yapılmamalıdır.

Atık gaz çıkış ağzının karşı bina ile olan mesafesi, atık gaz atış doğrultusunda en az 3 m olmalıdır. Atık gaz tesisatı detayları Şekil-1'e uygun olarak yapılmalıdır.



**Şekil 1-** Hermetik Cihaz Atık Gaz çıkış detayı



**Şekil 2-** Hermetik Baca ( denge baca) çıkışlarının konum örneği

**Tablo 1: Gaz için denge bacalı duman yolu konfigürasyonları çıkışlarının konumu için önerilen boyutlar (bk. Şekil 1-2)**

Sembol	Terminal pozisyonu	Isı girişi kW (net)	Doğal çekiş mm	Fanlı çekiş mm
A (a)	Bir açıklığın, havalandırma tuğlasının, pencere açıklığının vb. doğrudan altından	0 – 7 > 7 – 14 > 14 – 32 > 32 – 70	300 600 1500 2000	300
B (a)	Bir açıklığın, havalandırma tuğlasının, pencere açıklığının vb. üstünden	0 – 7 > 7 – 14 > 14 – 32 > 32 – 70	300 300 300 600	300
C (a)	Bir açıklığa, havalandırma tuğlasına, pencere açıklığına vb. yatay mesafeden	0 – 7 > 7 – 14 > 14 – 32 > 32 – 70	300 400 600 600	300
D	Örneğin, plastik oluklar, toprak borular veya drenaj boruları gibi sıcaklığa duyarlı bina bileşenleri altından	70'e kadar	300	75
E	Çatı saçağı altından	70'e kadar	300	200
F	Balkonların veya araba garaj çatısı altından	70'e kadar	600	200
G	Bir yatay drenaj borusu veya toprak borudan	0 – 5 > 5 – 70	300 300	75 150
H (b)	İç veya dış köşelerden	70'e kadar	600	300
I	Zeminin, çatının veya balkon seviyesi üstünden	70'e kadar	300	300
J	Terminale bakan yüzeyden	70'e kadar	600	600
K	Bir terminale bakan terminalden	70'e kadar	600	1200
L	Konut içindeki bir araba garajındaki açıklıktan (örn. kapı, pencere)	70'e kadar	1200	1200
M	Dikey olarak aynı duvar üstündeki terminalden	70'e kadar	1500	1500
N	Yatay olarak aynı duvar üstündeki terminalden	70'e kadar	300	300
Q	Çatı kesişiminin üstünden: Mahya seviyesinin altında terminalin üstünden Mahya seviyesinin üstündeki terminalin üstünden	70'e kadar	300 300	300 300

a Ayrıc; terminal, pencere çerçevesi gibi gömme elemanların yerleştirilmesi amacıyla oluşan bina yapısındaki bir açıklığa 150 mm'den (fan çekişli) veya 300 mm (doğal çekiş) yakın olmamalıdır.

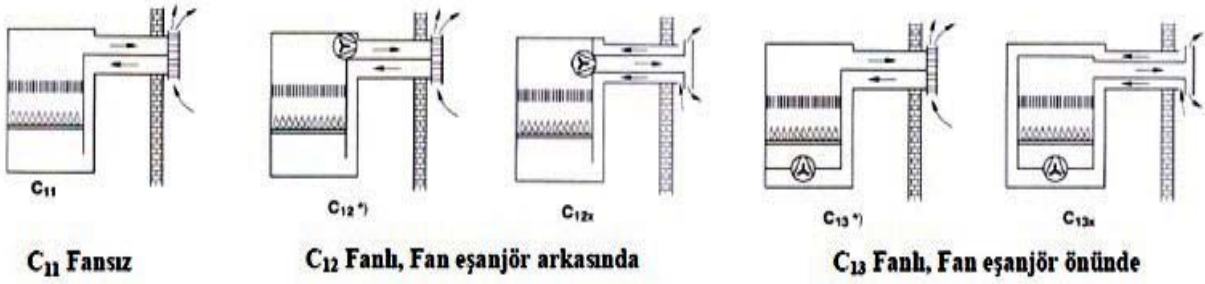
b Fan çekişli baca sistemi çıkışları için, 7 kW net giriş değerini geçmeyen doğal çekişli bir cihaza bağlı olduğunda ve cihaz imalatçısının montaj talimatları ile izin verilmiş olan durumlarda doğal çekişli baca sistemi çıkışları için dış köşenin 450 mm'den daha az bir bina çıkıntısıyla oluşturulduğu yerlerde, (örneğin, dış duvarlardaki bacalar) dış köşeler için bu kısıtlama göz ardı edilebilir.

c Eğimli çatı yüzeyinden yatay mesafe 300 mm'yi geçmemelidir.

## 2.2- C TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

### 2.2.1- C1 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

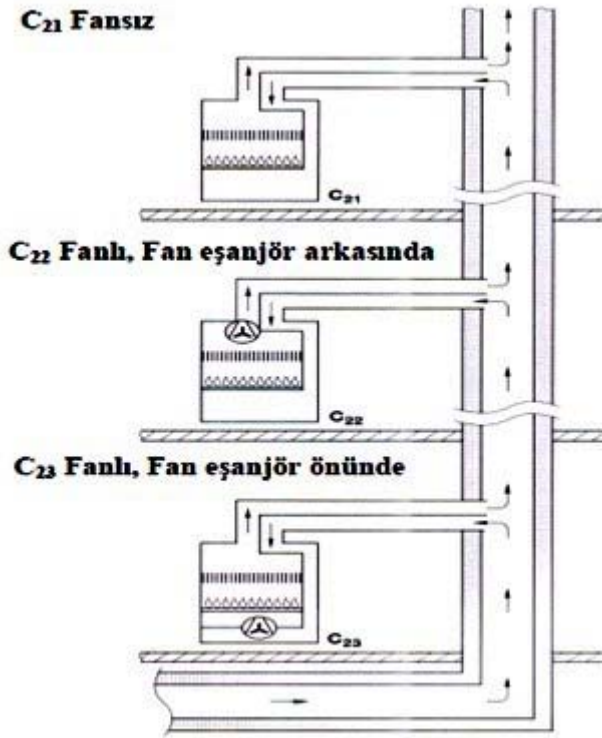
Yatay olarak yakma havası temini ve atık gazın dış cephe veya çatı üzerinden atılması uygulamasıdır. Çıkışlar birbirine yakın, aynı basınç bölgesinde bulunmaktadır.



\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

**Şekil 3 - C1 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri**

## 2.2.2- C2 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ



Yakma havası ve atık gazın ortak baca şaftına bağlı hava ve atık gaz bağlantısı uygulamasıdır.  
(Almanya imar kanununa göre C2 tipi cihazların uygulamasına izin verilmez.)

**Şekil 4- C2 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri**

## 2.2.3- C3 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

Dik çatı çıkışlı, yakma havası temini ve atık gazın atılması uygulamasıdır. Çıkışlar birbirine yakın, aynı basınç bölgesinde bulunmaktadır.

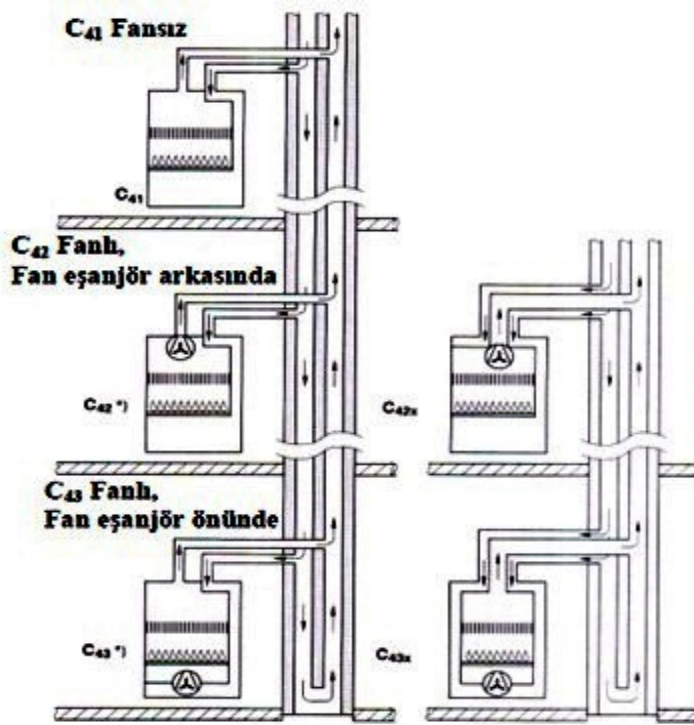




\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 5- C3 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

#### 2.2.4- C4 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ



Yanma havası ve atık gazın tasarlanmış çoklu hava atık gaz sistemi uygulamasıdır.

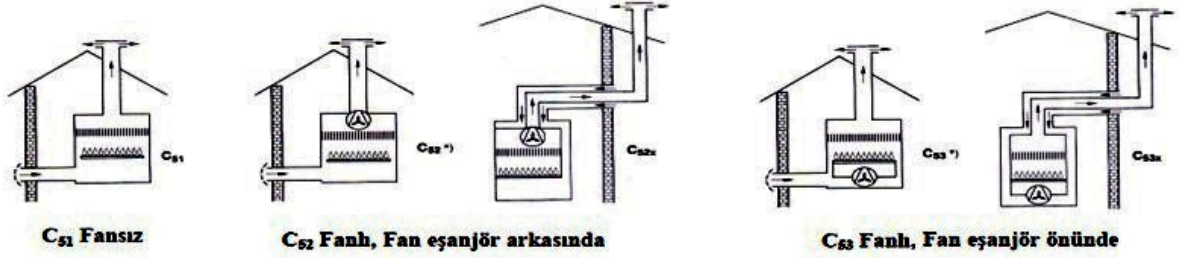
Hava Atık gaz Sistemi, konsantrik de olabilir. Burada negatif basınç ile çalışan bir hava atık gaz sistemi gösterilmektedir.

\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 6- C4 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

#### 2.2.5- C5 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

Farklı hatlardan yakma havası temini ve atık gazın atılması uygulamasıdır. Çıkışlar farklı basınç bölgelerinde bulunmaktadır.



\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 7- C5 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

## 2.2.6- C6 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

Yanma havası temini ve atık gazın ölçüm yapılmayan cihazlara göre bağlantı uygulamasıdır. C6 tipi cihazların yakma havası temini ve atık gazın atılması, imalatçının kullanım kılavuzuna ve Hava Atık gaz Sistemi ölçüm kriterlerinin teknik şartlarına göre yapılmalıdır.



\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 8- C6 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

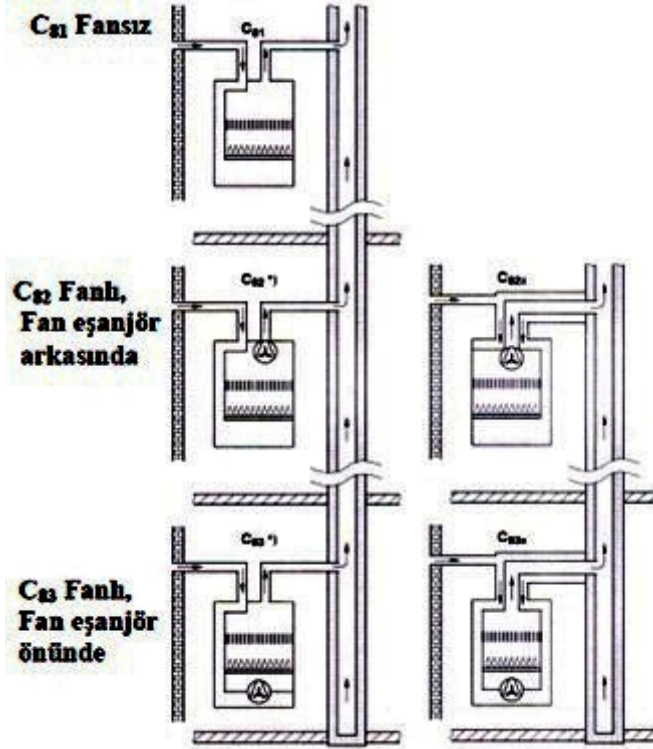
## 2.2.7- C7 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ



Şekil 9- C7 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

Yakma havası yatay temini ve atık gazın atılması uygulamasıdır. Yakma havası çatı arasından temin edilmektedir ve atık gaz çatının üstünden atılmaktadır. Çatı arasında akış emniyeti bulunmaktadır. Bu cihazlar Almanya Yangın Yönetmeliğine tanımlanmaktadır. Hava atık gaz sistemleri için uygun değildir. Bu cihazlara çok istisnai durumlarda kullanılmaktadır.

## 2.2.8- C8 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ



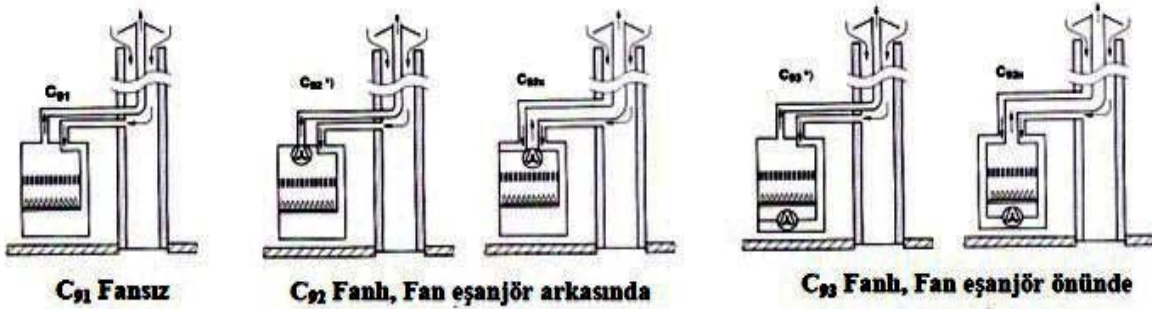
Atık gaz tesisi müstakil veya çoklu bağlantılı (negatif basınçlı) ve dış ortamdan bağımsız yakma havası temini uygulamasıdır.

\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 10- C8 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

## 2.2.9- C9 TİP HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ

C3 Tipine benzer yakma havası temini ve atık gazın çatıdan atılması uygulamasıdır. Çıkışları aynı basınç bölgesinde, birbirine yakındır. Yakma havası temini tam olarak veya kısmen çatı üzerinden bulunan binanın şaftından oluşmaktadır.



\*) yüksek sızdırmazlık şartları yerine getirildiği durumda bu cihazlar x ile de işaretlenebilir.

Şekil 11- C9 Tip Hava Atıkgaz Sistemleri

### 3- YANLIŞ HERMETİK BACA SİSTEMİ UYGULAMALARI

Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan baca sistemleridir. Her yıl binlerce Hermetik Baca uygulaması yapılmaktadır. Baca montajları ne yazık ki her zaman ehil ve yetkili personel tarafından yapılmadığı için pek çok hatalı uygulamada yapılmaktadır.

En çok karşılaşılan yanlış uygulamalar

- 1- Yanlış konumlandırma : standart ve şartnamelere aykırı olarak baca çıkışının yapılması
- 2- Baca montajının, yetkili baca montajcısı tarafından yapılmamış olması
- 3- Standart dışı ürün kullanılması
- 4- Yüksek katlı binaların üst katlarında basınç farklılıkları göz önünde bulundurulmadan yapılan uygulamalar
- 5- İnsan ve çevre sağlığını tehdit eden uygulamalar



**Resim 1** - standart dışı ürün kullanımı



**Resim 2** - Standart dışı baca konumlandırma



**Resim 3** - Yüksek katlı binaların üst katlarında basınç farklılıkları göz önünde bulundurulmadan yapılan uygulamalar



**Resim 4 - İnsan ve çevre sağlığını tehdit eden uygulamalar**

#### **4- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNİN TANIMI, TEMEL ÇALIŞMA PRENSİBİ ve ÖZELLİKLERİ**

##### **4.1. HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNİN TANIMI**

C tipi cihazlarda (yoğuşmalı cihazlar dâhil); cihaz mahalinden bağımsız olarak yanma için gerekli olan taze havayı, çatı üst seviyesinden itibaren fabrikasyon bir kanal vasıtası ile veya standartlara uygun şaftlarla dış atmosferden sağlayan, yanma sonucu oluşan atık gazı ilgili standartlara uygun malzemeden yapılmış bir baca ile çatı üst seviyesinden dışarı tahliye eden içi içe aynı merkezli 2 kanaldan oluşan dikey baca sistemidir (Şekil-42). Bu sistemler akredite kuruluşlardan alınmış sistem sertifikalarına sahip olmalıdır. Ayrıca bağlı olmayan cihazların baca bağlantı kanalları, sistem devreye alınmadan sızdırmaz orijinal kapak ile kapatılmalıdır.

İç içe geçmiş iki hava kanalından oluşan bu sistemde, taze hava bacanın çatıdaki bitiş noktasından temin edilir. Baca ağzından alınan taze ve soğuk hava, ısıtılmış olan iç boruya temas ederek kullanıldığı için enerji verimliliği sağlanır. Hermetik Kombi tarafından atılan atık gaz içteki boru sayesinde çatı çıkışından tekrar atmosfere atılmaktadır.

Hava-atık gaz baca sistemleri; ısı, yoğuşma ve yanma ürünlerinden etkilenmeyecek malzemeden ilgili standartlara haiz (TS EN 1856-1, TS EN 1856-2, TS EN 13063-1+A1, TS EN 13063-2+A1 veya TS EN 14471+A1), uygunluk belgesine sahip malzemeden imal edilmelidir. Yoğuşmalı tip doğal gaz yakıcı cihazlara ait bacalar, ilgili standarda uygun olmalıdır.



## 4.2. HAVA - ATIK GAZ BACA SİSTEMİ BİLEŞENLERİ

Taze hava temini, atmosferden, paslanmaz malzemeden oluşan şafttan veya Hafif Beton Kanal olarak adlandırılan şafttan veya standartlara uygun bir şafttan sağlanmalıdır.

Atık gaz tahliyesi; yoğuşma sıvısına mukavim malzemeden yapılmalı ve eklem yerlerinde sızdırmazlık elemanı kullanılmalıdır. Yanma sonucu oluşan atık gaz çatı üst seviyesinden tahliye edilmelidir.

Hermetik bacanın ana bacaya bağlandığı noktada, sızdırmazlığın sağlanması amacı ile ısıya dayanıklı giriş adaptörü kullanılmalıdır.

Bacanın üst seviyesinde; bacaya monte edilmiş, atık gazın dış atmosfere tahliyesini sağlayan ve ters rüzgârların baca kanalına girişini engelleyen standartlara uygun baca şapkası bulunmalıdır.

Bacanın alt kısmında, baca içerisine sızması muhtemel olan yağmur suyunu ve baca gazı içerisindeki yoğuşma suyunun toplanması ve tahliye edilmesi amacı ile sistem içindeki dengeyi sağlayan standartlara uygun yoğuşma sıvısı toplayıcı ve tahliye elemanı bulunmalıdır. Yoğuşmalı cihaz kullanılması durumunda, taşan akım aralığı (fazla hava deliği) üzerinden havalandırma bacasına yoğuşma sıvısı geçmemelidir.

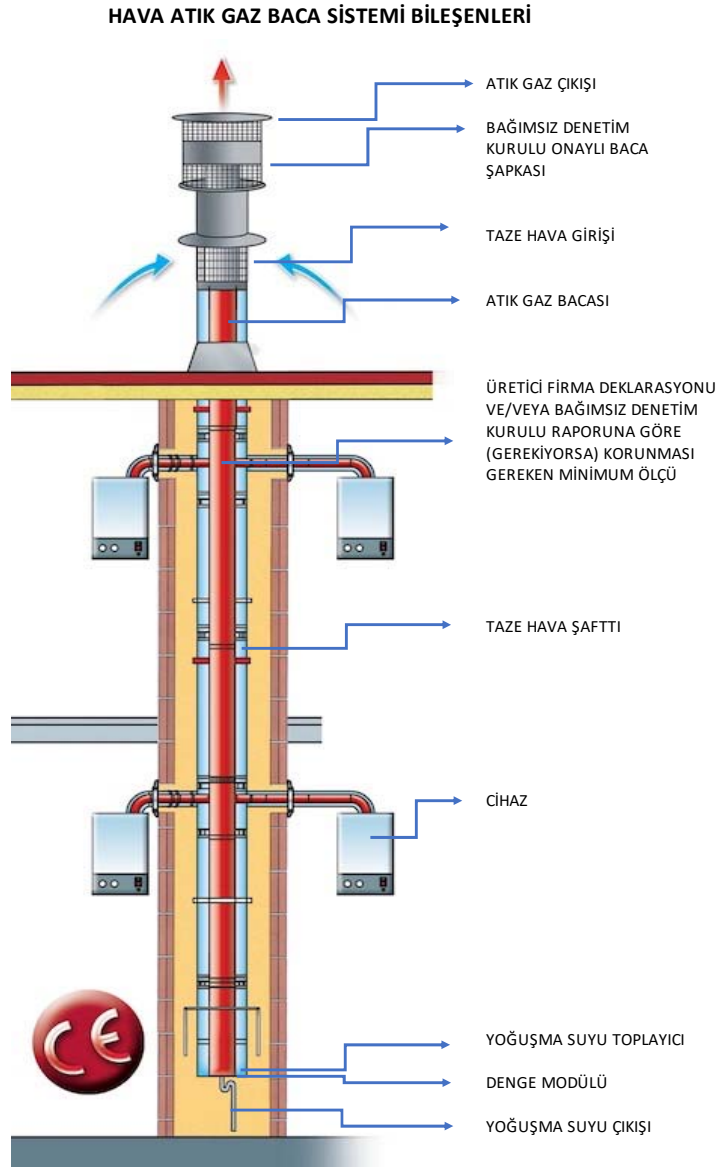
Yoğuşmalı cihaz kullanılması durumunda, sistemde oluşacak yoğuşma sıvısının tahliyesi yapılmalı ve yoğuşma sıvısının hava boşluğuna girmemesi için hava boşluğu yalıtılmalıdır.

Yine bacanın alt seviyesinde, yoğuşma sıvısı toplayıcı ve tahliye elemanının hemen üstünde bulunan, gerekli deney ve kontrollerin yapılmasını sağlayan ve baca dış duvarına sızdırmazlık contaları kullanılarak tesis edilen temizleme kapağı bulunmalıdır.

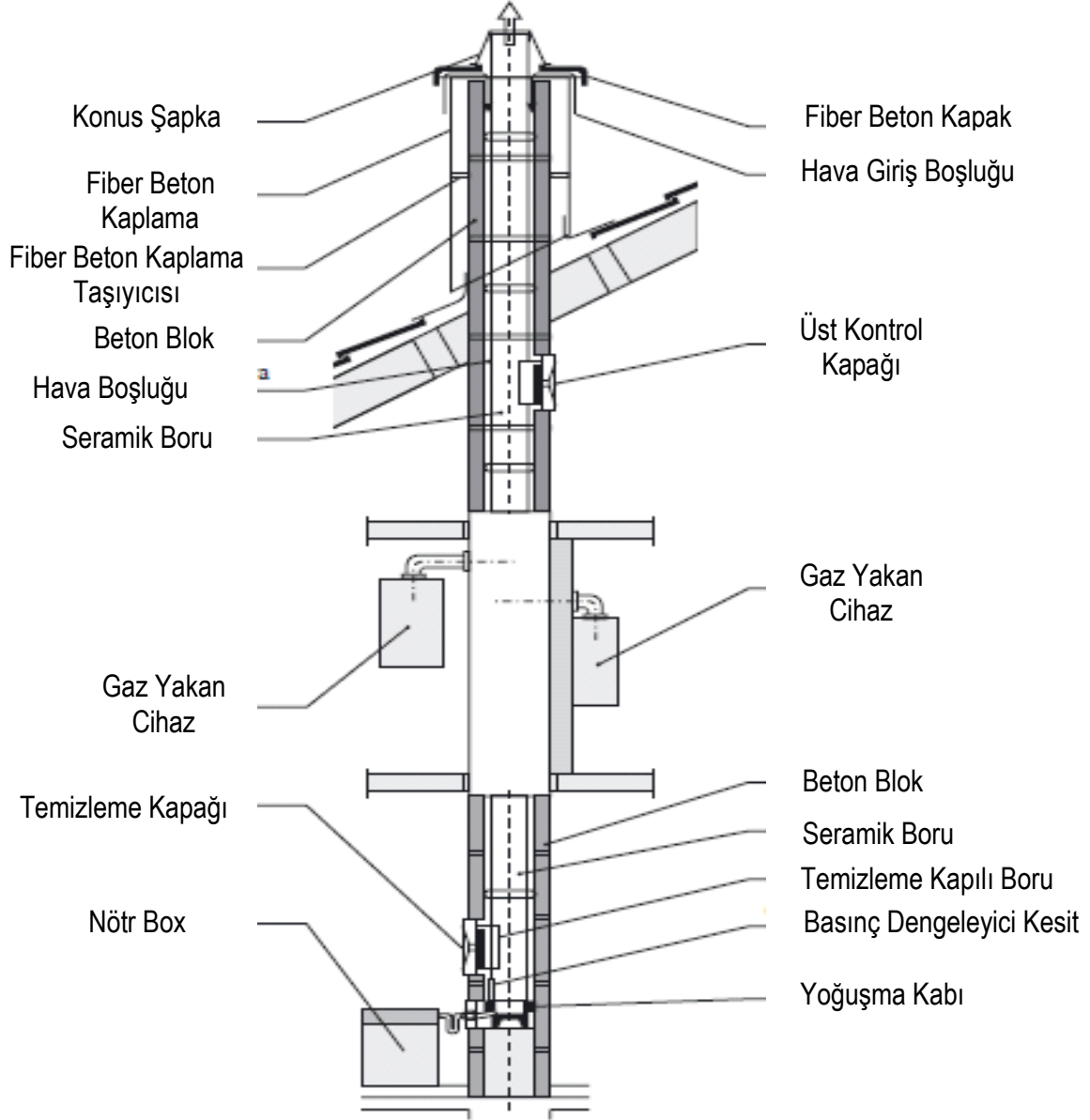
Cihazların bağlantı yerleri özel adaptörlerden oluşmaktadır. Bu adaptörler sayesinde gaz ve yoğuşma sıvısının tamamen sızdırmazlığı sağlanmaktadır. Bu nedenle Hava Atıkgaz Sistemlerine yoğuşmalı cihazlar da bağlanabilir.

Ortam havasından bağımsız çalışan cihazlar için kullanılan bu sistem sayesinde baca, yer sorunu olan binaların havalandırma veya aydınlık şaftlarına da kurulabilmektedir.





**Şekil 12-** Hava Atıkgaz Baca Sistemi Bileşenleri



Şekil 13- Hava Atıkgaz Baca Sistemi Bileşenleri

#### 4.3. HAVA - ATIK GAZ BACA SİSTEMİNİN UYGULANMASI

Hava-atık gaz baca sisteminin daire içerisine açılan kısımlarına, can ve mal güvenliği açısından risk oluşturabilecek durumların yaşanmaması için kullanıcıyı bilgilendiren uyarı levhaları tesis edilmelidir. Hava-atık gaz baca sisteminde atık gaz kanalının baca ile irtibatlandırıldığı bölüme; bacaya monte veya demonte edilecek cihazların sadece imalatçı firma ve ilgili gaz dağıtım şirketinin onay şartı ile yapılabileceğini belirten uyarı levhaları asılmalıdır.

Hava-atık gaz baca sistemine bağlanacak her bir cihazın anma ısı gücü 30 kW'ı geçmemeli ve bir sisteme bağlanacak cihaz sayısı yakıcı cihaz imalatçı firma montaj kurallarına göre belirlenmelidir. Hava-atık gaz baca sistemine, her bir kat için en fazla iki adet cihaz bağlanmalıdır. Aynı katta sisteme bağlanacak cihazların atık gaz boruları arasında düzeyde olması gereken mesafe akredite kurumların test ve muayene raporlarında belirtilmelidir.



Yoğuşma sıvısı toplayıcı, temizleme kapağı, hava fazlalık deliği ve yoğuşma sıvısı çıkış deliğinin bulunduğu ve sistemin en alt kısmında yer alan baca bölümü, bina ortak mahalli olarak adlandırılan (merdiven sahanlığı ve sığınak hariç) bölümlere tesis edilmelidir.

Atık gaz boşluğu ve havalandırma boşluğu dik olarak ve herhangi bir kıvrım olmaksızın yukarı doğru yapılandırılmalıdır. Taşan akım aralığının iç kesiti, atık gaz baca boşluğunun iç kesitinin en az % 15 ve en fazla % 25'i kadar olmalıdır.

**Hava Atıkgaz Sistemi**, çok katlı binalarda gaz yakıtlı hermetik cihazlar için özel olarak tasarlanmış bir baca sistemidir. Yakma havası, bacanın içinde yekpare kanal sayesinde dışarıdan sağlanır. **Hava Atıkgaz Sistemi** EN 13384-2'ye göre üreticinin beyanı doğrultusunda ve cihazın özelliklerine göre 20 adet hermetik cihazı, tek bir bacaya bağlama imkânı sunar. Üretici firmaların kendi beyanı ile birlikte daha da fazla ve yüksek katlı binalarda uygulamalar mevcuttur.

#### **4.3. HAVA - ATIK GAZ BACA SİSTEMİNİN KESİT HESABININ YAPILMASI**

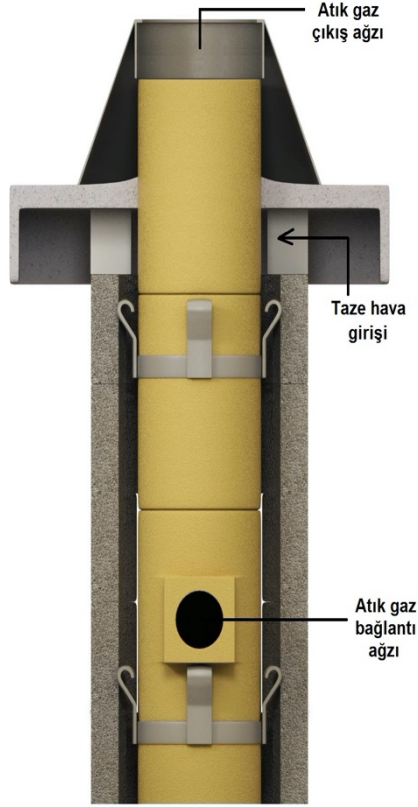
Baca boyutlandırması, TS EN 13384-2'ye uygun olarak yapılmalıdır. Boyutlandırma hesabında hermetik cihaza ait sistem sertifikası kapsamındaki konsantrik (eş merkezli) baca; pozitif basınçlı baca kapsamında, bina içerisinde bulunan ve binaya dik olarak yükselen hava-atık gaz baca sistemi; hem negatif hemde pozitif basınçlı baca kapsamında değerlendirilebilir. Pozitif basınçlı hava atık gaz sistemleri bina içinde tesis edilmesi durumunda shaft içinde olmalıdır.

### **5- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ**

#### **5.1- C TİPİ CİHAZLARIN ATIKGAZ TAHLİYESİNDE KULLANILAN HAVA ATIKGAZ SİSTEMLERİ**

##### **5.1.1- TASARIM**

Sistem; atıkgazın dışarı atılışını ve yakma havasının da C tipi cihaza rahat bir şekilde girişine imkân sağlayacak konsantrik düzende yapılandırılacaktır. Cihazların sisteme bağlantısı özel bağlantı aparatı ile yapılmalıdır. Sistem boyutları üretici firma tarafından cihaz sayısı, kapasite ve baca yüksekliklerine göre TS EN 13384-2'ye göre hesaplanmalıdır.



**Şekil 14-** Tasarlanmış bir Seramik Hava Atıkgaz Sistemi Kesiti



**Şekil 15-** Tasarlanmış bir Paslanmaz Çelik Hava Atıkgaz Sistemi Kesiti

### 5.1.2- ATIKGAZ TAHLİYE KANALI

Atık gazın tahliye edileceği iç kanal yüksek ısı, asit ve nemden etkilenmeyen malzemeden yapılmalıdır.

Paslanmaz Çelikten imal sistemlerde Hava Atık Gaz sistemi 14989 sertifikasına bağlı olarak 1856-1 belgeleri ile birlikte kullanılmalıdır.

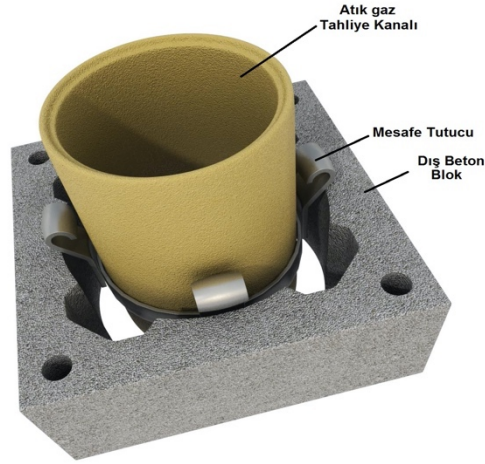
Baca; ısıtıcı cihaz ile bağlantı parçaları dahil tüm yatay ve dikey baca bileşenleri "Fabrikasyon" üretim olmalı ve montaj için gerekli taşıyıcı ve birleştirici kelepçe, taşıyıcılar ile tüm aksesuarlar EN 1856-1/2 Seramik borular akredite kurumlar tarafından test edilmiş ve TS EN 1457 onay belgesine sahip olmalıdır. Seramik borular birbirine refrakter özellikli aside dayanıklı yapıştırıcı ile sabitlenmelidir.

### 5.1.3- HAFİF BETON BLOK

Hava alma kanalını oluşturacak beton blok farklı çaplar için özel olarak boyutlandırılmalı ve cihazların hava akışına müsaade edecek boyutlarda olmalıdır. Hafif Beton Bloklar akredite kurumlar tarafından test edilmiş ve TS EN 12446 onay belgesine sahip olmalıdır.

### 5.1.4- MESAFE TUTUCULAR

Seramik boru ile beton blok arasında hava boşluğu oluşturmak ve seramik borunun dengede durmasını sağlayan mesafe tutucular paslanmaz çelik malzemeden yapılmalıdır.



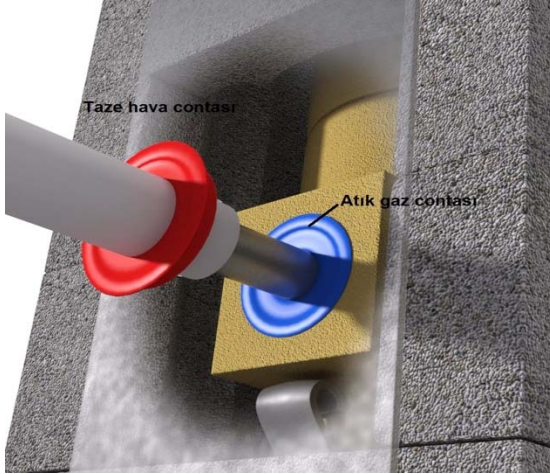
Şekil 16. Hava Atık gaz Sistemi bileşenleri

### 5.1.5- CİHAZ BAĞLANTI ADAPTÖRÜ

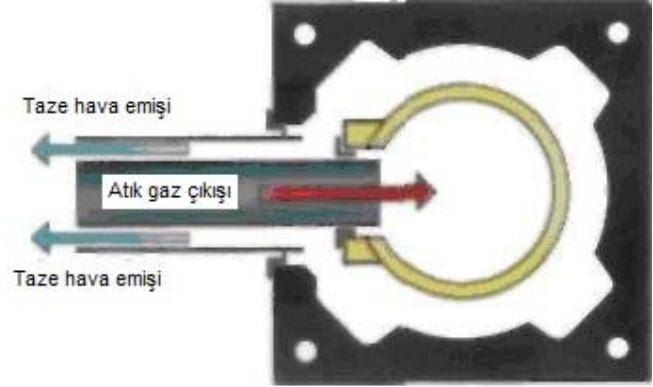
C tipi cihazların hava atık gaz sistemine bağlanmasını sağlar. Yakma havasının sistemden alınmasını sağlarken atık gazın iç seramik boruya iletilmesine imkân tanır. Adaptörün gaz sızdırmazlığı sağlanmış olmalıdır. (Şekil 17-18)-19



Şekil 17. Cihaz bağlantı Adaptörleri



Şekil 18. Cihaz bağlantı Adaptörleri



Şekil 19. Cihaz Bağlantı Adaptörlerinin Uygulaması

### 5.1.6- YOĞUŞMA TOPLAYICI

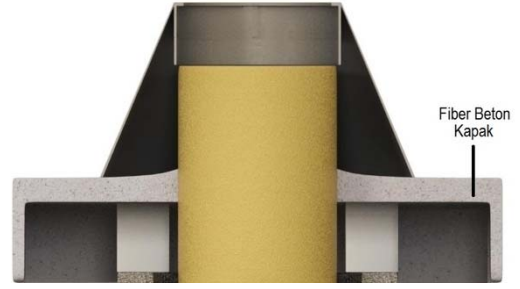
Bacanın alt kısmında, baca içerisine sızması muhtemel olan yağmur suyunu ve baca gazı içerisindeki yoğuşma suyunun toplanması ve tahliye edilmesi amacı ile sistem içindeki dengeyi sağlayan standartlara uygun yoğuşma sıvısı toplayıcı ve tahliye elemanı bulunmalıdır.



Şekil 20. Yoğuşma gideri bağlantısı

### 5.1.7- FİBER BETON KAPAK

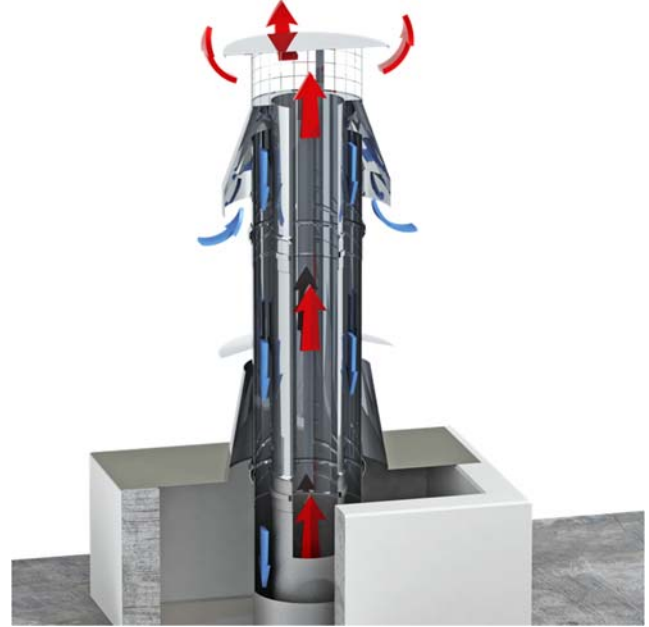
Fiber Beton kapak ile atık gaz ve yakma havası farklı kanallardan yönlendirilir. Bu eleman yakma havası ile atık gazın birbirine karışmasını engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Sistemin çatı üzerindeki yüksekliğine göre rüzgâr ve deprem gibi yanıl yüklerden etkilenmeyecek şekilde güçlendirilebilmelidir.



Şekil 21. Fiber Beton Kapak

### 5.1.8- BACA TERMİNALİ

Bacanın üst seviyesinde; bacaya monte edilmiş, atık gazın dış atmosfere tahliyesini sağlayan ve ters rüzgârların baca kanalına girişini engelleyen standartlara uygun baca şapkası bulunmalıdır.



Şekil 22. Baca Terminali

Baca çıkış terminali EN 14989-1:2007'ye göre test edilmelidir. Yapılması gereken testler;

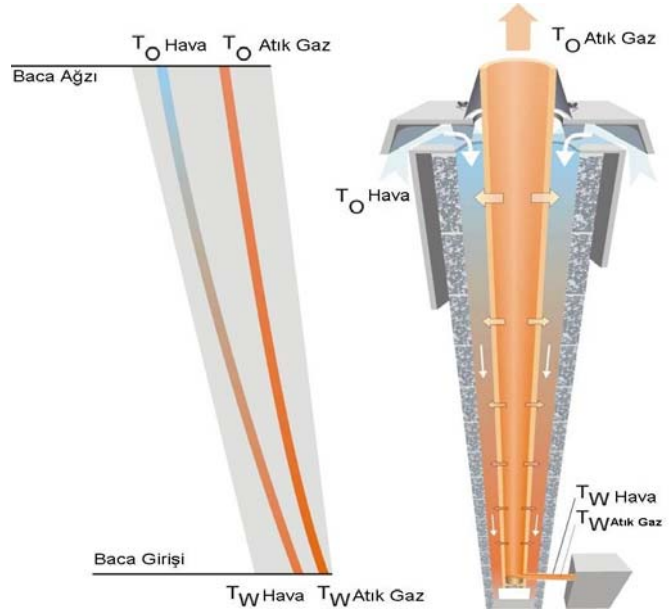
- Mekanik direnç ve sağlamlık testleri
- Dikey yük testi
- Rüzgar yükü testi
- Yağmur suyu giriş testi
- Aerodinamik testler
- Akış direnci
- Basınç üzerindeki rüzgar etkisi
- Devri daim testleri



### 5.1.9- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNDE ISI YALITIMI

Hava Atık gaz Sistemi dışta ve içte bulunan, mesafe tutucu bilezik ile sabitlenen bir baca veya atık gaz borusundan oluşmaktadır. Şaft ile baca borusu arasında oluşan boşluktan ısıtma cihazına yakma havası temin edilir.

Yakma havasının cihaza girişine kadar baca borusunun ısı yalıtımı sayesinde yanma havası ısınmaktadır. Böylelikle atık gazın ısı enerjisinin bir kısmı cihaza geri aktarılmakta ve cihazın verimliliği artmaktadır. Cihaza ortamdaki soğuk hava alınmaz ise yaklaşık %3-4 verim artışı sağlanır.



Şekil 23. Hava Atıkgaz Sisteminin çalışma prensibi

### 5.2- BOYUTLANDIRMA

Paslanmaz Çelik Hava Atık gaz Sistemine bağlanacak olan cihaz sayısına ve kapasitelerine göre tespit edilmiştir. Toplam bacaya bağlanabilir cihaz sayısı 20 adettir. Her katta 1 veya 2 cihaz bağlanabilir.

Buna göre belirlenmiş olan boyutlandırma tablosu her imalatçı kendi beyan etmektedir ve kurulum aşamasında beyana tam olarak uyulmalıdır.

Cihaz adedi				Atık gaz Tahliye Borusunun Çapı (mm)	Yakma Havası Borusu Çapı (mm)
20 kW	25 kW	30 kW	35 kW		
2-4	2	-	-	150	285
5-8	3-5	2-4	2-3	180	340
8-10	6-7	5-6	4-5	200	375
11-16	8-13	7-11	6-9	250	470
17-20	14-19	12-16	10-14	300	565

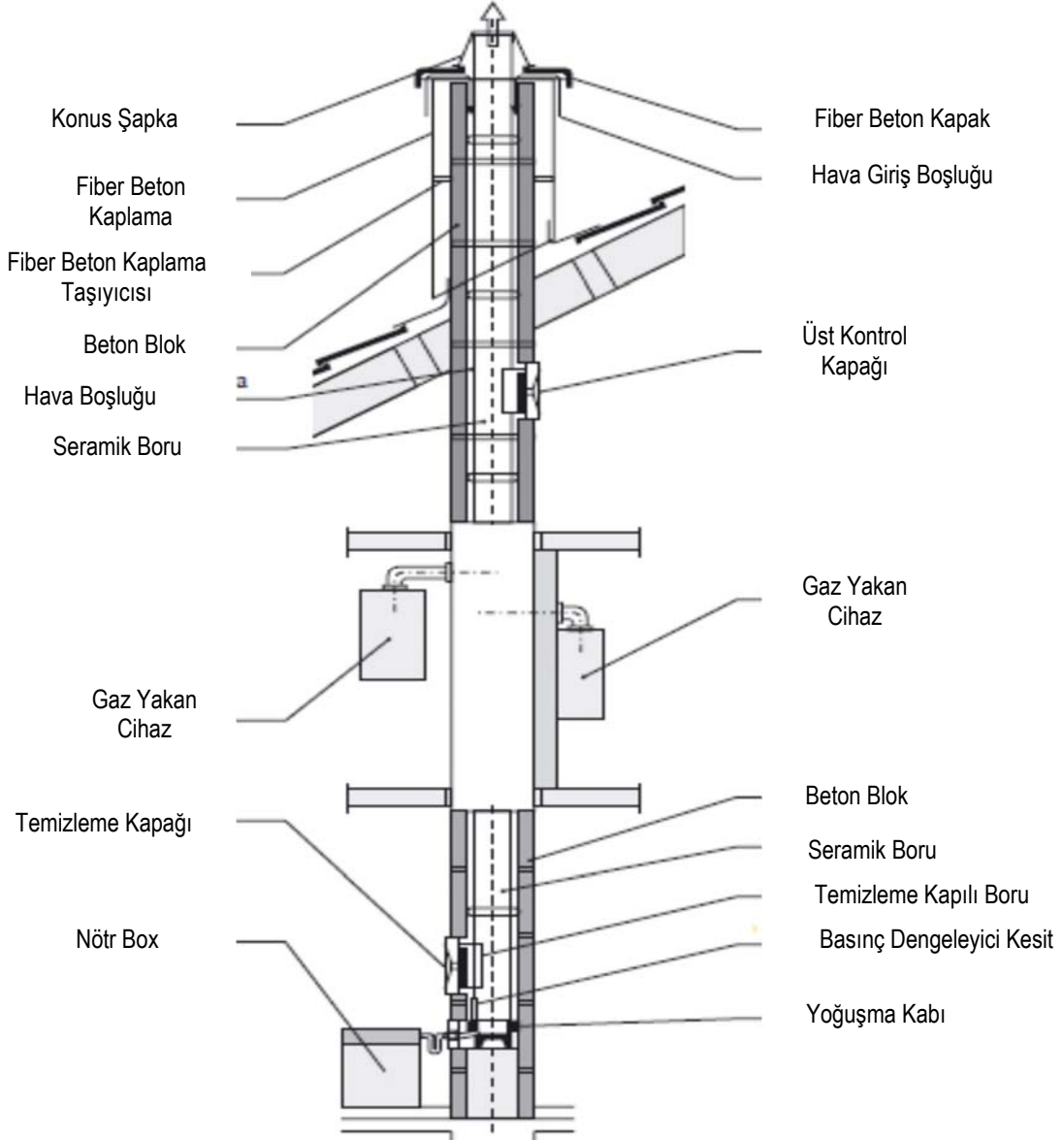
Bu ebatlar aşağıdaki hususlar için uygulanır :

- Bütün dikey eksenindeki düz borular
- Son cihaz bağlantı noktasıyla baca şapkasının üst noktası arasındaki minimum mesafe 2 m olmalıdır.

Tablo 2- Paslanmaz Çelik Malzemeden Hava Atıkgaz Sistemi Boyutlandırması

## 6- UYGULAMA DETAYLARI

### 6.1- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİ UYGULAMASI

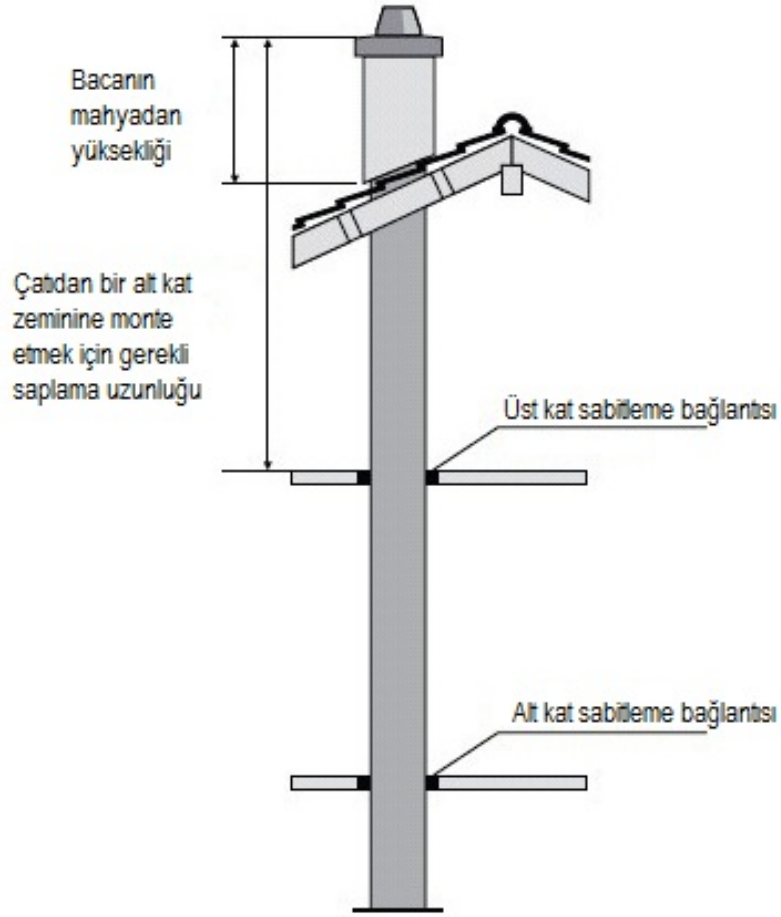


Şekil 24- Hava Atık gaz Sisteminin Uygulaması

### 6.2- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNDE STABİLİTE

Hava Atıkgaz Sistemini dış kısmını oluşturan beton bloklar çimento harcı ile örülerek bağlanmaktadır. Hava Atıkgaz sisteminin statik mukavemeti katlar arasında yapılan bağlantılarla sağlanmaktadır. Bununla birlikte en önemli olan kısım ise sistemin çatı üzerinde kalan kısmıdır. Çatı çıkının üzerinde olan kısmının kendi ağırlığı, rüzgar yükü ve deprem etkisi de dikkate alınarak beton bloklar birbirlerine çelik takviye setleri (nervürlü çelik takviye) ile eğilmeye karşı sabitlenirler. Uygulamada beton blokların dört köşesinde bulunan bağlantı deliklerinden çelik takviye setleri, bacanın çatı çıkış yüksekliğinin en az iki katı uzunluğunda olacak şekilde bağlanırlar. Daha sonrada çelik bağlantı seti ile beton blok

arasındaki boşluğa sıvılaştırılmış harç ile doldurulur ve donması beklenir. Amaç, hava atıkgaz sisteminin statik mukavemetini sağlamaktır.



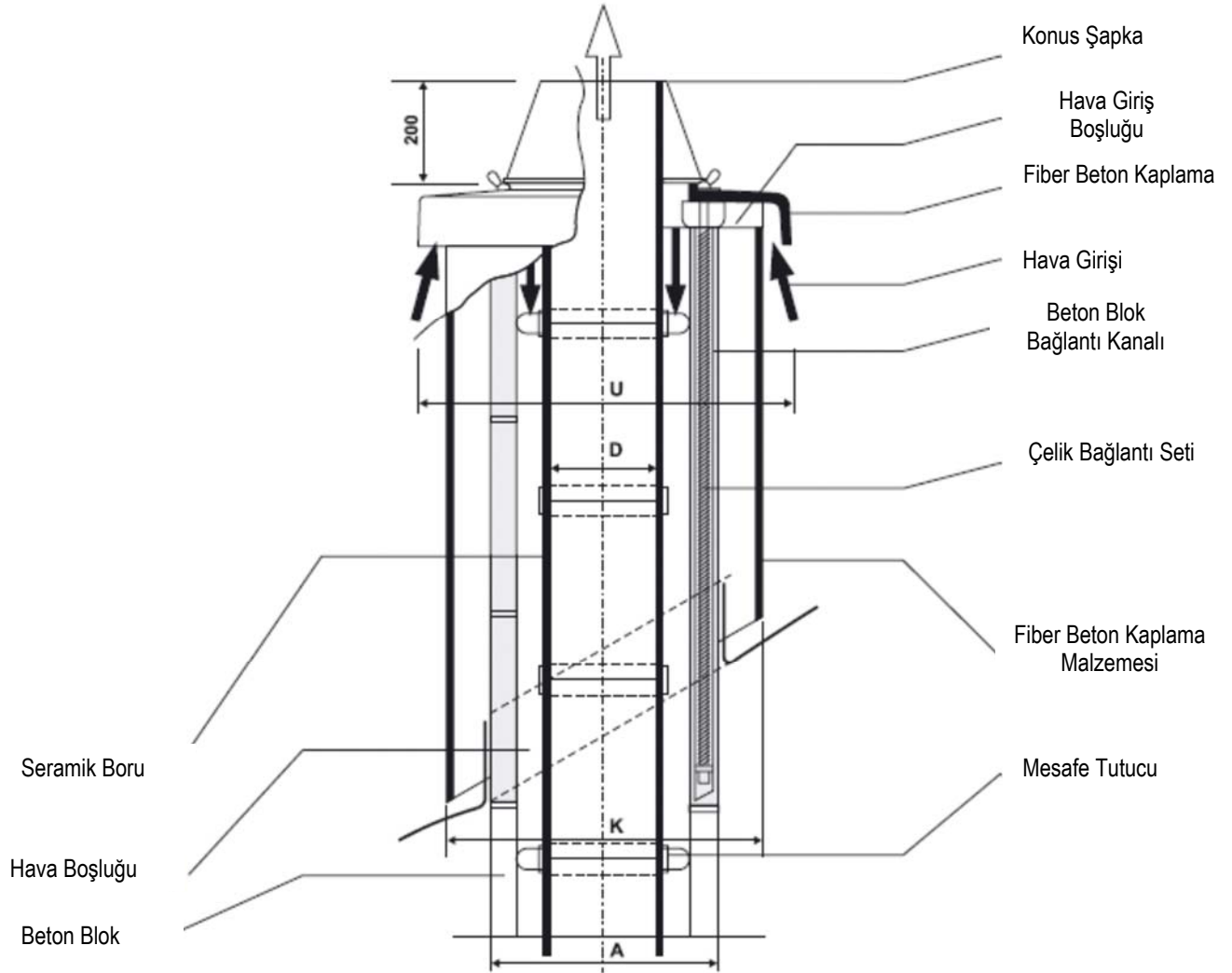
**Şekil 25.** Hava Atıkgaz Sisteminin Sabitleme Detayı

Seramik Boru Çap □□cm	Çatı üzerindeki baca yüksekliği (metre)				
	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
14	8,80	8,20	6,80	6,00	5,50
16					
18	10,00	9,60	8,00	7,00	6,00
20					
25	12,30	12,25	10,25	8,90	8,00
30	13,50	13,50	12,00	10,50	9,30

**Tablo 3-** Seramik boru çapı ve baca yüksekliğine göre kullanılacak bağlantı seti uzunluğu

Bu tablo çatı üzerinden baca yüksekliğine bağlı olarak bacanın eğilmesini önlemek için kullanılması gerekli bağlantı seti (saplama) uzunluğunu ifade etmektedir.

### 6.3- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNDE ÇATI ÜSTÜ UYGULAMA DETAYI



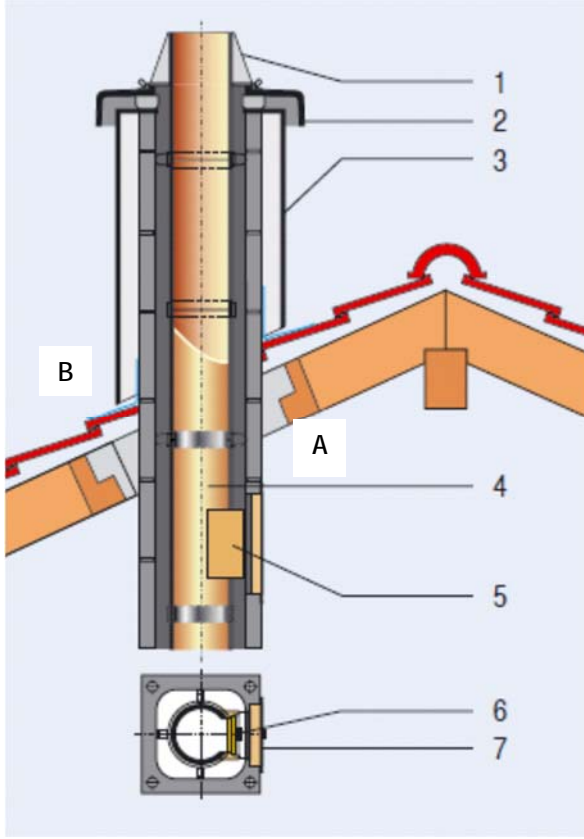
Şekil 26. Hava Atıkgaz Sisteminin Çatı Üstü Uygulama Detayı

Çap □□cm	D mm	A mm	K mm	U mm
14	140	360	490	600
16	160			
18	180	400	550	640
20	200			
25	250	480	610	740
30	300	550	670	810

Tablo 3- Seramik boru çapına göre çatı üstü ekipmanlarının boyutları.

### 6.4- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNDE ÇATI GEÇİŞ DETAYI

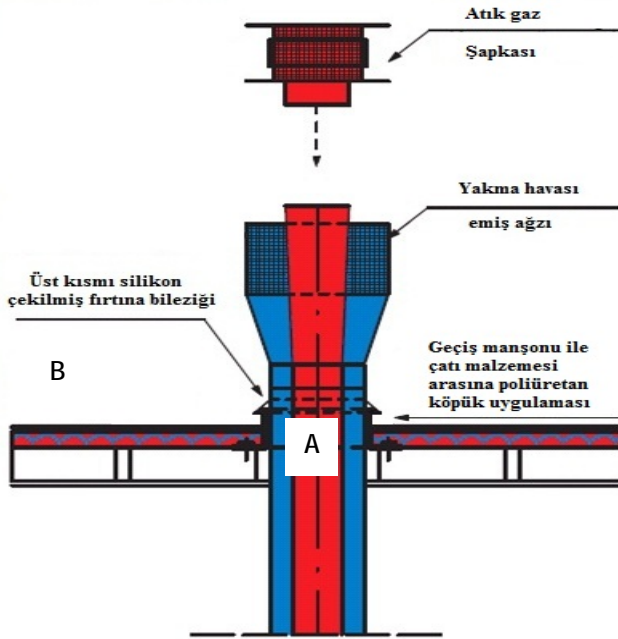
Çatı geçiş detayı özellikle yanıcı malzemeye açısından çok önemlidir. Ürün etiketlerinde tanımlanmış olan mesafe değerlerine çok dikkat edilemelidir.



- 1- Konus Şapka
- 2- Fiber Beton Kapak
- 3- Fibro Beton Kaplama
- 4- Seramik Boru
- 5- Temizleme Kapılı Boru
- 6- Seramik Boru Kapağı
- 7- Temizleme ve müdahale kapağı

A – Çatı Geçişi  
B – Koruyucu metal levha

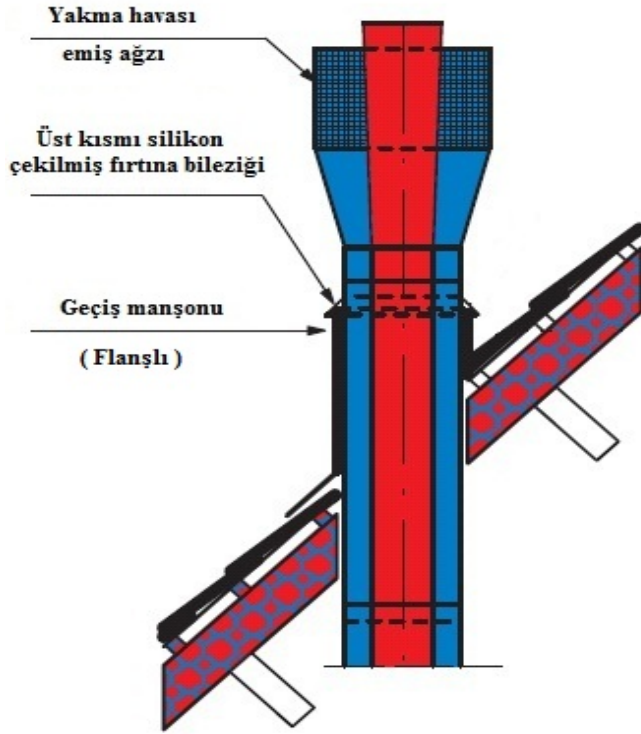
Şekil 20. Seramik Malzemeden Hava Atıkgaz Sisteminin Çatı Geçiş Uygulama Detayı



Sızdırmazlığı sağlayabilmek için, bacanın çatı çıkışından birkaç santim yukarıya fırtına bileziği ayarlanarak vida ile sabitlenir. Daha sonra çatı malzemesi ile baca malzemesi arasında kalan boşluk poliüretan köpük ile doldurulur ve fırtına bileziğinin üst kısmından suyun içeriye sızmasını önlemek için fırtına bileziği ile baca malzemesi arasındaki boşluk silikonlanır.

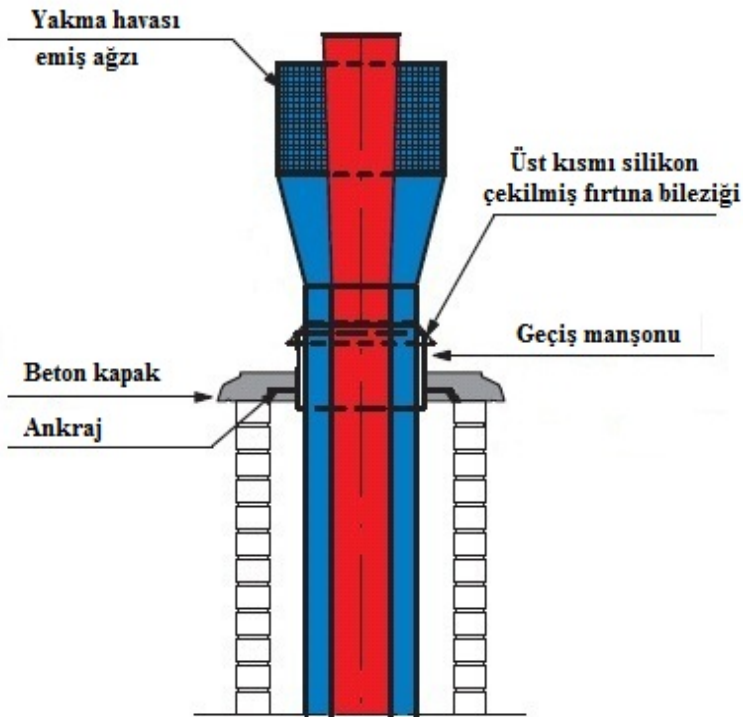
Düz çatılarda Çatıcı tarafından sızdırmazlık alüminyum sac ile çatıya sabitlenerek sağlanır.

Şekil 27. Paslanmaz Çelik Malzemeden Hava Atıkgaz Sisteminin Çatı Geçiş Uygulama Detayı



Eğimli çatılarda kurşun malzemedeki flanş uygulanmalıdır ve çatıcı tarafından sızdırmazlığını sağlayacak şekilde monte edilmelidir.

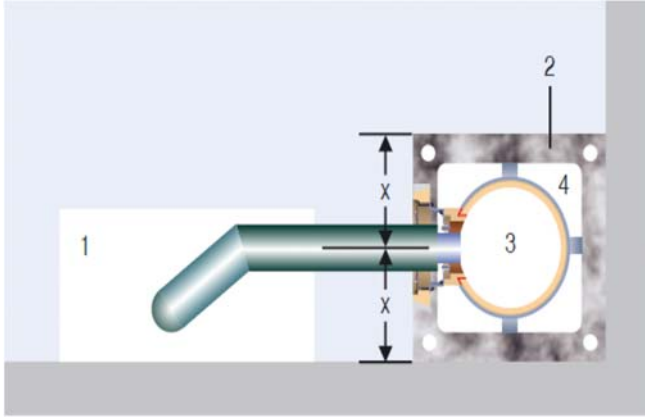
**Şekil 28.** Paslanmaz Çelik Malzemedeki Hava Atıkgaz Sisteminin Çatı Geçiş Uygulama Detayı (Eğimli Çatı detayı)



Örülmüş şaft içinde geçen bacadaki şaftın kapatılması için paslanmaz çelik saçtan dört adet ankraj ile sabitlenmektedir.

**Şekil 29.** Paslanmaz Çelik Malzemedeki Hava Atıkgaz Sisteminin Çatı Geçiş Uygulama Detayı (Tuğla Baca detayı)

## 6.5- HAVA ATIKGAZ SİSTEMİNDE YAKICI CİHAZ BAĞLANTI DETAYLARI



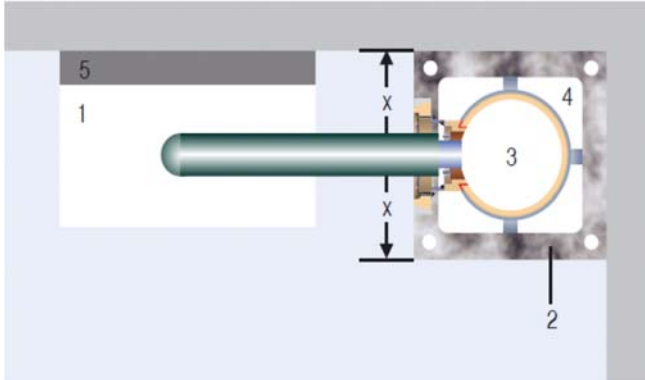
- 1- Yakıcı Cihaz
- 2- Beton Blok
- 3- Seramik Boru
- 4- Hava Boşluğu

**Şekil 30.** Hava Atıkgaz Sisteminde Yakıcı Cihaz Bağlantı Detayları

Yakıcı Cihaz Bağlantısı yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- 1- Hava atıkgaz sistemine üreticinin beyanı doğrultusunda ve cihazın özelliklerine göre 20 adet cihaz bağlanabilir.
- 2- Maksimum yatay bağlantı uzunluğu 1,4 metre olmalıdır.
- 3- Orijinal bağlantı adaptörleri kullanılmalıdır.

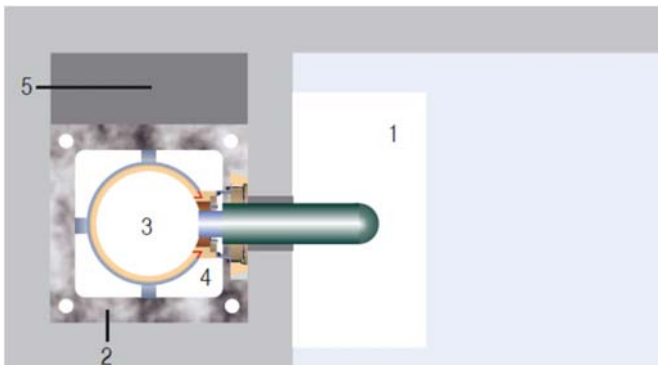
Hava Atıkgaz sisteminin hareket etme durumu söz konusu değilse;



- 1- Yakıcı Cihaz
- 2- Beton Blok
- 3- Seramik Boru
- 4- Hava Boşluğu
- 5- Yakıcı cihazın düz bir şekilde bağlanması için yakıcı cihaz arkasına konulan konstrüksiyon

**Şekil 31.** Hava Atıkgaz Sisteminde Yakıcı Cihaz Bağlantı Detayları

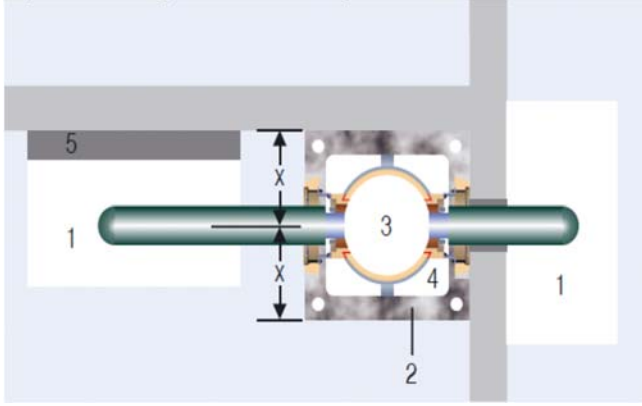
Yakıcı cihazın hareket etme durumu söz konusu değilse;



- 1- Yakıcı Cihaz
- 2- Beton Blok
- 3- Seramik Boru
- 4- Hava Boşluğu
- 5- Tesisat Şaftı veya Örülü Şaft

**Şekil 32.** Hava Atıkgaz Sisteminde Yakıcı Cihaz Bağlantı Detayları

Aynı katta iki yakıcı cihaz bağlanması durumunda;



- 1- Yakıcı Cihaz
- 2- Beton Blok
- 3- Seramik Boru
- 4- Hava Boşluğu
- 5- Yakıcı cihazın düz bir şekilde bağlanması için yakıcı cihaz arkasına konulan konstrüksiyon

**Şekil 33.** Hava Atıkgaz Sisteminde Yakıcı Cihaz Bağlantı Detayları

Bir kattan hava atıkgaz sistemine en fazla iki yakıcı cihaz bağlanabilir. Ancak bağlantıların karşı karşıya getirilmesi durumunda üretici montaj klavuzuna ve sistem sertifikasında verilen ölçülere uygun bağlantı yapılmalıdır.



**Şekil 34.** Hava Atıkgaz Sisteminde Yakıcı Cihaz Bağlantı Detayları





## 7- HAVA ATIK GAZ BACA SİSTEMİNİN FAYDALARI

### 7.1. BİNALARIN EKONOMİK DEĞERİNİ ARTTIRIR

Bu sistemle kombiler bina dışı duvarına sınırı olan mutfak veya balkonlar gibi çok değerli kullanım alanları yerine, depo, çamaşır odası gibi dairenin daha az kullanılan bölümlerine yakıcı cihaz montaj imkânı sağlamaktadır.

### 7.2. YAKIT TASARRUFU VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ SAĞLAR

Daha geniş kullanım alanı olan mutfak ve balkonlar ile dairelere ek değer kattığı gibi ısınan yanma havası ile de yakıt tasarrufu sağlamaktadır.

### 7.3. GENİŞ KULLANIM ALANI

20 cihaza kadar bağlantı sayesinde çok katlı binalarda rahatlıkla kullanılabilir. AISI 316L paslanmaz iç cidar ve V2 korozyon dayanımı sayesinde yoğun ve yüksek performans cihazlar sisteme bağlanabilir.

### 7.4. ESTETİK

Bina dışı cephesinde görüntü kirliliği yaratan yoğun suyu damlayan kışın buz tutan yatay çıkışlar yerine, çatıda atmosfere açılan tek bir baca terminali sayesinde mimari estetik korunmuş olur.

### 7.5. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Yüksek binaların üst katlarında meydana gelen ters rüzgâr basıncı ve soğuk kış koşullarında yaşanan çıkışların buz tutması gibi nedenlerden kaynaklanan ısıl performans kaybı, çatıda atmosfere açılan tek bir merkez baca sistemi sayesinde ortadan kalkar.

### 7.6. ÇEVRE VE İNSAN SAĞLIĞI

Yatay terminallerden çıkan insan sağlığına ve çevreye zararlı, zehirli bir gaz olan karbon monoksit (CO), özellikle yaz aylarında açık pencerelerden ve balkonlardan yaşam alanlarına girerek insan hayatını tehlikeye atmaktadır. Yanma sonucu meydana gelen atık gazın atmosfere en yakın nokta olan çatıdan atılması sayesinde insan ve çevre sağlığı güvence altına alınmıştır.

## 8. DİKEY BACA VE CİHAZ BAĞLANTILARININ MONTAJ KURALLARI

Kurulum, hava atık gaz sistemiyle birlikte verilen kurulum talimatlarına uyarak, MYK Bacacı Seviye 3 belgeli personel tarafından yapılmalı ve MYK Bacacı Seviye 4 belgeli personel tarafından kontrol edilmelidir.

Kurulum sorumlusu, kendisine teslim edilen sistem bileşenlerinin tasarım çalışmasında belirtilenlere uygun olup olmadığını kontrol etmelidir.

Sistem sızdırmazlık elementlerine sahipse, kurulumu yapan, baca bileşenlerinde conta olup olmadığını kontrolünü yapmalıdır.

Dikey baca bileşenleri erkek kısmı aşağıda olmak üzere monte edilir. Contalar montaj sırasında talimatlarda bu amaç için sağlanan yağlayıcıyla yağlanmalıdır.

Bağlantı kanalları, eğer yoğun suyunun boşaltılması isteniyorsa, cihaza en az 3 ° eğimde monte edilmelidir (cihazın talimatlarına bakınız).

Cihaz yoğun suyunu boşaltmak için tasarlanmamışsa, yoğun suyunun akışını sağlamak için bu eğim 3CEp sistemine geri döndürülmelidir.



Yanıcı malzemeye göre uyulması gereken güvenlik mesafeleri kontrol edilmelidir.

Bir hava atık gaz baca sistemi sadece aynı Teknik Uygulama Belgesinin ve ürün standartlarının kapsadığı bağlantı parçalarına, dirseklere, terminallere ve/veya aksesuarlara takılabilir.

Montajı yapan, üretici tarafından sağlanan sifonu hava atık gaz sisteminde yerine yerleştirmelidir. Sifon bakım işlemleri için kolayca erişilebilir ve çıkarılabilir olmalıdır.

Cihaz bağlantılarında farklı çıkış ölçüleri için baca üreticisi tarafından temin edilen adaptörler kullanılmalıdır.

Her cihazın yakınında bakım kapakları bulunmalıdır.

Gaz cihazını bağlayan montajcı, bağlantı kanalının cihaza bağlı konsantrik kanal ve olası bağlantı parçası ile uyumluluğunu kontrol etmelidir.

### 9. BACA PLAKASINDA OLMASI GEREKENLER

Her montajda, her bir bağlantının yanına montajcı tarafından bir plaka yerleştirilmeli ve asgari olarak şunları belirtilmelidir:

- Bağlantı üzerine bağlanabilir maksimum güç;
- Hava besleme ve yanma ürünlerinin tahliye kanallarının çapları;
- Cihazın yanma odasına müdahale edilmesi veya cihazın veya bağlantı kanalının sökülmesi durumunda, bağlantı üzerindeki sızdırmazlık kapağını yerine koyma zorunluluğu.
- Yıllık bakım yükümlülüğü.
- Sistemin adı
- Teknik Uygulama Belgesi numarası;
- Kurulum tarihi ve şirketin adı;
- Her bağlantıya yüklü maksimum güç;
- Bağlı olan toplam güç.

### 10. BAKIM

- Bağlı cihaza müdahale aşamalarında, teknisyen bağlantı kanalını sökmeli ve bu amaç için sağlanan kapatma tapalarını bağlantı kanalına takmalıdır. Bu gereklilik hem taze hava bacası hem de atık gaz bacası ile ilgilidir.
- Hava atık gaz sisteminin bakımı, her yıl yapılmalıdır.
- Bakım sırasında en azından şunları gerçekleştirmek gerekir:
- Sistemin genel durumunun ve terminalin kontrolü;
- Boşluk kontrolü ( taze hava / atık gaz bacası arasındaki)
- Bacanın altındaki yoğuşma tahliye sisteminin kontrolü.

### 11. KONTROL

- Ablaklar ve 13384-2 çap kontrolü
- Fiziki kontrol göz ile kontrol
- Denge aralık kontrolü
- Şapka kontrolü
- Yoğuşma gideri kontrolü
- Sızdırmazlık testi



## SONUÇ

Ülkemizde her yıl yüzlerce Hava Atıkgaz sistemi uygulanmaktadır. Ancak uygulama detayları konusunda ciddi anlamda yetersizlik söz konusudur. Hava Atıkgaz sistemlerinin uygulamalarındaki yapılan yanlışlıkların düzeltilmesinin mümkün olmaması nedeniyle yıkılıp tekrar yapılmasından başka çözüm yoktur. Hava Atıkgaz sistemini doğru uygulanmasında, uygulayan personelin mesleki yeterliliğe sahip yetkin personel olması, baca kesit hesaplarının doğru olması, kullanılan malzemelerin yapı malzemeleri yönetmeliği gereğince CE işaretli olması çok önemlidir.

## KAYNAKLAR

- 1- DVGW Arbeitsblatt G 600
- 2- Schiedel-Technische Informations Blätter Ausgabe 3/2002
- 3- Hart Keramik technische daten für Luft Abgas Systeme (LAS)
- 4- DIN 18160
- 5- TSE Standartları
- 6- Schiedel Teknik Kitap
- 7- Poujoulat Teknik Bültenleri
- 8- Jeremias Teknik Bültenleri
- 9- EXPO +TUBEST teknik Bültenleri ve Sistem Sertifika Klasörü
- 10- İGDAŞ İç Tesisat Şartnamesi

## ÖZGEÇMİŞ

### Murat COŞKUN

1970 Kartal / İstanbul doğumludur. Kartal Ticaret Lisesini bitiren Murat COŞKUN 2009 yılından beri baca sektöründe çalışmaktadır. Sektöre Tubest Baca Sistemlerinde Satış Müdürü görevinde başlayan Murat COŞKUN 2016 yılından bu yana ADELINOX ve MAXIINOX firmalarının yönetim kurullarında yer almaktadır. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır.

### Mustafa Zekai YALLAGÖZ

1976 İstanbul doğumludur. İlk ve orta Öğrenimini, Yalova'da yapmıştır. Yalova Lisesini bitiren Mustafa Zekai YALLAGÖZ, Lisanas öğrenimini Anadolu Üniversitesi İ.İ.B.F İşletme Bölümünde tamamlamıştır. Yüksek Lisansını İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yönetimi Ana Bilim dalında gerçekleştirmiştir. 2004 yılından beri içerisinde bulunduğu Baca Sektöründe Türkiye'nin birçok ilinde gerçekleştirilen Baca Eğitimlerinde eğitimci olarak görev almıştır. 2004 yılında işe girdiği Bacamarket firmasında Genel Koordinatör olarak çalışmıştır. Bu firmadan sonra sırası ile Atlas Baca Sistemleri ve Poujoulat Baca Sistemlerinde yönetici olarak görev almıştır. 2015 yılında kurduğu Stork Baca Sistemleri ve Enerji Teknolojileri A.Ş. de Yönetim Kurulu Üyesi olarak görevini devam ettiren Mustafa Zekai Yallagöz, evli ve bir çocuk babasıdır.



# ENDÜSTRİYEL BACALAR ve STANDARTLARI (H0 ve H1 SINIFI)

*Industrial Chimney And Standarts (H0 And H1 Class)*

**Hakan Gür**

## ÖZET

Bu çalışmada, endüstride (proses, kurutma fırınları, pişirme fırınları, kojenerasyon vb.) kullanılan baca sistemlerinin standartları ve baca basınç sınıfları değerlendirilmiştir. Değerlendirmede yakıcı cihaz kapasiteleri ve sistemde kullanılması durumunda; egzoz fanı, ekonomizer, atık ısı kazanı, filtre vb. ekipmanlar göz önüne alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Baca sistemi, Endüstriyel Bacalar, Serbest Duran Baca, Yüksek Basınç Dayanımlı Baca, Baca Standartları

## ABSTRACT

In this study, standards and chimney pressure classes of chimney systems used in industry (process, drying ovens, cooking ovens, cogeneration, etc.) are evaluated. In case of burning device capacities and used in my system; exhaust fan, economizer, waste heat boiler, filter etc. equipment has been taken into consideration.

**Key Words:** Chimney System , Industrial Chimneys, Free Standing Chimney, high pressure resistant chimney, Chimney Standarts.

## 1. GİRİŞ

Bacalar, çeşitli basınç sınıflarında üretilmekte ve piyasaya arz edilmektedir. Baca sistem tasarımı yapılırken yakıcı cihaz teknik özellikleri detaylıca incelenmeli ve tasarımı yapılmalıdır. Özellikle sanayi proseslerinde kullanılan yakıcı cihaz ve ekipmanların teknik verilerine ulaşmak oldukça zorlayıcı olabilmektedir. Tasarımcının teknik verilere ulaşamadığı durumlarda da karşılaşılabilmektedir. Proseslerde yakma ünitesi, filtrasyon, fan, klape vb. ekipmanların teknik özellikleri de önem arz etmektedir. Baca sistem tasarımı yakıcı cihaz baca çıkışı/çıkışlarından itibaren başlamalı ve baca sistemi çıkış ağzına kadar yapılmalıdır. Sistemde bypass hattı bulunması durumunda birden fazla tasarım doğrulama hesabı yapılması gerekmektedir. Sistem tasarımında ısı etkisi de muhakkak göz önüne alınmalıdır. Baca gazı ısı değeri sistem tasarımında önemli faktörlerden biridir. Baca gazı ısı değişkenliği, sistem tasarımı ve baca standardını da belirlemektedir.

## 2. ENDÜSTRİYEL BACA STANDARTLARI

Serbest duran baca sistemleri, yüksek ısı ve basınca dayanıklı baca sistemleri tasarımı aşağıdaki baca standartları kapsamında içerisinde yer almaktadır.

Standartlar;

1. TS EN 13084-1 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 1: Genel kurallar
2. TS EN 13084-2 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 2: Beton Bacalar
3. TS EN 13084-4 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 4: Tuğla astarlar- Tasarım ve Uygulama
4. TS EN 13084-5 Bacalar- Serbest duran- Bölüm 5: Tuğla astarlar için malzeme- Mamul özellikleri
5. TS EN 13084-6 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 6: Çelik astarlar- Tasarım ve Uygulama
6. TS EN 13084-7 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 7: Tek duvarlı çelik bacalar ve çelik astarlarda kullanılan silindirik çelik mamullerin teknik özellikleri
7. TS EN 13084-8 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 8: Taşıyıcı Bir Yapıya Asılı Baca Sistemi- Tasarım ve Uygulama

### 3. BACA ÜRETİM STANDARTLARI HAKKINDA

#### 3.1 TS EN 1443, Bacalar – Genel kurallar

Yanma ürünlerinin ısıtma donatılarından dış atmosfere taşınmasında kullanılan (baca bağlantı boruları ve bağlantı parçaları dahil) baca sistemleri için genel kuralları, temel performans ölçütlerini ve sınır değerleri kapsar. Baca sistemleri ve baca inşasında kullanılan mamullerle ilgili standartlar için bir **referans olması** amaçlanmıştır. Bu standart ayrıca, uygunluğun değerlendirilmesi için asgari kuralları ve işaretlemeyi de kapsar.

**Bu standart, yapısal olarak bağımsız baca sistemlerine uygulanmaz.**

Baca sistemleri, aşağıdaki iki yoldan birine uygun olarak monte edilebilecek çeşitli bileşenlerden oluşur.

- Hazır baca sistemleri olarak, bir başka deyişle baca sisteminin tümünün imalatından sorumlu olan bir imalatçının kendisinden veya verdiği talimata göre başka bir kaynaktan temin edilen parçaların bir araya getirilmesiyle tesis edilen baca sistemleri.
- Sipariş baca sistemleri, bir başka deyişle, bir veya daha fazla sayıda kaynaktan temin edilen baca sistemi elemanlarının bir araya getirilmesi yoluyla uygulama standartlarına veya inşaat düzenlemelerine göre tesis veya inşa edilmesiyle ortaya çıkan bacalar.

#### 3.2 TS EN 1856–1, Bacalar - Metal bacalar için kurallar – Bölüm 1: Hazır baca bileşenleri

Yanma ürünlerinin ısıtma tertibatlarında dış atmosfere taşınmasında kullanılan rijit metal astarlı üst sınırı 1200 mm dahil olan, tek ve çok duvarlı baca bileşenlerinin (destekler dahil baca bölümleri, baca bağlantı parçaları ve terminaller) performans kurallarını kapsamaktadır.

**Bu standart, kendi kendini taşıyan (konstrüksiyonlu ve tek başına duran) bacalara uygulanmaz.**

#### 3.3 TS EN 13084-1 Bacalar – Serbest duran – Bölüm 1: Genel kurallar

Astarı da dahil her tip serbest duran bacanın tasarım ve yapımı için genel kuralları ve temel performans kriterlerini kapsamaktadır.

Çelik halatlarla tutturulan, yandan desteklenen veya bir başka yapıya dayanan bacalar da serbest duran baca kabul edilmektedir.

Binalara bağlanmış bacalar aşağıdaki kriterlerden birini karşılaması durumunda yapısal bakımdan serbest duran baca olarak tasarlanmalıdır.

- Yan destekler (duvar sabitleme kelepçesi) arasındaki mesafe 4m'den fazlaysa,
- Yapının en üst bağlantısından itibaren (son destek noktasından sonraki bölüm) serbest duran kısmın yüksekliği 3m'den fazlaysa,
- Dikdörtgen en kesitli bacalar için binanın en üst bağlantısından itibaren serbest duran kısmın yüksekliği en küçük dış boyutun beş katından fazlaysa,
- Binayla bacanın dış yüzeyi arasındaki yatay mesafe 1m'den fazlaysa.

Serbest duran konstrüksiyona bağlı olan bacalar, serbest duran bacalar olarak kabul edilir.

**TS EN 13084 serisinin diğer bölümlerinde, TS EN 1443 standardına (ve ilgili mamul standartlarına) uygun baca mamullerinin serbest duran bacalarda kullanılabildiği yerlerde, bunlar ile ilgili kurallar verilmiştir.**

### **3.4 TS EN 13084-4 Bacalar – Serbest Duran – Bölüm 4: Tuğla Astarlar – Tasarım ve Uygulama**

Binadan serbest duran bacalar için tuğladan mamul astar sistemlerinin tasarımında uygulanacak özel kuralları ve performans kriterlerini kapsar. Avrupa'daki bugünkü uygulamalarda daha ziyade parçalı astarlar tercih edilmektedir ve standartlar esas olarak bu tür çözümleri ele almaktadır, ancak tabandan desteklenen, serbest duran bacalara da büyük ölçüde uygulanabilir. Bu standart, TS EN 13084-1'de verilen genel kurallara uygun olarak astarların mekanik direncini ve kararlılığını sağlayacak şartları tanımlar.

Astar sistemleri aşağıdakilerden bir kısmını veya tamamını kapsar:

- Kanal girişi dahil baca astarı,
- Yalıtım,
- Astar desteği,
- Astarla beton rüzgâr kalkanı arasındaki boşluk.

Astar boyutunu tayin etmek için kullanılacak gaz akışı hesaplamaları TS EN 13084-1'in kapsamındadır.

### **3.5 TS EN 13084-5 Bacalar - Serbest Duran - Bölüm 5: Tuğla Astarlar İçin Malzeme – Mamul Özellikleri**

Binadan serbest duran bağımsız bacalar için tuğladan mamul astar yapımında kullanılan kil/seramik tuğlalarla fabrikada imal edilmiş harçların performans kurallarını ve deney metotlarını kapsar.

Tuğla astarların yapısal tasarımı, TS EN 13084-4'te tanımlanmıştır.

Bu standardın kapsamındaki tuğlaların ve harcın işaretleme kuralları da bu standartta ele alınmıştır.

Bu standart, kapsamındaki tuğla astar malzemelerin uygunluğunu değerlendirmek için gerekli kriterleri sağlar.

### **3.6 TS EN 13084-6 Bacalar – Serbest Duran – Bölüm 6: Çelik Astarlar – Tasarım ve Uygulama**

Endüstride binadan bağımsız bacalar için çelikten mamul astar sistemleri tasarımının özel şartlarını ve performans kriterlerini ele almaktadır. TS EN 13084-1'de belirtilen silindirik çelik astarların özelliklerini de tanımlar.

Bu standart, yük taşıyan bir yapı içerisine yerleştirilmiş üç temel tipteki astarın tasarımını kapsar:

- a) Tabandan desteklenen astar,
- b) Parçalı astar,
- c) Askılı astar.

Ayrıca bu standart, yüzeyi baca gazlarıyla temas eden tek duvarlı bacalara da uygulanır.



TS EN 1856-1 ve TS EN 1856-2'ye uygun olarak prefabrike metal bacalardan mamul astarlar, bu standartta tanımlandığı gibi ilâve desteklerle ve kılavuzlarla yerine yerleştirilebilir.

### 3.7 TS EN 13084 -7 Bacalar - Serbest Duran bölüm 7: Tek Duvarlı Çelik Bacalar Ve Çelik Astarlarda Kullanılan Silindirik Çelik Mamullerin Teknik Özellikleri

Yakıcı cihazların dış atmosfere baca gazını taşımada kullanılan yapıdan bağımsız bacalar için tek duvarlı çelik bacalar ve çelik astarlarda kullanılan silindirik çelik mamullerin performans özelliklerini kapsar (basınç, ısı, korozyon dayanımı vb.). Ayrıca, tek duvarlı çelik baca ve astarların tamamlayıcı parçası olan yalıtım ve giydirme kaplamanın özelliklerini kapsar.

#### ÜRÜN TİPİ / SINIFLAMASI

##### TS EN 13084-7 T550-H0-D-L10- 1.4404-O

Endüstriyel baca sistemine ait ürün sınıflamasının tanıtımıdır.

#### T550

Sıcaklık Sınıfı

- Yakıcı cihazdan çıkan sıcaklıktan yüksek veya eşit bir değerde olmalıdır.
- T200, T400, T550, T750, T900, T1000 şeklinde standartların izin verdiği ölçüde türleri mevcuttur.

Sınıf	Baca gazının azami sıcaklığı	Astar sisteminin sıcaklık direnci
T200	200 °C	Asgari 200 °C
T400	400 °C	Asgari 400 °C
T550	550 °C	Asgari 550 °C
T750	750 °C	Asgari 750 °C
T900	900 °C	Asgari 900 °C
T1000	1000 °C	Asgari 1000 °C

#### Tablo 1

#### H0

- Gaz sızdırmazlık Sınıfı

#### Farklı basınç türlerinde çalışan sistemler için

- H0
- H1
- P1
- N1

Sınıf	Sızdırma oranı	Deney Basıncı
	l s-1 m-2	Pa
H0	0,000	5000
H1	0,006	5000
H2	0,120	5000
P1	0,006	200
P2	0,120	200
N1	2,0	40
N2	3,0	20

#### Tablo 2



Sınıf H0, deney yapmaya gerek olmaksızın, aşağıdaki yollardan elde edilebilir:

- Sızdırmaz kaynaklı birleştirmeler,
- Azamî civata aralığı civata çapının 5 katı, asgarî flanş kalınlığı civata çapının 1,0 katı olan civatalı birleştirmeler ve birleştirme elemanları.

#### D / W

Yoğuşma ürün Direnci

- W: Nemli (Yaş) halde çalışan bacalar
- D: Kuru halde çalışan bacalar

#### L10 / M / H / V

Kimyasal Etkiye Dayanıklılık

Kimyasal etki sınıfı:

- L : Düşük
- M : Orta
- H : Yüksek
- V : Çok yüksek

ve yıl cinsinden dayanıklılık

#### 1.4404

Baca Astar Malzeme numarası

#### O / G

Kurum Yangın Direnci

- O: kurum yangınına dayanıklı olmayan
- G: kurum yangınına dayanıklı

### 3.8 TS EN 13084-8 Bacalar – Serbest Duran – Bölüm 8: Taşıyıcı Bir Yapıya Asılı Baca Sistemi – Tasarım ve Uygulama

TS EN 13084-7'ye uygun borular veya TS EN 1856-1'e uygun prefabrike metal boru elemanları kullanarak oluşturulan taşıyıcı bir yapıya asılı baca sisteminin tasarım kriterlerini ve inşa metodunu kapsar. Bu standartta baca çap hesaplaması ile ilgili şartlar bulunmamaktadır. Standart, konstrüksiyonlu ve serbest duran direklere bağlı bacaların tasarımını kapsamaktadır.

## 4. BACALAR İÇİN HESAP STANDARTLARI

### 4.1 TS EN 13384-1 BACALAR Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları tek ısıtma tertibatına bağlı bacalar

Tek ısıtma tertibatına bağlı bacaların ısı ve akışkan dinamiği özelliklerinin hesaplama metotlarını kapsamaktadır.

Bu standartta yer alan metotlar, ıslak ve kuru çalışma şartlarında **negatif ve pozitif basınçlı** bacalara uygulanmaktadır.

Bu metotlar, hesaplama için gerekli baca gazı özellikleri bilinen yakıtların kullanıldığı ısıtma tertibatları için geçerlidir.

Bu standartta yer alan metotlar **bir ısıtma tertibatına bir girişin bağlandığı** bacalara uygulanır.

TS EN 13384-2'de yer alan metotlar, çok sayıda ısıtma tertibatına çok sayıda girişin ve tek girişin bağlandığı bacalara uygulanmaktadır.





## 4.2 TS EN 13384-2 BACALAR Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları birden çok ısıtma tertibatına bağlı bacalar

Birden çok yakıcı cihaza bağlı bacaların ısı ve akışkan dinamiği ile ilgili hesaplama metotlarını kapsamaktadır.

TS EN 13384-2 Standardı aşağıdaki iki durumu da kapsar:

1. Baca, bir veya birçok ısıtma tertibatından gelen bağlantı borularına çok girişli bir düzenlemeyle bağlanmıştır.
2. Baca, kademeli bir dizi halindeki birden çok ısıtma tertibatından gelen bir tek baca bağlantı borusuna bağlanmıştır.

Çoklu girişli kaskat baca düzenlemesi 1'nolu açıklama kapsamına girer.

Negatif basınç şartlarında çalışan (baca bağlantı borularında pozitif basınç olabilir) pozitif basınç altında çalışan bacalarla ilgilidir. Sıvı, gaz ve katı yakıtların kullanıldığı ısıtma tertibatları için geçerlidir.

### TS EN 13384-2 Aşağıdaki bacalara uygulanmaz:

- Farklı bölümlerde değişik ısı dirence ve farklı en kesite sahip bacalara,
- Enerji kazanımı hesaplamasına
- Açık şömine bacaları, örneğin normalde kullanılması amaçlanan açık şömine bacaları veya baca girişleri odaya açık olarak çalışan şömine bacalarına
- **Doğal çekişli, fan destekli, cebri çekişli farklı türde yakıcı cihazlara hizmet eden bacalara**
- **Fan ve baca arasında çekiş yönlendiricili fan destekli yakıcı cihazlar doğal çekişli baca olarak kabul edilir**
- Beş bölümden fazla, çoklu girişi olan bacalar (Bu, dengeli akışlı bacalara uygulanmaz).
- Aynı hava beslemesi basınç bölgesinde (binanın aynı tarafından) bulunmayan havalandırma açıklıkları veya **hava kanalları yoluyla açık hava ile beslenen ısıtma tertibatına bağlı bacalar.**

Pozitif basınçlı bacalar için bu kısım sadece, çalışmayan herhangi bir ısıtma cihazına, baca gazı geri akışını önlemek için pozitif olarak izole edilebilirse geçerlidir.

## 4.3 TS EN 13084 -1 Bacalar Serbest duran genel kurallar

Baca kesit hesapları **TS EN 13084-1** standardına uygun yapılmalıdır.

Yüksekliği 20 metreden az olan bacalarda hesaplama TS EN 13384-1 standardına göre de yapılabilir. TS EN 1856'ya göre yapılan sistem bacalar TS EN 13384-1 veya TS EN 13384-2'e göre hesaplanmalıdır.

Serbest Duran Bacalarda hesaplama  
TS EN 13084-1'e uygun olarak yapılmalıdır.

Yüksekliği 20 metreden az olan bacalarda hesaplama TS EN 13384-1 standardına göre de yapılabilir.

Akış hesaplamaları, baca gazı taşıyan boru içindeki basıncın ve akış hızının hesaplarını içermelidir. Bu hesaplamalar, baca gazının ve ortam havasının yoğunluklarıyla sürtünme ve bağlantılarından kaynaklanan yön değiştirme kayıpları gibi enerji kayıplarını hesaba katmalıdır.

Endüstriyel baca tasarımı yapılırken; Çevre ve Orman Bakanlığının Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Dikkate Alınmalıdır.

## SONUÇ

Baca standartları incelendiğinde;

Yüksek ısı ve basınç altında çalışan, kapalı tip yanmanın gerçekleştiği yakıcı cihaz baca sistemleri çap hesaplamasında TS EN 13384-1, TS EN 13384-2, TS EN 13084-1 standartlarının kullanıldığı görülmektedir.

Ancak, proses kaynaklı baca sistemleri ile ilgili olarak TS EN 13384-2 standardında bazı şartlar tanımlanmıştır.

Proseslerde farklı baca çapı ve ısı direnç, fan destekli yüksek basınç uygulamaları, farklı basınç ve ısı bölgeleri sıklıkla karşılaştığımız bir durumdur. Sektörümüzde baca çap hesaplaması ile ilgili farklı uygulamalar görülmektedir. Standartları incelediğimizde açık yanmalı, hava ile beslenen yakıcı sistemler, davlumbaz ile atık gazın iletildiği baca sistemleri için çekiş şartlarını karşılayacak baca çap hesaplama metotlarının geliştirilmesi ve uygulanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Sistem tasarımında baca gazı ısı ve basınç değerleri mutlaka detaylı incelenmeli ve sistem tasarımı yapılmalıdır. Örneğin; baca gazı ısı 750 °C olan bir sistemin basınç ve çap aralığı TS EN 1856-1 standardı kapsamında içerisinde dahi olsa TS EN 13084-7 standardı kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ayrıca montaj koşulları şartlarının sağlanamadığı durumlarda dahi sistem tasarımı TS EN 13084-7 standardı kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

H0 ve H1 basınç tipleri, ürün sınıfı ve tipi bölümde açıklanmıştır. Standart H0 basınç tipini, kaynaklı birleşim ve flanş bağlantı detaylarının sağlandığı durumlarda kullanılması gereken ürün tipi olarak açıklamaktadır. H1 ve diğer basınç tipleri üretici tarafından tasarımla doğrulanması gereken basınç sınıflarıdır.

## KAYNAKLAR

1. TS EN 13084-1 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 1: Genel kurallar
2. TS EN 13084-2 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 2: Beton Bacalar
3. TS EN 13084-4 Bacalar- Bacalar – Serbest duran – Bölüm 4: Tuğla astarlar- Tasarım ve Uygulama
4. TS EN 13084-5 Bacalar- Serbest duran- Bölüm 5: Tuğla astarlar için malzeme- Mamul özellikleri
5. TS EN 13084-6 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 6: Çelik astarlar- Tasarım ve Uygulama
6. TS EN 13084-7 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 7: Tek duvarlı çelik bacalar ve çelik astarlarda kullanılan silindirik çelik mamullerin teknik özellikleri
7. TS EN 13084-8 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 8: Taşıyıcı Bir Yapıya Asılı Baca Sistemi- Tasarım ve Uygulama
8. TS EN 1443, Bacalar – Genel kurallar
9. TS EN 1856–1, Bacalar- Metal bacalar için kurallar – Bölüm 1: Hazır baca bileşenleri
10. Astarlarda Kullanılan Silindirik Çelik Mamullerin Teknik Özellikleri
11. TS EN 13384-1 BACALAR Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları tek ısıtma tertibatına bağlı bacalar
12. TS EN 13384-2 BACALAR Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları birden çok ısıtma tertibatına bağlı bacalar



## ÖZGEÇMİŞ

### Hakan GÜR

1979 yılı İstanbul doğumludur. 18 yıldır baca sektöründe çalışmaktadır.

Konut ve benzeri yapılar için prefabrik hazır baca bileşenleri tasarımı, üretimi ve montaj faaliyetleri. Endüstri tesisleri için kendi kendini taşıyan, konstrüksiyonlu, kısmi taşıyıcılı baca sistemleri tasarımı, yüksek basınç ve ısı şartlarında çalışan baca sistemleri projelendirmesi, üretimi ve montaj faaliyetleri. Domestik ve endüstriyel tesis bacaları için fabrika üretim kontrol sürecinin oluşturulması, Teknik dosya oluşturma, Tasarım kriterleri belirleme, Test deney stant tasarımı ve üretimi, Test deney performans ölçütleri belirleme, Test ve deney işlemlerinin yapılması, Performans beyanları hazırlama, Standarda uygunluk kontrolleri, Baca sistemlerinin Standard çerçevesinden kontrolü, üretimi ve piyasaya arzı faaliyetlerinde bulunmuştur.

Ayrıca, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, TS EN ISO/IEC 17065, TS EN ISO/IEC 17020 ve TS EN ISO/IEC 17024 Standardı alanlarında Denetçi ve Teknik Uzman, ISO 9001 Standardı Denetçi ve Baş Denetçi, Baca montaj personeli (S3) ve Baca Kontrol Personeli (S4) Eğitmeni, Bacacı Eğitmeni, Baca gazı analizi ve yanma verimliliği alanlarında uzmanlıkları bulunmaktadır.



# ENDÜSTRİYEL BACALARDA TİTREŞİM KONTROLÜ

*Control of Vibration-Dampers for Industrial Steel Chimneys*

**Muammer Akgün**

## ÖZET

Titreşim damperleri, bacaların çalışması esnasında oluşan bacaya zarar verebilecek titreşimlerin etkisini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, damperlerin sönümlenme sisteminin prensibi anlatılmıştır. Bununla birlikte damperin kütlesi, rijitliği ve vorteks etkisi ile bacanın üst noktasında oluşan genliğin bacaya etkisi irdelenmiştir. Titreşim damperlerinin boyutları ve son olarak kullanılmakta olan bazı damper sistemleri tanımlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Titreşim damperi, Sönümlenme sistemi, damper sistemleri, genlik, rijitlik

## ABSTRACT

In the past there have been attempts to control wind response of chimneys using strakes, perforated screens, rubber mountings, hanging chain dampers and tuned mass dampers. However, a systematic and detailed study on latest designed vibration dampers at chimney top is not seen in literature. In the present paper, principle of the damping system is discussed.

Mass and stiffness of the damper are calculated. Amplitude of the top of chimney during vortex shedding is calculated. Results thus obtained have been discussed. Some latest damping systems have also been presented for authenticity.

**Key Words:** Vibration-Dampers, Damping system, Damper systems, Amplitude, Stiffness.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel baca sistemi tasarımı yaparken rüzgar ve deprem etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Bacalar yüksek hızlı rüzgardan kaynaklı vorteks salınımı ve deprem esnasında oluşan salınımlardan dolayı devrilme ihtimaline karşı güvenli hale getirilmelidir. Bununla birlikte bacalarda düzenli bir salınımın olması normaldir ancak düzensiz titreşimlerden kaynaklanan salınımlardan kaçınılmalıdır. Büyük ölçekli salınımlar baca sisteminin güvenliği ve bütünlüğü açısından bir tehdit olmakla birlikte, sistemdeki ekipmanların ve çevredeki insanlar için de ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu problemi aşmanın en uygun yolu, tasarım aşamasında rüzgar ve varsa deprem yüklerinin hesaba eklenmesi ile mümkündür. Bu sorunun çözümü genellikle titreşim sönümleyici damperlerin sisteme ilave edilmesi ile sağlanabilir [2,3].

Bu damperler, baca sisteminde oluşan hareketin tersi yönünde kuvvet oluşturmaktadırlar. Bu sönümleyici damperler; sıvı, kuru sürtünme esaslı ya da yüzeyler arasında kayan vb. tipleri bulunmaktadır[3]. Bu çalışmada baca sistemlerinde oluşan titreşimleri kontrol etmek için kullanılan çeşitli titreşimli damperleri tanımlanmıştır. Bu damperler kendi kendini taşıyan ya da halatlarla gerilmiş serbest duran bacalara uygundur.

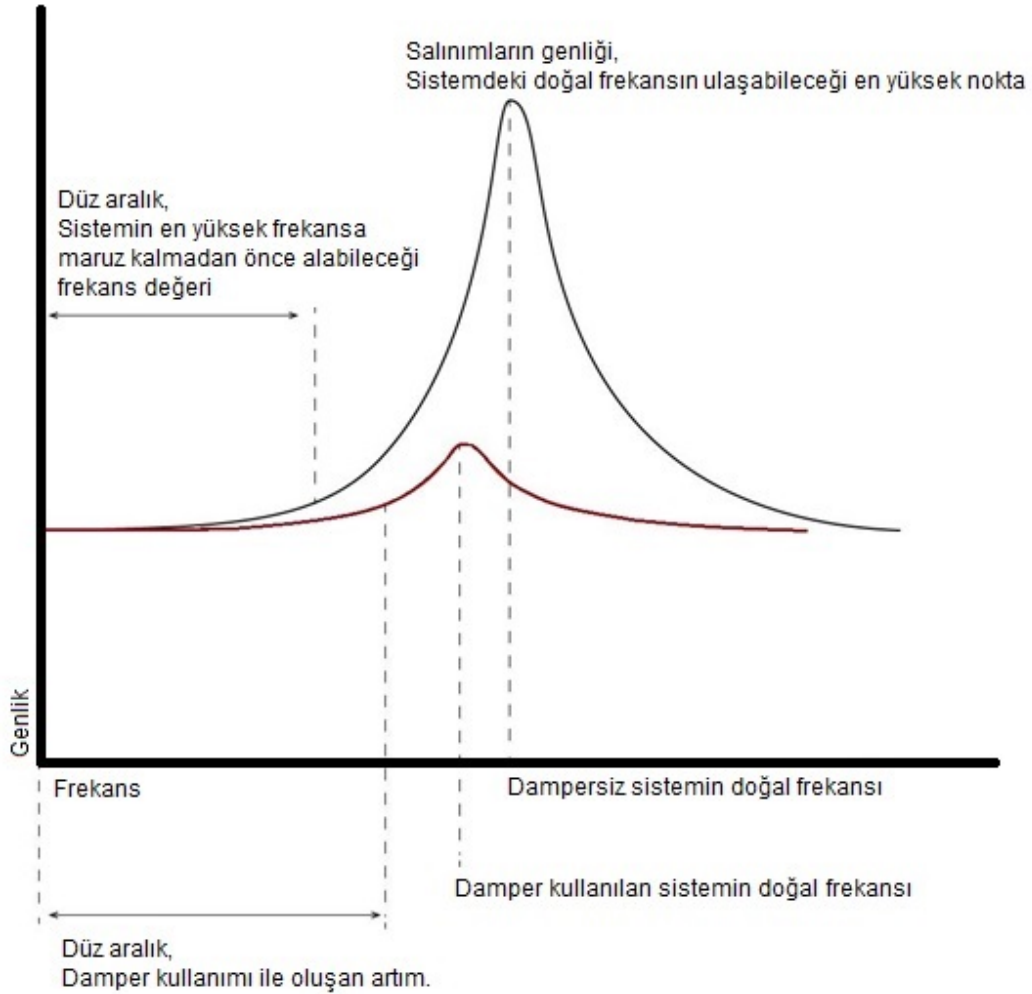
## 2. BACALARDA TİTREŞİM SİSTEMİNİN PRENSİBİ

Bacalarda titreşim, rüzgarın oluşturduğu vortekslerden kaynaklanmaktadır. Vortekslere bağlı oluşan kuvvetler baca ile aynı frekansa sahip olması durumunda baca sisteminde kolaylıkla rezonans oluşturabilirler. Baca sisteminde oluşan genlik ve gerilim artar ve bu da sistemdeki malzemenin yorulmasına ve hatta devrilmesine sebep olabilir [4,5].

Bacalar için rüzgarın oluşturduğu vorteks kuvvetleri Reynolds sayısına göre değişim göstermektedir.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

V= Rüzgar hızı [m/s]; D= Baca çapı [m];  $\nu$  = Kinematik viskozite [ $m^2/s$ ].



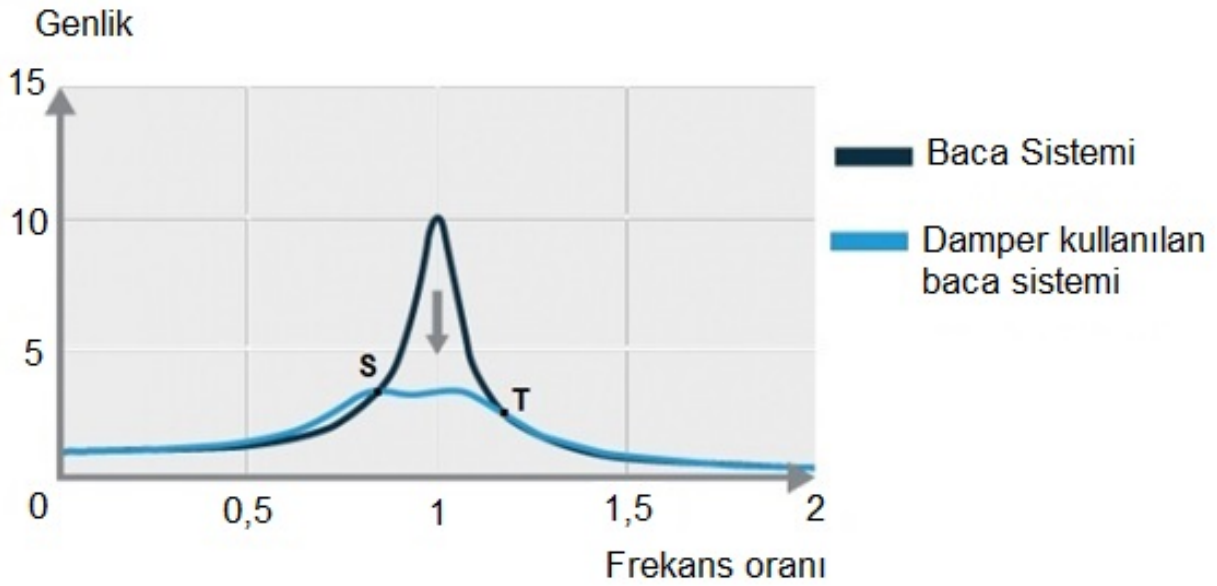
**Şekil.1-** Dampir uygulanan ve dampir uygulanmayan bir baca sistemin verdiği dinamik tepki.

Vorteks kuvvetleri, Reynolds sayılarının kritik altı ve kritik ötesi olması durumuna göre değişim göstermektedir.

Kritik altı aralığı :  $Re < 3 \cdot 10^5$   
Kritik aralığı :  $3 \cdot 10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$   
Kritik üstü aralığı :  $Re > 3 \cdot 10^6$

Kritik aralık değeri olan  $3.10^5 < Re < 3.10^6$  aralığında, baca etrafındaki oluşan türbülans, vorteks kuvvetlerini düzensiz hale getirir. Oluşan bu düzensizlik ancak damperleme elemanları ile giderilebilir[1]. Vorteks kuvvetlerinin oluşturduğu türbülans sonucu meydana geldiğinde oluşan titreşim, malzeme yorulması kaynaklı çatlakların veya yapısal bozulmaların oluşmasına neden olabilmektedir. Damper sisteme aynı frekansta karşı kuvvet oluşturduğu için oluşacak salınımları önemli ölçüde azaltmaktadır. Damper sisteminin teorisi Şekil 1'de görülmektedir.

Dikey ekseninde baca sisteminin dinamik hareketi ve statik hareketi arasındaki fark görülmektedir. Yatak eksenine ise bacanın yük frekansı ile rezonans frekansı görülmektedir. Siyah çizgi ile bacada sönümleyici damper olmadan, kırmızı çizgi ile bacanın damper kullanılması durumunda hareketi görülmektedir.



Şekil.2- Damper uygulanması ile oluşan sönümlenme etkisi.

Yükün frekansı, baca sisteminin frekansına eşitlenirse baca sisteminin genliği çok artar. Uygun damper sistemi tasarlanırsa genlik dalganın yatay S ve T noktalarındaki tanjantı ile sınırlandırılabilir. Genlik, statik genliğin üç katından fazlaya çıkmaz[4]. Bu oluşan salınımların ve gerilimlerin uygun bir ölçüde azaltılması ve sönümlenmenin artırılması olarak değerlendirilmelidir.

Sönümlenme sistemi olmadan maksimum S ve T genliğine sahip bacanın tek serbestlik dereceli sistemini değiştirmek için gerekli koşullar aşağıdaki gibidir. Şekil 3'te baca sisteminde baca frekansının  $f_{baca}$ , damper sisteminin de  $f_{damper}$  olduğu durumda aralarındaki rezonans frekansı:

$$\frac{f_{damper}}{f_{baca}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_1}{m_2}}} \quad (1)$$

olarak hesaplanır.

$$m_1 = \frac{\int_0^h m(z) \cdot Y^2(z) \cdot dz}{Y_{max}^2} \quad (2)$$

Damper sisteminin rijitliği:

$$k_2 = k_1 \cdot \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \quad (3)$$

Sönümlenme:

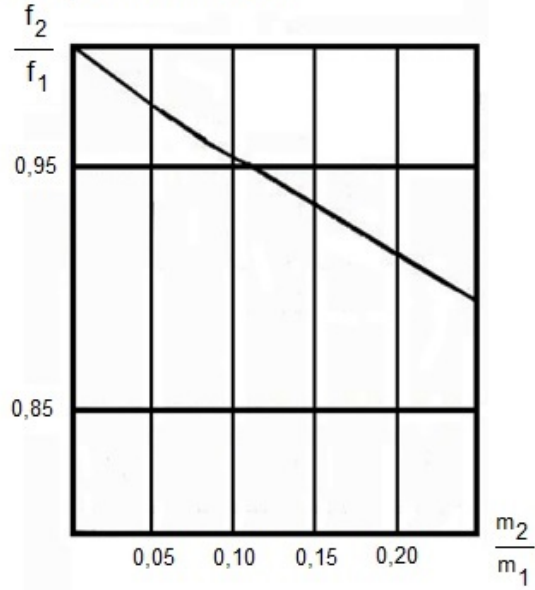
$$C_2 = \frac{C_{2cr}}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \sqrt{\frac{3m_2}{8m_1}} \quad (4)$$

$$C_{2cr} = 2 \cdot \sqrt{m_2 \cdot k_2} \quad (5)$$

$m_2$  damperin kütlesi ve  $k_2$  ise damperin rijitliğidir.  $C/C_{cr}$  ise damper oranıdır.

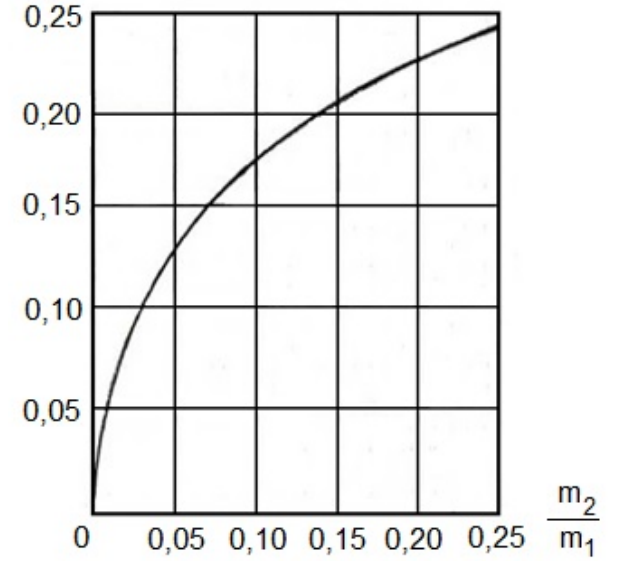
Frekans oranı

Damper / Baca Sistemi



Şekil.3- Damper frekansı

Damper oranı



Şekil.4- Damperlerde sönümlenme

Tek dereceli serbest dinamik sistemlerde damper sönümlenme oranı aşağıda açıklanmaktadır.

- Oran 1 ise, kütlenin yer değiştirdikten sonra hareketi bu konumu geçmeden ilk konumuna geri dönecektir.
- Oran 0 ise, sönümlenme olmayacaktır ve baca sistemi ilk konumundan hareket ederek diğer tarafa gider ve hareket devam edecektir.
- Tek serbestlik derecesindeki sistemlerde damper sönümlenme oranını belirlemenin en kolay yolu, Baca sisteminin ilk hareketinden itibaren oluşan salınımın %50 oranda azalınca kadar salınım sayısına  $n$  dersek, bu durumda sönümlenme oranı  $0.11/n$  'dir.

Kritik rüzgar hızı;

$$V_{kritik} = C_r \cdot f_d \quad (6)$$

$C_r = 5$ 'tir. ( $C_r$ , Strouhal sayısının tersidir.)

### 3. BACA SİSTEMİNİN HAREKETİ

Vorteks salınımı sırasında bacada oluşan genlik mutlaka hesaplanmalıdır. Strouhal Sayısı 0,2, maksimum genliği  $y$ ; bacanın rijitliği  $k$ , ağırlığı  $m$ , damper oranı  $C/C_{cr}$ , rezonans esnasında baca sisteminde oluşan kuvveti  $F$  olması durumunda bacanın en üst kısmında oluşan genlik aşağıdaki gibi hesaplanır: [7,9]

$$y = \frac{F}{\left(2.k.\frac{C}{C_r}\right)} \quad (7)$$

Bu esnada frekansı

$$F = \frac{1}{2.\pi} \sqrt{\frac{k}{\frac{m.h}{4}}} \quad (8)$$

Ve genliği ise;

$$\frac{y}{d} = \frac{8.C_L}{S_{CR}} \quad (9)$$

$$S_{CR} = \frac{4.\pi.\frac{C}{C_{cr}}}{\rho.d^2} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemde  $m$  baca yüksekliğinin üçte birine karşılık gelen birim ağırlıktır. Bacanın üst noktasında oluşan hız ise;

$$V = \omega.y = \frac{8,1.\pi.C_L.d_f}{S_{cr}.f_d} \quad (11)$$

Kritik rüzgar hızı, 5.  $f_d$  ile bulunur. Eğer Scruton sayısı 7'den büyükse bacanın salınımı artmaya başlar ve bacaya gelen yük artar. Scruton sayısı 15'ten büyük olması durumunda salınım çapın yüzde beşinden daha az olur ve sisteme etkisi yok denebilir[10]. Normal olarak damper sönümlenme oranı  $C/C_r$  yüzde 3'ten ve Scruton sayısı 15'ten büyük olmalıdır.

### 4. DAMPERLERİN ÖZELLİKLERİ

#### 4.1 Damperlerin boyutları

- Damper vorteksin oluşturduğu kuvvetini dengeleyecek bir karşı kuvvet oluşturmak zorundadır.

Kuvvet:

$$\frac{1}{2} \rho.V_c^2.C_L = \frac{1}{2} . 1,25.25. d^3 . \frac{h.\omega^2}{4.\pi^2} = 0,08. \omega^2 . d^3 . h \quad (12)$$

ile bulunabilir.

$$F_{Damper} = m.e.\omega^2 \quad (13)$$



Vorteksin oluşturduğu kuvvet dikkate alınırsa;

$$me = 0,08. d^3. h \quad (14)$$

olursa vorteks kuvveti dengelenebilir.

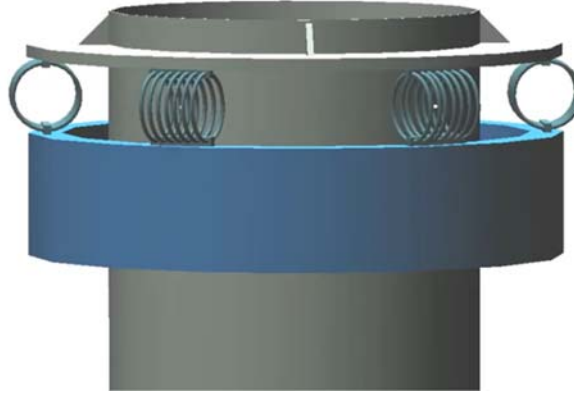
Burada; m damper kütlesi ve e ise eksantriklidir.

Kütlenin ağırlığı 0.08'e yakın olmalıysa, kütlenin (kg) değerinde

$$m \geq d^3. h \quad (15)$$

olmalıdır.

Uygulamada çeşitli tipte damperler mevcuttur. Genellikle çelik ve sıvı uygulamalar kullanılmaktadır. Sıvı uygulamalarda dikdörtgen kesitli kap içerisinde hareket eden sıvı, cidarlara çarpar ve vorteks kaynaklı harekete karşı bir kuvvet oluşturarak titreşimi engeller. Damperin kütlesi, damper bünyesinde kullanılan sıvı kütlesinden çok daha küçüktür, bu nedenle büyük bacalar için çelik kullanılacaktır. (50 m. yüksekliğinde 1.5 m. çapındaki baca sisteminde kullanılan damper kütlesi 169 kg'dır.) [5].



Şekil.5- Sıvı damper uygulaması.

Çelik malzemeden yapılmış bir damper bobini, bir kap içinde hareket eden sıvının frekansı, damper boyutuna bağlı olacaktır. Sıvı damper için kullanılan kabın uzunluğu ve genişliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L = \sqrt{\frac{g.h}{2.f}} \quad (16)$$

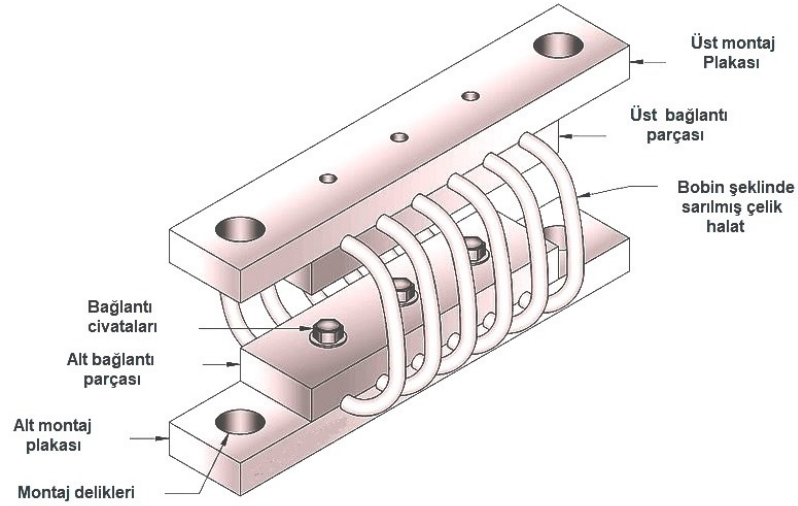
f: Frekans      g: yerçekimi ivmesi 9,81 m/s<sup>2</sup>

Baca sisteminde kullanılabilecek sarkaç damperin yarıçapı;

$$R = \frac{g}{(2.\pi.f)^2} \quad (17)$$

Sarkaç olarak çelik halatlar ya da hidrolik amortisörler kullanılabilir.

Bir baca sisteminde oluşan salınımların sönümlenmesi için çelik tel sarılarak suretiyle sistemde oluşan enerji giderilebilir (Şekil.6).



**Şekil.6-** Çelik malzemeden yapılmış bir damper bobini.

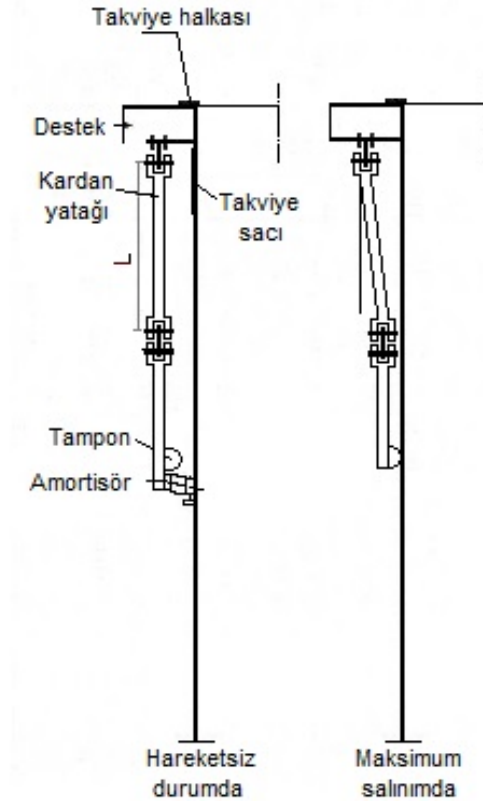
Damperlerin boyutları denklem (1) ve (2) ile belirlenir. Damper kütesinin bacanın toplam ağırlığına ilave edilerek sistemindeki titreşimin sönümlenmesinin hesaplanması gerekir. Oluşan titreşimlerin sönümlenmesi, iki serbestlik dereceli dinamik denge denklemleri ile çözümlenerek hesaplanabilir.

Büyük çaplı bir baca için damper seçilecekse süspansiyon özelliği olan amortisörlere sahip damperli baca ile sallanan kütle arasındaki hareketin sınırlandırılması gerekir. Bu baca sistemlerinde kullanılan amortisörler sadece 100 mm içeri ve dışarı veya özel bir kasa ile 150mm içeri ve dışarı hareket kabiliyetine sahiptir.

Büyük çaplı çelik bacalarda damper olarak çelik halkalı bobin, menteşeli ve asılan amortisör uygulamaları ile oluşan titreşimler kolaylıkla sönümlenebilir. Bu amortisörler 200-3000 Ns/m, 900-1400 Ns/m ve 400-5000 Ns/m sönümlenme değerlerinde üretilmektedir.

2, 3, 4 veya 6 amortisörden oluşan kombinasyon ile büyük çaplı baca sistemlerinde oluşabilecek titreşimin sönümlenmesi için çözüm mümkündür[5]. Amortisörlü damper uygulaması, Şekil 7'de gösterilmiştir.

Bacanın üst kısmına monte edilen damper kütesi baca sisteminin toplam kütesinin yaklaşık% 10'u kadardır.

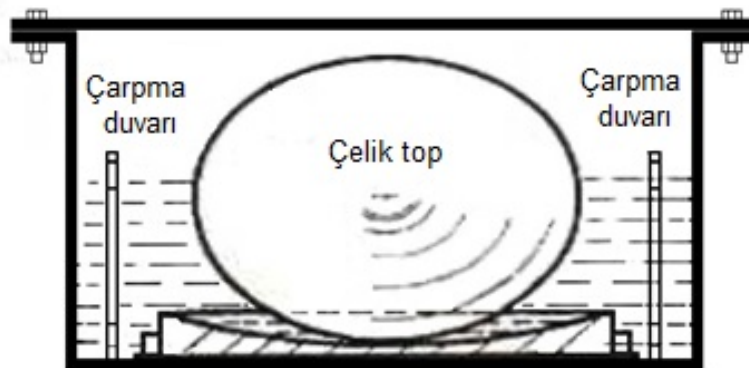


Şekil.7- Amortisörlü damper çalışma prensibi

## 5. DAMPER SİSTEMİ ÖRNEKLERİ

Aşağıdaki damper sistemleri en son tasarımlardır. Her sistemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

**Treatner Sistemi:** Sistem, değiştirilebilir çelik top, çelik top yatağı, silikon yağı, sönümlenme halkası (çarpma duvarı) ve çevresel etkilere karşı korunaklı dış kutudan oluşmaktadır.



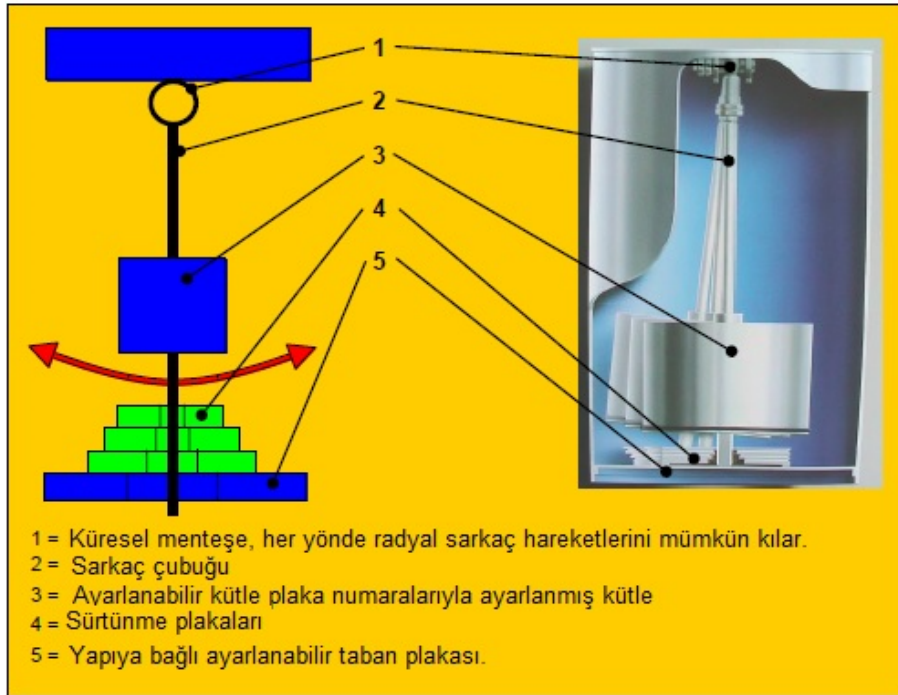
Şekil.8- Traetner Sistemi

**Hirsch Sistemi:** Bu sistem, çift eksenli sarkaç, halka şeklinde bir sarkaç ağırlığı, halka kütlesi ve yatak borusu arasına sarkaç hareketlerinin sönümlenmesi için yay bobinden oluşur.



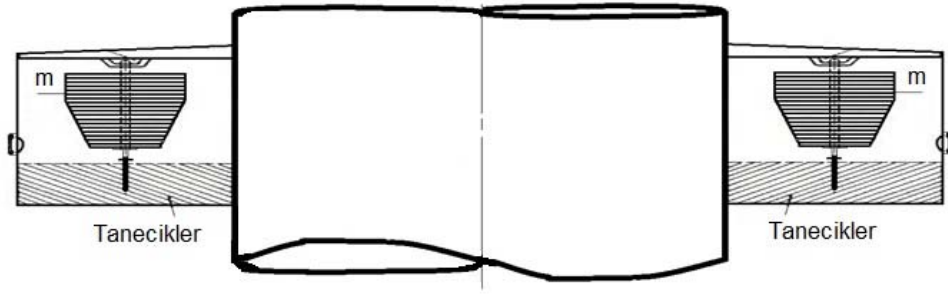
Şekil.9- Hirsch Sistemi

**Petersen Sistemi:** Bu sistem, çifte eksenli sarkaç bağlı süspansiyon ucunda sallanan kütle ve çelik sürtünme plakalarından oluşmaktadır.



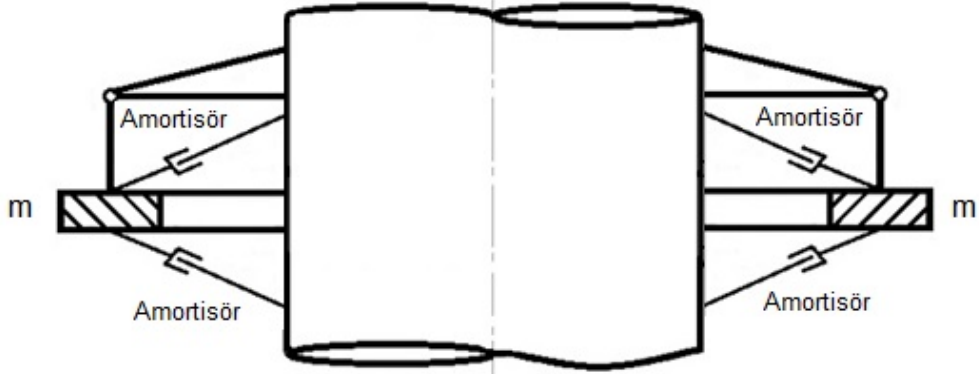
Şekil.10- Petersen Sistemi

**Langer Sistemi:** Bu sistem, çifte eksenli sarkaca bağlı sallanan kütleden oluşur. Kütlelerin sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri plastik tanecikler arasında sürtünerek sönmektedir.



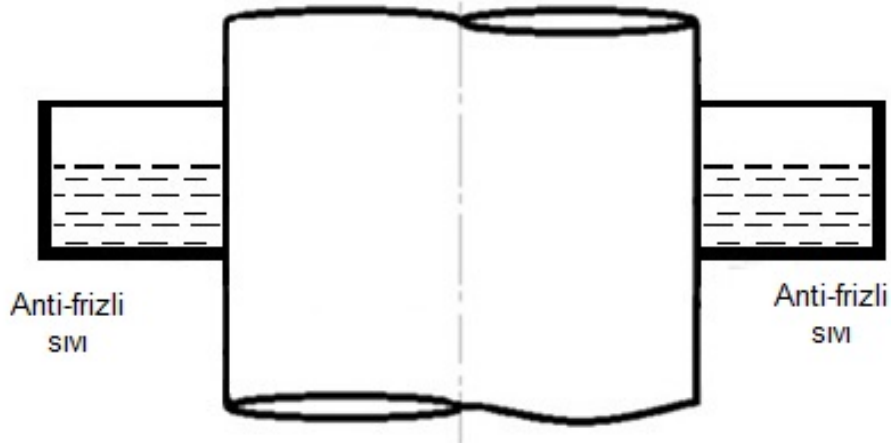
Şekil.11- Langer Sistemi

**Reutlinger Sistemi:** Bu sistemde çifte eksenli sarkaca bağlı sallanan kütlelerden oluşur. Kütlelerin sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri özel hidrolik amortisörlerle sönmülmektedir.



Şekil.12- Reutlinger Sistemi

**Verwiebe Sistemi:** Bu sistemde dairesel halka şeklinde kesit içerisinde belli bir yüksekliğe kadar dolduran anti-frizli sıvıdan oluşmaktadır.



Şekil.13- Verwiebe Sistemi

## 6. DAMPER SİSTEMLERİNİN YANLIŞ AYARLANMASI

Damperlerin optimal frekans ve sönümlenmeye ayarlanması her zaman mümkün değildir. Baca sisteminde oluşan frekansın sönümlenmesi değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle herhangi bir olumsuz etki oluşmaması için sönümlenme hesaplamalarının iyi yapılması önemlidir. Eğer damper rezonans frekansı optimal değerin yüzde 10 dışındaysa baca sisteminin sönümlenen frekans değeri yüzde 20 azalır. Kritik sönümlenmenin yapılabilmesi için gereken sönümlenme miktarı minimum yüzde 3'tür. Damper sistemindeki sönümlenme değeri, 0.1 ile 0.2 Hz değerine yakın olmalıdır. Eğer sönümlenmenin değeri bundan fazla ise baca sisteminde oluşan titreşim çok değişmemektedir. [10,12,13]

## SONUÇ

Rüzgar ve deprem kaynaklı titreşimlerinin sönümlenmesi için gereken minimum sönümlenme yüzde 3'tür [11]. Su ile yapılan damperlerin donmaya karşı korunmasına ihtiyaç durmaktadır. Uzun bacalarda lineer olmayan bobinler ya da hidrolik şok önleyiciler kullanılarak oluşan titreşimler sönümlenmebilir. Bacanın temelinde oluşan gerilim değişimlerinin düzenli test edilmesi önemlidir. Bu testler damperin uygunluğunu ve damper sisteminin etkisini ölçebilmemizi sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] SOLARI, G. – The role of analytical methods for evaluating the wind-induced response of structures, *Journal of Wind Engineering in Industrial Aerodynamics*, 90, 1453-1477, (2002).
- [2] B.N.PRITCHARD, (1984), "Steel chimney oscillations: a comparative study of their reported performance versus predictions using existing design techniques", *Engineering Structures*, vol.6, pp.315-323.
- [3] O.R.JAISWAL, VASALASRINIVAS, (2006), "Pendulum type tuned mass damper to control along and across wind response of tall chimneys", *Third National Conference on Wind Engineering*, N.Delhi, pp.162-171.
- [4] DEN HARTOG,(1985), "Mechanical Vibrations", Dover Publications: New York. ASHRAE Fundamentals
- [5] B.J.VICKERY, (Dec1983), "Simplified approaches to the evaluation of the across-wind response of chimneys", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol14, Issue1-3, pp.153-166.
- [6] M.ZDRAVKOVICH, (1981), "Review and classification of various aerodynamic and hydrodynamic means for suppressing vortex shedding", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol7, Issue2,pp.145-189.
- [7] IS:6533-1989(PartII), "Code of Practice for Design and Construction of Steel Chimney, Structural Aspect", Bureau of Indian Standards.
- [8] [www.mecaenterprises.com](http://www.mecaenterprises.com)
- [9] F. RICCIARDELLI, (2001), "On the amount of tuned mass to be added for reduction of the shedding induced response of chimneys", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.89(14-15), pp.1539-1551.
- [10] KLAUS K.KAEMMER, (2005), *The CICIND Chimney Book*, International Committee on Industrial Chimneys: Germany.
- [11] H.VAN KOTEN, *Calculation of Damping of Chimneys*, CICIND Report 17-1.
- [12] H. RUSCHEWEYH, GALEMANN T., (1996), "Full-scale measurement of wind-induced oscillations of chimneys", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol65, pp.55-62.
- [13] R.CIESIELSKI, A.FLAGA,J.KAWECKI, (1996), "Aerodynamic effects on an on-typical steel chimney 120 m high", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol65, pp.77-86.
- [14] M.J.KR.GUPTA, (July 2009), "Design of Vibration-Dampers for Steel Chimneys with Latest Features", *International Journal on Design and Manufacturing Technologies*, Vol.3, No.2.



## ÖZGEÇMİŞ

### Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından Yüksek Mühendis olarak mezun olmuştur. Aynı yıl Doktora programına başlamış ancak tez aşamasından doktora programını bırakmıştır. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi, 1998-2009 yılları arasında Universal Kazan firmasında 2009-2011 yılları arasında Emel Kazan firmasında çalışmıştır. 2013-2020 yılları arasında Bacader Genel Koordinatörü olarak görev yapmıştır. Halen MMO İstanbul Şubesinde Kazan ve Basıncılı Kaplar komisyon başkanlığı yapmaktadır. MMO İstanbul Şubesi bünyesinde yayınlanan “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sistemleri” kitabının altı bölümünün yazarı ve son üç baskısının da editörü, ISKAV bünyesinde yayınlanan “Endüstri Kazanları” kitabının bir bölümünün yazarı ve “Sıcak Su Kazanları” kitabının üç bölümün yazarı ve kitabın son baskısının editörüdür. İMSAD Yapı Malzemeleri Komisyonu ile birlikte “Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Rehber Kitap” ve Çevre Dostu Malzemeler Komisyonu ile “Sürdürülebilir İnşaat Malzemeleri Sözlüğü” çalışmalarına katkı sağlamıştır. Yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazıları bulunmaktadır.



# BACALAR ve KONTROL STANDARTLARI

*Chimneys And Control Standarts*

**Hakan Gür**

## ÖZET

Bu çalışmada, baca sistemlerinin mevzuatı, kontrol standartları ve muayene kuruluşlarının baca muayenelerinde kullanmış olduğu standart ve şartları açıklanmıştır. Ayrıca sonuç kısmında ülkemizde baca kontrol sistemi eksiklikleri de ele alınacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Baca sistemi, Kontrol Standartları, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Baca Standartları

## ABSTRACT

In this study, the legislation of chimney systems, control standards and conditions and standards used by inspection organizations in chimney inspections are explained. In addition, the deficiencies of the chimney control system in our country will be discussed in the conclusion section.

**Key Words:** Chimney System, Control Standarts, Building Materials Regulations, Chimney Standarts.

## 1. GİRİŞ

Baca sistemlerinin ürün belgelendirilmesi, piyasa arzı, piyasa gözetim denetimi, baca sistem tasarımı, baca montajı, monte edilen sistemlerin tasarım, montaj ve sızdırmazlık performansı değerlendirme faaliyetleri mevzuat ve standartlar tarafından açıklanmış ve uygulanmaktadır. Baca ürünleri yapı malzemeleri yönetmeliği şartlarına tabidir. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, Bacalarda temel gerekleri ve temel karakteristikleri, performans beyanı ve CE işaretlemesi, imalatçı, ithalatçı, dağıtıcı ve/veya yetkili temsilci yükümlülükleri, uyumlaştırılmış teknik şartnameler, basitleştirilmiş prosedürler ve piyasa gözetim ve denetime ilişkin zorunlu uygulama hususlarını açıklamaktadır.

Baca sistemlerinin tasarımı, montajı, devreye alma ve sonrasındaki kontroller faaliyetleri standartlar tarafından açıklanmaktadır. Ülkemizde bacalar ile ilgili bazı mevzuatlarda açıklamalara yer verilmektedir. Aşağıdaki mevzuatlar içerisinde bacaların nasıl yer bulunduğunu inceleyeceğiz. Bildirinin sonuç kısmında bacaların kontrolü ile ilgili değerlendirmede bulunacağım.

### A- ÜLKEMİZDE BACALAR İLE İLGİLİ MEVZUATLAR

1. Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun
2. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği 305/2011/AB
  - 2.1 Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Kapsamında Uygulanacak Uyumlaştırılmış Baca Standartları
3. CE İşareti Yönetmeliği
4. Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik
5. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
6. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği





7. Enerji piyasası düzenleme kurumu, doğalgaz piyasası iç tesisat yönetmeliği
8. Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği
9. Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
10. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
11. Belediye İtfaiye Yönetmeliği
12. Makine Tesisatı Genel Teknik Şartnamesi
13. Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi

## 1. Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun

Ürünlerin piyasaya arz koşullarını, üretici ve dağıtıcıların yükümlülüklerini, uygunluk değerlendirme kuruluşlarını, onaylanmış kuruluşları, piyasa gözetimi ve denetimini, ürünün piyasaya arzı/arzının yasaklanmasını, toplatılmasını, bertarafını ve bunlarla ilgili olarak yapılacak bildirimleri kapsamaktadır.

## 2. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB)

Bu Yönetmeliğin amacı, yapı malzemelerinin temel karakteristikleri ile ilgili performans beyanlarının ve malzemelere CE işaretinin iliştilmesinin kurallarını oluşturarak yapı malzemelerinin piyasaya arz edilmesi ve piyasada bulundurulması ile ilgili usul ve esasları belirlemektir.

### 2.1 Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Kapsamında Uygulanacak Uyumlaştırılmış Baca Standartları

1. TS EN 1457-1 Bacalar - Duman yolu astarlı kil/seramikten olan bacalar - Bölüm 1:Kuru şartlarda çalışan duman yolu astarlar - Gereklere ve deney yöntemleri
2. TS EN 1457-2 Bacalar - Duman yolu astarlı kil/seramikten olan bacalar - Bölüm 1: Islak şartlarda çalışan duman yolu astarlar - Gereklere ve deney yöntemleri
3. TS EN 1806 Bacalar - Tek sıra cidarlı bacalar için kil/ seramik bloklar / özellikler ve deney metotları
4. TS EN 1856-1 Bacalar - Metal bacalar için kurallar - Bölüm 1: Baca sistemi bileşenleri
5. TS EN 1856-2 Bacalar - Metal bacalar için kurallar – Bölüm 2: Metal astarlar ve bağlantı baca boruları
6. TS EN 1857 Bacalar - Bileşenler - Beton baca astarları
7. TS EN 1858 Bacalar - Bileşenler - Beton baca blokları
8. TS EN 12446 Bacalar - Bileşenler - Beton dış duvar elemanları
9. TS EN 13063-1+A1 Bacalar - Kil/seramik duman yolu astarlı sistem bacalar - Bölüm 1: Kurum tutuşmasına direnç için kurallar ve deney metotları
10. TS EN 13063-2+A1 Bacalar - Kil/seramik duman yolu astarlı sistem bacalar - Bölüm 2: Yaş şartlarda uygulanan kurallar ve deney metotları
11. TS EN 13063-3 Bacalar- Kil veya seramik duman yolu astarı olan sistem bacaları- Hava için özellikler ve deney metotları
12. TS EN 13069 Bacalar - Kil/seramik dış duvarlı sistem bacalar – Kurallar ve deney metotları
13. TS EN 13084-5 Bacalar - Serbest duran - Bölüm 5: Tuğla astarlar için malzeme - Mamul özellikleri
14. TS EN 13084-7 Bacalar-Serbest duran-Bölüm 7: Tek duvarlı çelik bacalar ve çelik astarlarda kullanılan silindirik çelik mamullerin teknik özellikleri
15. TS EN 13502 Bacalar - Kil / Seramik baca başlıkları için gereklere ve deney metotları
16. TS EN 14471 Bacalar - Sistem bacalar- Duman yolu plastik astarlı - Kurallar ve deney metotları
17. TS EN 14989-1 Bacalar - Metal bacalar ve malzemedan bağımsız sızdırmazlığı sağlanmış ısıtma uygulamaları için kurallar ve deney metotları - C6 tipi cihazlar için düşey hava/duman terminalleri



18. TS EN 14989-2 Bacalar - Metal bacalar ve malzemeden bağımsız sızdırmazlığı sağlanmış ısıtma uygulamaları için kurallar ve deney metotları - Bölüm 2: Sızdırmazlığı sağlanmış uygulamalar için borular ve hava temin kanalları

### 3. CE İşareti Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; ürüne “CE” işareti konulması yöntemlerini düzenleyen uygunluk değerlendirme modülleri ile bu işaretin kullanılmasına dair usûl ve esasları belirlemektir.

Bu Yönetmelik kapsamında yer aldığı halde, bir uygunluk değerlendirme modülü veya AT Uygunluk Beyanı öngörmeyen bir teknik düzenlemenin varlığı hâlinde söz konusu teknik düzenlemenin hükümleri esas alınır.

### 4. Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı; “G” işareti iliştirilerek piyasaya arzına izin verilen yapı malzemelerinin sağlaması gereken özellikler ile ulusal ve Avrupa Birliği mevzuatına göre piyasaya arz edilen yapı malzemelerinin yapılarda kullanım amacına uygunluğuna karar verilebilmesi için sağlaması gereken kriterleri belirlemektir.

### 5. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik

Kamu kurum ve kuruluşları, özel kuruluşlar ve gerçek kişilerce kullanılan her türlü yapı, bina, tesis ve işletmenin, tasarımı, yapımı, işletimi, bakımı ve kullanımı safhalarında çıkabilecek yangınların en aza indirilmesini ve herhangi bir şekilde çıkabilecek yangının can ve mal kaybını en aza indirerek söndürülmesini sağlamak üzere, yangın öncesinde ve sırasında alınacak tedbirlerin, organizasyonun, eğitimin ve denetimin usul ve esaslarını belirlemektir.

### 6. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir.

- Merkezi ısıtma sistemine sahip binalardaki ısıtma sistemi bacası kesit alanı ve yüksekliği; atık gaz kütlesi, atık gaz sıcaklığı ve gerekli atık gaz basıncına göre TS 11389 EN 13384-1, TS 11388 EN 13384-2 standartlarındaki metotlara uygun olarak hesaplanarak bulunur. Hermetik veya yarı hermetik doğalgazlı cihazlarda, üretici firma sistem sertifikasyonlarındaki değerler esas alınır.
- Sıvı, gaz ve katı yakıtlı merkezi ısıtma sistemlerinde her işletme döneminin başlangıcında ve yılda en az bir kez olmak üzere baca gazı analizi ve sistem bakımı yaptırılır. Sistem performansını da ihtiva eden bir rapor hazırlanarak gerektiğinde ilgili mercilere sunulmak üzere saklanır.
- Merkezi ısıtma sistemlerinde, baca gazı sıcaklığının işletmeci veya yönetici tarafından izlenebilmesi için kalibrasyonu yapılmış baca gazı termometresi kullanılır.
- Kazanlarda, biri işletme döneminin başlangıcında, diğeri ortasında olmak üzere yılda en az iki kez baca gazı analizi, bir kez de sistem bakımı yaptırılır, sistem performansının kontrolü yapılarak raporlanır.

### 7. Enerji piyasası düzenleme kurumu, doğalgaz piyasası iç tesisat yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; doğal gazın tüketimine yönelik olarak bina veya arsa içine yerleştirilecek her türlü doğal gaz cihazlarının ve ilgili tesisatın, ulusal ve/veya uluslararası standartlara göre tesis ve kontrol edilmesine ilişkin usul ve esasların belirlenmesidir.

İç tesisatın tasarımı, yapımı, yerleştirilmesi, kontrolü, işletmeye alınması ve işletilmesi ile ilgili olarak TS, EN, ISO, IEC standartlarından herhangi birine, bu standartlarda yoksa, TSE tarafından kabul gören diğer standartlara uyulması zorunludur. Standartlarda değişiklik olması halinde; değişiklik getiren standart, uygulanan standardın iptal edilmesi veya yürürlükten kaldırılması halinde ise yeni standart geçerli olur. İç tesisatta, standart belgesine sahip olmayan malzeme kullanılamaz. İç tesisatta



meydana gelebilecek gaz kaçak veya kazalarına karşı alınacak önlemler hususunda da anılan standartlar geçerlidir.

### 8. Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; plan, fen, sağlık ve sürdürülebilir çevre şartlarına uygun yapı ve yapılaşma ile projelendirmeye ve denetime ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

- Kaloriferli binaların konut olarak kullanılan bağımsız bölümlerinin oturma ve yatma hacimlerinin en az birinde ve sıcak su tesisatı bulunmayan banyo ve mutfaklarında, sobalı binalarda ise tuvalet ve koridor hariç tüm piyeslerde **duman bacası** yapılması zorunludur.
- Kaloriferli umumi binaların her katında **en az bir adet duman bacası** yapılması gereklidir.
- Konut olarak kullanılan sobalı binaların ticari kullanımlı bağımsız bölümlerinde birer adet **duman bacası yapılması** zorunludur.
- Bacaların **TSE standartlarına uygun olarak yapılması** zorunludur.
- Yapılarda bina yüksekliğine göre **uygun ölçülerde şönt baca** yapılabilir.
- Sınırları ilgili idare tarafından belirlenecek doğalgaz uygulama bölgeleri içinde inşa edilecek, iskân edilebilir bodrum katlar dâhil 5 katlı binaların mutfaklarında, doğalgazla çalışan her cihaz için bir **müstakil baca** yapılır.
- Isıtmada denge bacalı sistemde olmayan doğalgaz sobalarının kullanılması halinde, her sobanın bu maddede belirlenen esaslara göre düzenlenen **ayrı bir bacaya bağlanması** gerekir.

### 9. Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; konut, toplu konut, kooperatif, site, okul, üniversite, hastane, resmi daireler, işyerleri, sosyal dinlenme tesisleri, sanayide ve benzeri yerlerde ısınma amaçlı kullanılan yakma tesislerinden kaynaklanan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halinde dış havaya atılan kirlenmelerin hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve denetlemektir.

### 10. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı, sanayi ve enerji üretim tesislerinin faaliyeti sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumaya; hava kirlenmeleri sebebiyle çevrede ortaya çıkan umuma ve komşuluk münasebetlerine önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermeye ve bu etkilerin ortaya çıkmasını engellemeye ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

### 11. Belediye İtfaiye Yönetmeliği

Bu Yönetmeliğin amacı; belediye itfaiye teşkilâtının kuruluş, görev, yetki ve sorumluluklarını, itfaiye memurlarının niteliklerini, görevde yükselme ve mesleki eğitimlerini, kıyafetlerini, kullanacakları araç, teçhizat ve malzeme ile denetim usul ve esaslarını düzenlemektir.

Belediye sınırları içinde bacaları belediye meclisince tespit edilecek ücret karşılığında temizlemek veya temizlettirmek ve bacaları yangına karşı önlemler yönünden denetlemek.

### 12. Makine Tesisatı Genel Teknik Şartnamesi

Bu Şartname, özel ve tüzel kişiler ile kamu kuruluşlarına ait mevcut ve yeni yapılacak tüm yapıların makina tesisatının mevzuata uygun olarak tasarımı, kullanılacak malzeme ve mamulün genel teknik özelliklerini, ilgili cihazların teminini, montajını ve işletmeye alımıyla ilgili teknik esasları kapsamaktır

Dokümanda ısı merkezi bacaları standartları ve içeriği hakkında bilgiler verilmektedir.

Ayrıca, Binalardaki **soba**, ocak, **şofben**, termosifon, **kalorifer gibi ateş üniteleri bacaları; standardındaki tavsiyelere göre projelendirilmesi kaydıyla, dolu tuğla, baca tuğlası**, baca hazır beton blokları ve büz gibi **çeşitli malzemelerle** bodrumdan çatı döşemesi seviyesine kadar duvarla birlikte örülür. Delikler arası ve delik cidarı en az **yarım tuğla olacak ve gaz kaçağı oluşmaması** için

baca delikleri arasında ve cidarda **boşluk-aralık-delik** irtibatı bırakılmayacaktır. Baca iç yüzeyi temiz ve düzgün şekilde yapılacak, daracık baca deliği içinde harçlama ile düzgünleştirme yapılmayacaktır. Her bacaya ait ateş ünitesi bağlantı deliği ve temizleme deliği bırakılacaktır. Çatı arası ve üstünde baca cidar kalınlığı bir tuğla boyuna denk olmalı ve dolu tuğla ile yapılmalıdır.

### 13. Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi

Isınmada kullanacak yakıtların yanma verimini arttırmak ve buna paralel olarak yakıt tüketimi ve bacadan atılan kirlenici emisyonlarının azaltımını sağlamak için kış gelmeden önce soba ve kalorifer kazanları ile bacalarının periyodik temizlenmesi, kalorifer tesisatlarının izole edilerek ısı kayıplarının önlenmesi, tüm ısıtma tesisatının bakımı ve temizliğinin gereği gibi yapılması, kazan dairelerinin yeterince havalandırılması ve işletme talimatlarına uygun olarak işletilmesi, soba ve kalorifer kazanlarında kabul edilen standartlara uygunluğun aranması, kalorifer kazanlarının tekniğine uygun yakılması, kazan bakımı işlerinde çalışacaklar için "Yetkili Kalorifer Ateşçisi Kursları" düzenlenmesinin sağlanması için il çevre ve orman müdürlükleri, Belediyeler ve Gönüllü Kuruluşların iş birliği ile eğitim programları düzenlenmesi ve halkın bilgilendirilmesinin sağlanması önem arz etmektedir.

### B- MUAYENE KURULUŞLARI BACA KONTROL FAALİYETLERİ

Özellikle doğalgaz sektöründe baca kontrol faaliyetleri, TÜRK AKREDİTASYON KURUMU tarafından akredite edilmiş muayene kuruluşları tarafından yapılmaktadır. Akredite muayene kuruluşları, TS EN ISO/IEC 17020 standardına göre yetkilendirilmiş, belgelendirilmiş ve A Tipi Muayene Kuruluşu olmalıdır.

Baca muayene alanındaki faaliyetler aşağıdaki hususları kapsamaktadır.

1. Baca Proje Uygunluk Kontrolü ve Raporu
2. Baca Montaj Uygunluk Kontrolü ve Raporu
3. Baca Sızdırmazlık Testi Uygunluk Kontrolü ve Raporu
4. Baca Periyodik Kontrol Faaliyeti ve Raporu

Muayene kuruluşları tarafından oluşturulan raporlar bir değerlendirme sonucu içermektedir. Değerlendirme sonucu olumlu veya olumsuz olsa dahi rapor oluşturularak sisteme ait değerlendirme raporu yayınlanmalıdır.

### Bacalar Muayene Alanı Kapsam Tablosu

Muayene Alanı	Muayene Türü	Standart / Şartname
BACALAR	Proje ve Montaj Uygunluk Muayenesi	TS EN 13384-1+A1 TS EN 13384-2+A1 TS EN 15287-1+A1 TS EN 15287-2 TS 7363
	Periyodik Kontrol	TS EN 13384-1+A1 TS EN 13384-2+A1 TS EN 15287-1+A1 TS EN 15287-2 TS 7363
	Sızdırmazlık Testi	TS EN 15287-1+A1 TS EN 15287-2 TS 7363

Tablo 1



### Kapsam standartları açıklaması

1. TS EN 13384-1+A1 Bacalar- Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları- Bölüm 1: Tek ısıtma tertibatına bağlı bacalar
2. TS EN 13384-2+A1 Bacalar – Isı ve akışkan dinamiği hesaplama metotları – Bölüm 2: Birden çok ısıtma tertibatına bağlı bacalar
3. TS EN 15287-1+A1 Bacalar- Bacaların tasarımı, montajı ve hizmete alınması- Bölüm 1: Oda ile bütünleşik olmayan ısıtma cihazları için bacalar
4. TS EN 15287-2 Bacalar- Bacaların tasarımı, montajı ve hizmete alınması- Bölüm 2: Oda ile bütünleşik olan cihazları için bacalar
5. TS 7363 Doğal Gaz- Bina İç Tesisatı Projelendirme ve Uygulama Kuralları

Not:

TS EN 15287-1 bu standart, TS EN 13084-1’de yer alan serbest duran bacalara uygulanmaz.

H tasarımlı (yüksek pozitif basınçlı bacalar) bacalar ve oda ile bütünleşik cihazlar için bacalar bu standart kapsamında yer almazlar.

### Muayene Faaliyetinin Amacı;

- Baca proje hesap değerlendirilmesi ve uygunluk veya uygunsuzluk durumunun raporlanması
- Sızdırmazlık testi değerlendirilmesi ve uygunluk veya uygunsuzluk durumunun raporlanması
- Baca montaj uygunluk değerlendirilmesi ve uygunluk veya uygunsuzluk durumunun raporlanması
- Baca periyodik kontrol değerlendirilmesi ve uygunluk veya uygunsuzluk durumunun raporlanması (Baca periyodik kontrol faaliyeti; baca hesap değerlendirmesi ve raporu, periyodik kontrol değerlendirmesi ve raporu ayrıca, talep edilmiş ise sızdırmazlık değerlendirilmesi ve raporunu kapsar)

Not: Muayene Kuruluşları Akreditasyon Standardı Gereği, Değerlendirme Sonucu Uygunsuz Olması Durumunda Dahi Rapor Oluşturmak Zorundadır!

TS EN 13084-7 standardı kapsamında yer alan yakıcı cihaz bacaları ile ilgili baca çekiş hesabı ve montaj uygunluk kontrolü faaliyeti yürütülebilir.

Fan ile çekiş gerçekleştiren, davlumbaz ve/veya açık yanmalı proseslerde/yakıcılarda baca proje kontrolü (baca çekiş hesabı) bu doküman kapsamında yer almazlar.

### SONUÇ

Mevzuatlarda bacalar ile ilgili birçok hususun açıklandığı görülmektedir. Ancak, baca sistemlerinin ilk kontrolünden periyodik kontrole kadar ki süreçlerin ve kontrol mekanizmasının sistematüğının oluşturulmadığını görmekteyiz.

Atık gaz üreten küçük, orta ve büyük güçteki katı, sıvı ve gaz yakıcı cihazların üretmiş olduğu atık gazın insan sağlığına, çevreye ve diğer canlılara en az etki eden şartları sağlayacak atık gaz sistemlerinin tasarlanması, kurulması ve sonrasındaki muayene faaliyetlerini, muayene sonrasında işletilmesi, bakımı ile birlikte periyodik kontrol sıklıklarının belirlenmesi ve bu doğrultuda yapılan çalışmaların ilk kontrolü ve halen faal durumda bulunan bacaların periyodik kontrolü ile bu kontrollerin yapılması, bacaların ve/veya bağlantı parçalarının piyasaya arzı sürecinde gerekli belgeleri, bu belgelere sahip baca ve/veya atık gaz bağlantı parçalarının montajının yapılması, devreye alınması ile yapılması gereken bakım ve periyodik kontrolleri ve mevcut baca kontrolleri ile bu kontrollerin sıklıklarına ilişkin usul ve esaslar ile bacanın devreye alınması ve/veya periyodik kontrollerinde görev alacak olan A tipi muayene kuruluşlarının yetkilendirilmesi, yükümlülükleri, denetimleri ve bakım ve



temizlik firmalarına ilişkin usul ve esasların tanımlandığı **BACA YÖNETMELİĞİ'NE** ihtiyaç duyulmaktadır.

Baca yönetmeliği ile ülkemizde uzun yıllardır uygulanmakta olan bacalar için yeni bir yaklaşım getirilmesi zorunluluk olmaktadır. Yeni yaklaşım sistematığı ile can ve mal emniyeti güvenliği sağlanmış olacaktır. Örnek olarak, Eskişehir ilinde ESGAZ Gaz dağıtım kuruluşu bölgesini verebiliriz. Baca kontrol süreçleri için gerçekleştirmiş oldukları yeni yaklaşım ile can ve mal emniyeti açısından kazanımlar elde edilmiştir. Mekanik tesisat projelerinde baca tasarımı ve projelendirmesi için baca kontrol personeli seviye 4 MYK sertifikalı personel ile birlikte hareket edilmelidir. Baca yönetmeliği için, sektör paydaşlarının konu ile ilgili yakından ilgilenmesi ve nihayete erdirmesi ülkemiz menfaatleri açısından öncelik arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Ürünlere İlişkin Teknik Mevzuatın Hazırlanması ve Uygulanmasına Dair Kanun
2. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği 305/2011/AB
3. CE İşareti Yönetmeliği
4. Yapı Malzemelerinin Tabi Olacağı Kriterler Hakkında Yönetmelik
5. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
6. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
7. Enerji piyasası düzenleme kurumu, doğalgaz piyasası iç tesisat yönetmeliği
8. Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliği
9. Isınmadan Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
10. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
11. Belediye İtfaiye Yönetmeliği
12. Makine Tesisatı Genel Teknik Şartnamesi
13. Hava Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesi Genelgesi
14. TS EN 13384-1+A1 Bacalar
15. TS EN 13384-2+A1 Bacalar
16. TS EN 15287-1+A1 Bacalar
17. TS EN 15287-2 Bacalar
18. TS 7363 Doğal Gaz- Bina İç Tesisatı Projelendirme ve Uygulama Kuralları

## ÖZGEÇMİŞ

### Hakan GÜR

1979 yılı İstanbul doğumludur. 18 yıldır baca sektöründe çalışmaktadır.

Konut ve benzeri yapılar için prefabrik hazır baca bileşenleri tasarımı, üretimi ve montaj faaliyetleri. Endüstri tesisleri için kendi kendini taşıyan, konstrüksiyonlu, kısmi taşıyıcılı baca sistemleri tasarımı, yüksek basınç ve ısı şartlarında çalışan baca sistemleri projelendirmesi, üretimi ve montaj faaliyetleri. Konut ve endüstriyel tesis bacaları için fabrika üretim kontrol sürecinin oluşturulması, Teknik dosya oluşturma, Tasarım kriterleri belirleme, Test deney stant tasarımı ve üretimi, Test deney performans ölçütleri belirleme, Test ve deney işlemlerinin yapılması, Performans beyanları hazırlama, Standarda uygunluk kontrolleri, Baca sistemlerinin Standard çerçevesinden kontrolü, üretimi ve piyasaya arzı faaliyetlerinde bulunmuştur.



Ayrıca, Yapı Malzemeleri Yönetmeliği, TS EN ISO/IEC 17065, TS EN ISO/IEC 17020 ve TS EN ISO/IEC 17024 Standardı alanlarında Denetçi ve Teknik Uzman, ISO 9001 Standardı Denetçi ve Baş Denetçi, Baca montaj personeli (S3) ve Baca Kontrol Personeli (S4) Eğitmeni, Bacacı Eğitmeni, Baca gazı analizi ve yanma verimliliği alanlarında uzmanlıkları bulunmaktadır.



# BİNALARDA YANGIN GÜVENLİĞİ VE YANGIN DAMPERLERİ

*Fire Safety in Buildings and Fire Dampers*

**Arda Savtak**  
**Rasim Tokgöz**  
**Seçkin Tuncer Erdoğan**

## ÖZET

Modern hayatta binalarda yangın çıkma ihtimali her zaman vardır. Bu yüzden tesisat mühendisliğinde insan sağlığı söz konusu olduğundan binalarda yangın çıkma durumuna yangından minimum hasarla kurtulabilmek için yangın damperleri geliştirilmiştir.

Yangın damperlerinin görevi yangın ortamını diğer ortamlardan izole etmektir. Bunun için yangın dayanımı yüksek malzemelerden üretilirler. Yangın damperlerinin EN veya UL sertifikasyonlarına haiz olması bina için önemli bir güvencedir.

Bu çalışmada ilk olarak yangının evreleri proaktif bir yaklaşımla incelenmiş, olası bir yangın durumunda alınacak maddi ve manevi hasarlara değinilmiş, buna önlem olacak çözüm yöntemleri araştırılmış, sonrasında yangın damperlerinin incelenmesine geçilmiştir. Yangın damperlerinin bina içinde en verimli konumlandırma noktaları anlatılmıştır. Yangın damperi EN ve UL sertifikasyonları için yapılması gereken testlerden bahsedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler;** Yangın, yangın damperi, yangın damperi standartları.

## ABSTRACT

In modern life, there is always a possibility of fire in buildings. Therefore, since human health is a matter in the plumbing engineering, fire dampers have been developed in order to avoid fire in buildings with minimum damage.

The fire dampers are responsible for isolating the fire environment from other environments. To achieve this, they are produced from high fire-resistant materials. It is an important assurance for the building that fire dampers have EN or UL certifications.

In this study, firstly, the phases of the fire were examined with a proactive approach, the material and moral damages to be taken in case of a possible fire were mentioned, the solution methods to prevent this were investigated, and then the fire dampers were examined. The most efficient positioning points of fire dampers in the building are described. Tests to be done for fire damper EN and UL certifications are mentioned.

**Key words;** Fire, fire dampers, fire damper standards



## 1. GİRİŞ

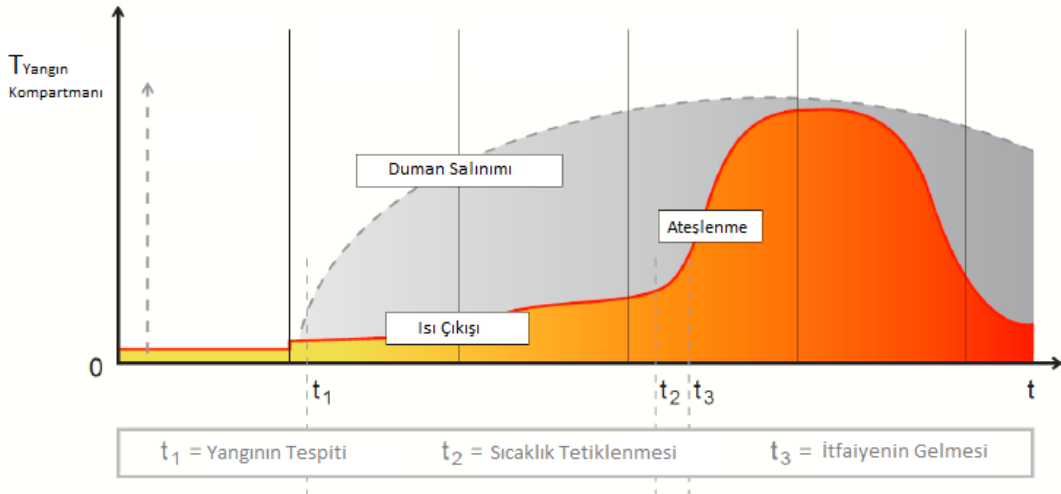
Yanma tepkimesi yanıcı maddelerin oksijenle uygun tepkime koşullarında oluşmaktadır. Yanma tepkimesi ısı ve duman ortaya yangın meydana gelir.

Yangının 3 evresi vardır. İlk evreden itibaren ortaya çıkan zehirli gazlar canlıların ölümüne yol açmaktadır. Helyum, Neon, Argon, Kripton, Xenon gibi insan vücudundaki oksijeni yok eden gazlar, Hidroklorik Asit (HCl), Nitrik Asit (HNO<sub>3</sub>), Formik Asit (HCOOH), Asetik Asit (CH<sub>3</sub>COOH), Propiyonik Asit (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH), Klor (Cl<sub>2</sub>) gibi solunum yollarına ciddi zarar veren gazlar ve kanı zehirleyip sinir sistemine ciddi zarar veren HCN, CO, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub> gibi gazlardan korunmak çok önemlidir. [1]

Yangı en az zararla atlatabilmek için yapılarda yangın ve duman damperi kullanılır. Doğru şekilde projeye eklenmiş olan sertifikalı yangın ve duman damperleri ile binalardaki yangın güvenliği sağlanmaktadır.

## 2. YANGIN EVRELERİNE PROAKTİF YAKLAŞIM

Yangın evreleri zamana bağlı olarak 3 evrede aşağıdaki şekilde incelenebilir.



Şekil 1. Yangın Evreleri[2].

Yangını başlamadan engelleyebilmek için bina mahallerinde 3 konuya dikkat edilmelidir:

- Yemek bölümü,
- Yakılarak kullanılan araç ve gereçler,
- Elektrik teçhizatı

Yangının ilk evresinde yangının tespiti yer almaktadır. Yangın tespiti anında yangın kompartımanlarındaki insanlar ve hayvanlar binanın acil çıkış planını takip ederek binayı boşaltmalıdır. Eğitilmiş personeller tarafından yangın söndürme cihazları kullanılır. Yangın dedektörleri kompartımandaki yangının ilk evresinden son evresine kadar etkin şekilde yangını takip etmelidir. Yangının ateşlenme evresine kadar soğuk duman tahliyesi adı verilen mahaldeki havalandırma miktarını arttıran ve dumanın tahliyesini sağlayan sistemler devreye sokulmalıdır. Bu sayede dumanın kontrolü sağlanmış olur.

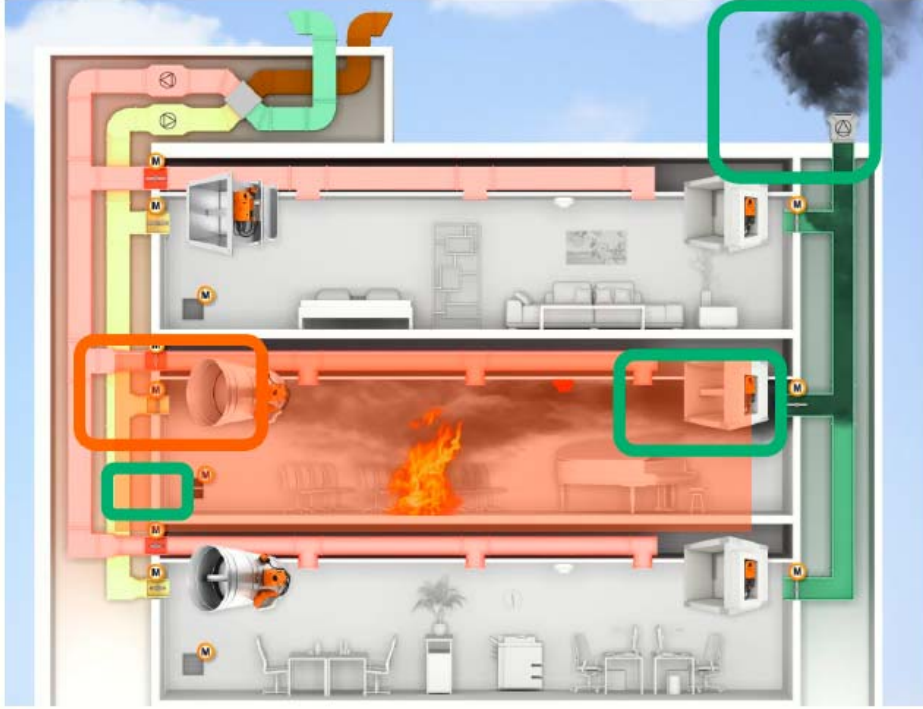
Duman kontrolünün faydaları:

- Yangının ilk evresinde yapılan tahliyeye destek olur.
- Mahali soğutarak yangının ateşlenme evresini geciktirir.
- Mahaldeki termal etkiden dolayı oluşacak maddi zararı azaltır.

Duman kontrolünün önemi:

- Yangın esnasında can kaybının en büyük nedeni dumanı solumaktır. Yangın dumanı olan ortamda 5 defa soluk alıp verme can kaybı için yeterlidir. Bu yüzden insanlar ve hayvanlar için yangın esnasında duman solumasına izin verilmeyecek şekilde mahalın teknik tasarımı yapılmalıdır.

Yangın Duman kontrolüne örnek görseller ve örnek bir şema aşağıda verilmiştir:



Şekil 2. Yangın ve Duman Kontrolü[9].

Görselde kırmızı olan kısımlarda yangın damperi kullanılır. Bu sayede mahal ve havalandırma kanalındaki hava bağlantısı yangın esnasında kesilmiş olur. Yeşil kısımdaysa duman tahliyesi yapılmaktadır. Böylelikle havanın sadece duman tahliye kanalına yönlendirilmesi sağlanmış olur.

Duman tahliyesinde havanın yönlendirilmesi için ek duman kontrol fanları kullanılabilir veya bina havalandırma yönleri kaçıya uygun olarak tasarlanabilir. Aşağıda mobil fan donanımı görülmektedir.

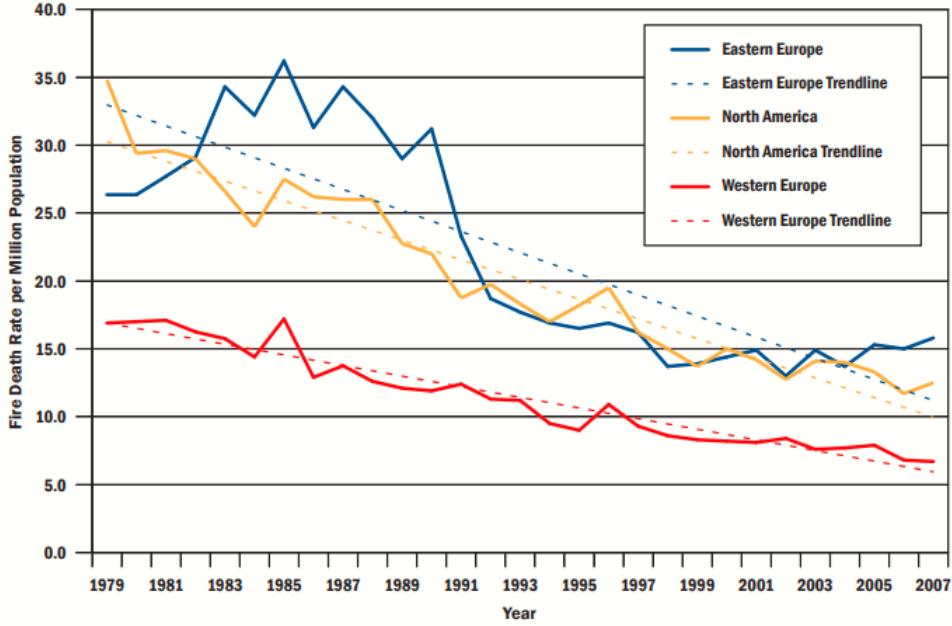


Şekil 3. Mobil fan donanımı ile kontrol[fire safety in buildings].

Yangının ikinci evresinden itfaiye gelene kadar yangın sürekli olarak büyüme eğilimindedir ve ateşlenme (flash-over) olarak adlandırılır. Bu evreye yangın başlangıcından itibaren 3 dakikadan kısa bir sürede gelmektedir. Bu noktadan sonra soğuk duman kontrolü yapılması uygun değildir. Yangını yangın kompartımanında tutabilmek için yangın perdeleri veya yangın damperleri kullanılır. Yangın perdeleri ve damperleri yangını itfaiye gelene kadar kompartımanında tutmaya yardımcı olur. Yangını yangın kompartımanında tutarken söndürebilmek için yangın söndürücü fiske sistemleri kullanılabilir. İtfaiyenin gelmesiyle yangın kontrol altına alınır ve söndürülür.

### 3. YANGININ MADDİ VE MANEVİ ZARAR İSTATİSTİKLERİ

Aşağıdaki şekilde yangın durumunda oluşan can kayıpları görülmektedir. Yapılarda uygulanan yangın standartları sayesinde bu oranın yıllara bağlı olarak düştüğü açıktır.

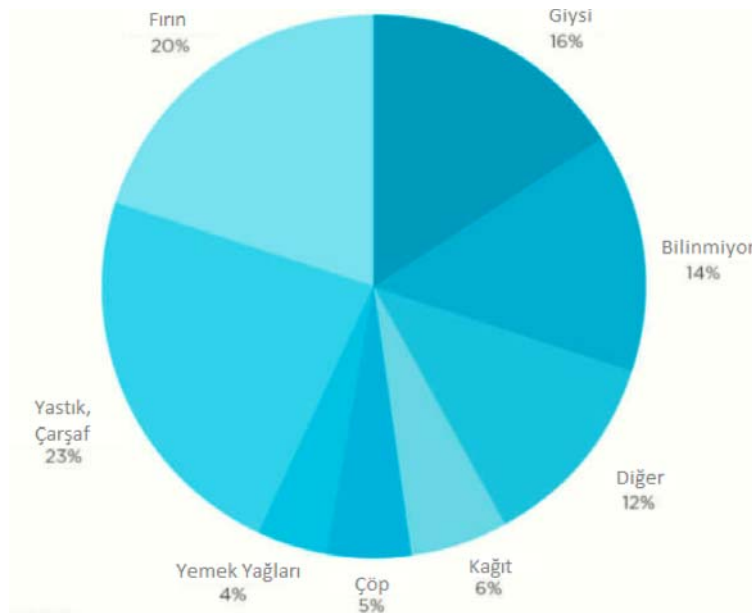


Şekil 4. Bölgelere Göre Milyon Nüfus Başına Yangın Ölüm Oranlarındaki Eğilimler, 1979–2007 [9].

Amerika'da Ulusal Yangından Korunma Derneği'nin (NFPA) 2019'daki yangın oranlarına ilişkin en son istatistiklerinden bazıları şunlardır:

Yangınlarda 12,3 milyar dolarlık maddi hasar meydana geldi. Sivil yangın ölümlerinin% 80'i yapı yangınlarından kaynaklandı. Yangına bağlı ölümlerin% 65'ini bir ve iki aileli evler oluşturuyordu. Apartman yangınları, yangına bağlı kazazedelerin% 10'unu oluşturdu. İtfaiye her 65 saniyede bir yapı yangına çağırıldı.

2009 yılında Hollanda için yapılan bir çalışmada konutlarda ilk yanan malzemelerin oranı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5. Konut yangınlarında yanan ilk malzemeler [7].

#### 4. YANGIN DAMPERLERİ



Şekil 6. Yangın damperleri

Yangın damperlerinin temel olarak iki kullanım amacı vardır. Birincisi yapıyı korumak, ikincisiyse yangın ve dumanın bina içerisine yayılmasını önlemektir. Zonlama, yani binadaki mahalleri kompartımanlara ayırmak temel işlevidir. Zonlama sayesinde binada yangın çıkmamış bölümlerde can ve mal kaybı gerçekleşme ihtimali düşer. İtfaiye gelene kadar yangını kompartımanda kontrol altında tutar. Eğer binada sprinkler sistemi varsa çalışmasına yardımcı olur.

Yangın damperleri yangına bağlı herhangi bir acil durum olmadıkça açık konumdadır. Motorlu veya sigortalı olarak kapatma mekanizma seçenekleri bulunur.

Dairesel veya prizmatik şekilleri vardır. Tesisat sistemlerinde geniş çaplı kullanım yerleri vardır. Örneğin:

- Çok katlı iş binaları, rezidanslar, karışık kullanımlı binalar
- Hastaneler, sağlık merkezler, Üniversite Binaları
- Oteller
- Otoparklar, kapalı otoparklar için özel fanlar ve sistemler
- Alışveriş merkezleri
- Müzeler
- Endüstriyel Binalar, Depolar
- Metro ve Tüneller

Gibi tesisat sistemlerine sahip olan yapılarda kullanılır.

##### 4.1. Yangın Damperinin Özellikleri

Yangın damperleri monte edildiği yerde normal çalışma koşullarında kanatları açık konumdadır. Yangın esnasında kapanır. Bu özelliği 2 şekilde sağlanabilir:

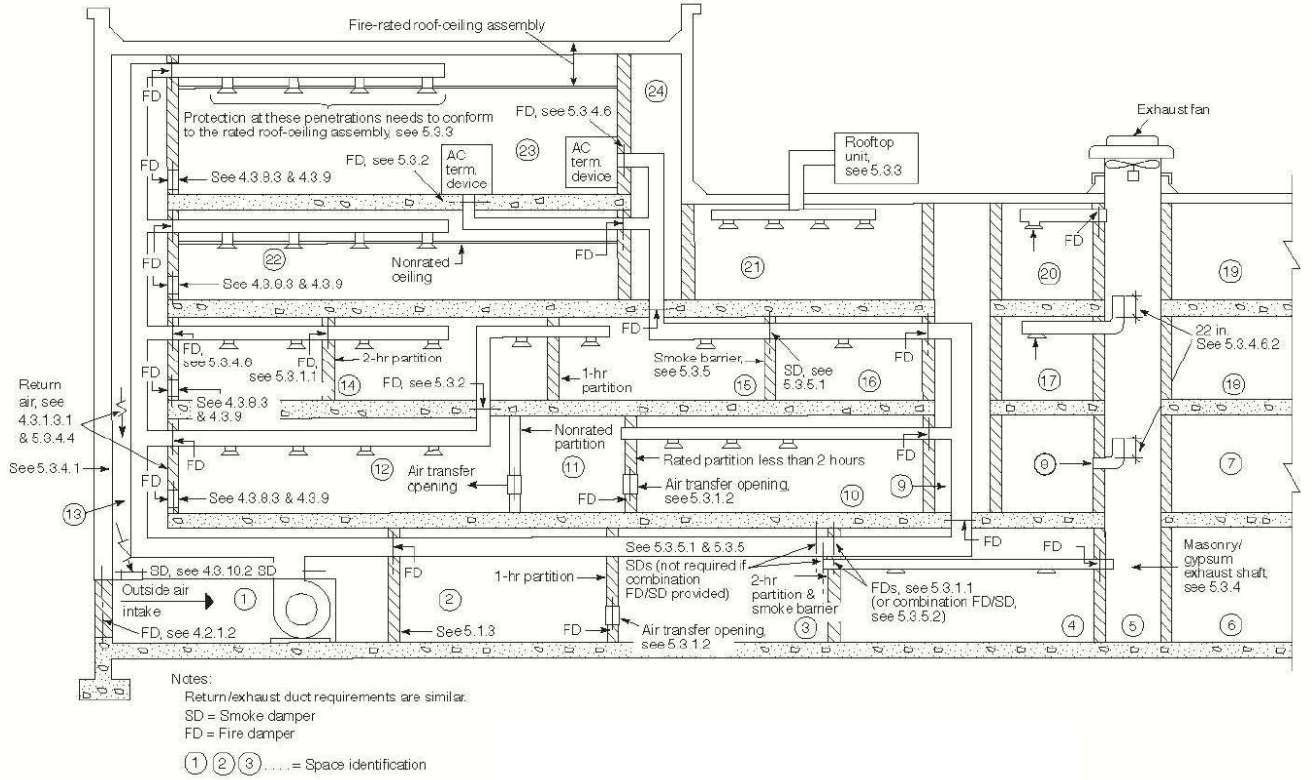
- Yangın sigortası mekanizması
- Yangın damperi motoru

Yangın damperi sigorta mekanizması tek kullanımlık olmaktadır. Yangın esnasında sigorta mekanizması devreye girer ve kanat kapalı konuma gelir. Yangın damperi motorları ise sıcaklık algılayıcı veya otomatik kontrol sistemlerine bağlı çalışabilir. Yangın damperi motorları kanadın oransal açıklığını kontrol etmemekte, damper kanadının açık veya kapalı konuma getirilmesini sağlamaktadır.

Yangın damperinin kanatları yangına dayanıklı bir malzemeden üretilmiş olmalıdır. Aynı zamanda monte edildiği yerde termal genişlemelere dayanıklı olabilecek şekilde mukavemetli olmalıdır. Yangın damperinde duman sızdırmazlığı için yüksek hava sıcaklıklarında kanatların çevresinde şişen ve hava sızıntısını engelleyen şişen conta(intumescent sealing) kullanılmalıdır.

##### 4.2. Yangın Damperi Konumlandırması

Aşağıdaki şekilde NFPA kuruluşunun hazırlamış olduğu yangın damperi konumlandırma noktaları verilmiştir. Görüldüğü üzere yangın damperleri duman damperleriyle de beraber yangın senaryo durumlarında etkili şekilde kullanılarak kompartımanlara ayırma ve yangın esnasında dumanın atılmasını destekleme konusunda faydalı olmuştur.



Şekil 7. Bina yangın ve duman damperi konumlandırması [4].

## 5. YANGIN DAMPERLERİ STANDARTLARI

Yangın damperlerinin EN veya UL standartlarına testinin yapılması gereklidir. EN standartları Avrupa ülkelerince kullanılmaktadır. UL (Underwriters Laboratories) standartları ABD ve Kanada'da geçerlidir. EN standartlarına göre yangın damperleri aşağıdaki standartlara tabidir:

- EN 15650 Ürün Standardı
- EN 1366-2 Test Standardı
- EN 13501-3 Sınıflama Standardı

UL standartlarına göre yangın damperleri aşağıdaki standarda tabidir:

- UL 555 Test Standardı

### 5.1. EN Ürün Sertifikasyonu

EN 1366-2 standardına uygun olarak damperin test edilmesi gerekir. Buna göre yangın damperinin kompartıman sonrası ısı geçirgenliği, duman sızdırmazlığı ve bütünlüğü test edilir. Isı geçirgenliği sıcaklık kontrolüyle, duman sızdırmazlığı kaçak debisiyle ve bütünlüğü de ısı geçirgenliği ve duman sızdırmazlığı parametrelerine bağlıdır. EN 1366-2 standardına göre test edilen damperin sınıflandırması EN 13501-3 standardına göre yapılır. Standartta tarif edilen üç performans kriteri vardır. E, S ve I indisleri ile belirtilen bu performans kriterlerinin tanımı aşağıdaki gibi yapılır;

**E – Integrity (Bütünlük):** Yangın damperinin bulunduğu yapının bir parçasıdır ve buna göre bir bütünlük seviyesi vardır. Bir yangın damperinin bütünlük seviyesi 2 saatten az olmamalıdır. Yangın damperinin bütünlük kriterini sağlamış sayılması için damperdeki hava kaçağı maksimum  $360 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  olmalıdır, bu değeri yakalayan yangın damperleri "E" indisini almaya hak kazanır.

**S – Smoke Leakage (Duman Kaçağı):** Yangın damperinin klapesi kapalı durumdayken duman sızıntısı standartta belirtilen limitleri aşmamalıdır. Standartta duman sızıntısı için belirtilen maksimum değer, -

300 Pa basınç altında  $200\text{m}^3/(\text{h.m}^2)$  dir. Bu değer altında kalan yangın damperleri “S” sınıflandırmasını almaktadır.

I – Insulation (Yalıtım): Standartta sıcaklık artışı için belirtilen maksimum değer; farklı noktalar için 140 - 180 °C arasında değişmektedir. Hem ortalama maksimum sıcaklık artışı hem de tekil maksimum sıcaklık artışı değerleri testler esnasında belirlenir. Her iki değerde de limitleri aşmayan yangın damperleri “I” indisini almaktadır.

## 5.2. UL Ürün Sertifikasyonu

UL sertifikasyonuna sahip damperler genellikle perde kapanma mekanizmasına sahiptir.



Şekil 7. UL sertifikalı yangın damperini [8].

UL ürün sertifikasyonu EN sertifikasyonuna göre farklı sınıflandırma kriterlerine sahiptir ve yapılan testler farklıdır. UL sertifikasıyla sertifikalandırılan damperler statik, dinamik, hem dinamik hem statik hava koşullarına göre ve dayanım süresine göre gruplandırılır. Gruplandırma aşağıdaki şekildedir:

- **Statik Sistemler için Yangın Damperleri** –Yangın başlangıcında otomatik olarak kapanan HVAC sistemleri için,
- **Dinamik Sistemler için Yangın Damperleri** –Yangın durumunda çalışır pozisyonda olan HVAC sistemleri için,
- **Yangın ve Duman Kontrol Damperleri Kombinasyonu** –Bir yangın damperini ve bir duman damperine tek bir alanda ihtiyaç duyulan HVAC sistemleri için,
- **Koridor Yangın Damperleri** –Kanalların iç koridordaki tavadan geçtiği noktalarda uygulanır.

UL sertifikasyonu için yapılan testler:

- **Operasyonel güvenilirlik:** Motorsuz kullanım için damperler için 250 döngü veya motorlu damperler için 20.000 döngü ve tuz spreyine maruz kaldıktan sonra döngü testi ile çalışması sağlanır.
- **Yangın testi:** 1,5 veya 3 saat boyunca damper tertibatının saatlik sınıflandırması yapılır.
- **Hortum akış testi:** Damperin patlayıcı koşullara dayanıklılığı tazyikli su püskürtmesiyle test edilir.
- **Dinamik kapatma:** Damper tertibatının kapanacağını doğrulamak için en az 10 m/s hava akış hızıyla beraber dampere en az 1000 Pa statik basınç uygulanır(Statik sistemler için gerekli değildir).

## SONUÇ

Binalarda yangından korunma ekipmanları kullanımının can ve mal kaybını azalttığı bir gerçektir. Bu ekipmanların etkin kullanımı için yangının davranışını iyi analiz etmek gerekir. Yapı yangın davranışına göre tasarlanmalıdır. Konumlandırılan ekipmanların kalitesi çok önemlidir. Yangın kompartımanı oluşturan ekipmanların temeli olan yangın damperlerinin kalitesi EN veya UL



sertifikalandırmasıyla anlaşılmaktadır. Yangının kompartımda itfaiye gelene kadar en az 2 saat güvenle kontrol altına alınması gerektiği açıktır.

## KAYNAKLAR

- [1]KÖK, F., “Yangında Açığa Çıkan Gazların, İnsan Sağlığına Vereceği Zararın Engellenmesi”, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 3(2): 83-94 (2020)
- [2]REHVA., “Fire Safety in Buildings – Smoke Management Guidelines”, Guidebook NO 24, Belgium, 2008.
- [3]ŞAHİN, N., “Yangın ve Duman Damperlerinde EN ve UL Farkları ve Uygulama Detayları” TTMD İzmir Temsilciliği semineri, Ocak 2019
- [4],National Fire Protection Association, NFPA 90A, Standard for the Installation of Air Conditioning and Ventilating Systems, 2021
- [5]Nexans, “Yangın: zarar ve sonuçları”, Web Sitesi URL:” [https://www.nexans.com.tr/eservice/Turkey-tr\\_TR/navigate\\_268139/Fire\\_costs\\_and\\_consequences.html](https://www.nexans.com.tr/eservice/Turkey-tr_TR/navigate_268139/Fire_costs_and_consequences.html)”, son gösterim tarihi: 26.02.2020
- [6]Bmask, “Consumer fire safety: European statistics and potential fire safety measures”, Netherlands Institute for Safety Nibra, January 2009
- [7]Modern Building Alliance, “FIRE SAFETY STATISTICS”, Web Sitesi URL:” <https://www.modernbuildingalliance.eu/fire-safety-statistics/>”, son gösterim tarihi: 26.02.2020
- [8]Ruskin, “Life Safety Solutions”, Web Sitesi URL: “<https://www.ruskin.com/model/DIBD23>”, son gösterim tarihi: 26.02.2020
- [9]Ahrens,M. & Evarts, B., Fire Loss in the United States During 2019, NFPA, 2020

## ÖZGEÇMİŞ

### Arda SAVTAK

1996 yılı İzmir doğumludur. 2019 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Ege Üniversitesinde 2019 yılından beri Makine Mühendisliği Enerji ve Termodinamik alanında yüksek lisans yapmaktadır. 2019 yılından beri Doğu İklimlendirme A.Ş.'de Ar-Ge mühendisi olarak görev yapmaktadır.

### Rasim TOKGÖZ

1986 yılı Kayseri doğumludur. 2000 yılında Kırıkkale Endüstri Meslek Lisesini bitirmiştir. 2009-2011 yılları arasında Doğu İklimlendirmede Kalite Güvence Asistanı olarak çalışmıştır. 2012-2013 yılları arasında Beşer Balata A.Ş.' de Teknik Ressam olarak çalışmıştır. 2013 yılında YDS Zeren Firmasında Teknik Ressam olarak çalışmıştır. 2013'den beri Doğu İklimlendirme A.Ş.'de Ar-Ge teknik ressamı olarak görev yapmaktadır.

### Seçkin Tuncer ERDOĞMUŞ

1980 yılı İzmir doğumludur. 2003 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Ege Üniversitesinde 2010 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Üretim Yönetimi ve Endüstriyel İşletmecilik bölümünde yüksek lisans yapmıştır. 2004 yılından beri Doğu İklimlendirme AŞ'de Genel Müdür olarak görev yapmaktadır.

# AMELİYAT SALONLARINDAKİ YANGIN GÜVENLİK ÖNLEMLERİNİN İNCELENMESİ

*Examination of Fire Safety Precautions in Operating Rooms*

**Ali Polat**

## ÖZET

Bu çalışmada hastane yangınları özelinde ameliyat salonlarındaki yangından korunma önlemleri incelenmiştir. İnceleme yangın güvenliği ve temiz oda kriterlerinin yanı sıra cerrahi operasyon ve hasta hakları göz önüne alınarak yapılmıştır. Yangın güvenlik önlemlerinde Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik (BYKHY) ve NFPA ( National Fire Protection Association, USA - Amerikan Yangından Korunma Kurumu) standartları esas alınmıştır. Buna karşın temiz oda kriterlerinde DIN 1946/4 standartı ile MMO 2008-481, MMO 2009-503 ve Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Kılavuzu yayınları esas alınmıştır. Çalışmada devlet, şehir ve özel olmak üzere üç hastanenin projeleri incelenmiştir. Çalışmanın konusu olan yönetmelik ve standartlar ile incelenen hastaneler dikkate alınarak bazı öneriler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ameliyathane yangını, Hastane yangını, Sağlık yapıları yangını, Duman kontrol.

## ABSTRACT

In this study, fire protection measures in the operating rooms were examined in particular for hospital fires. The examination was made by considering the fire safety and clean room criteria, as well as surgical operation and patient rights. Fire safety measures are based on the Regulation on the Protection of Buildings from Fire (BYKHY) and NFPA (National Fire Protection Association, USA - American Fire Protection Association). On the other hand, in the clean room criteria, DIN 1946/4 standard and MMO 2008-481, MMO 2009-503 and Turkish Health Buildings Minimum Design Standards 2010 Year Guide publications were taken as basis. In the study, the projects of three hospitals, state, city and private, were examined. Considering the regulations and standards, which are the subject of the study, and the hospitals examined, some suggestions have been tried to be put forward.

**Key Words:** Operating room fire, Hospital fire, Health buildings fire, Smoke control.

## 1. GİRİŞ

Hastanelerdeki yangından korunma önlemleri konusunda yapılan alan ve akademik çalışmalara baktığımızda bunların iki ana başlık altında toplamak gerekmektedir. Teknik çalışmalar genelde pasif yangın önlemleri üzerine olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda kaçış yolları, yatay ve dikey tahliye, kompartıman düzenlemeleri ele alınmıştır. Yapılan literatür araştırmasında aktif yangın önlemleri konusunda yapılan çalışmaların Makine veya Elektrik Mühendisliği dışında yapıldığı görülmüştür [1].

Diğer çalışmalar ise iş sağlığı ve güvenliği ekseninde yapılmıştır. Bunlarda da ameliyathane personelinin yangın önleme konusundaki eğitimi [2], cerrahi ekipmanlar nedeniyle hasta bedeni üzerinde meydana gelen yanmalar [3] gibi konular üzerine olduğu görülmektedir.



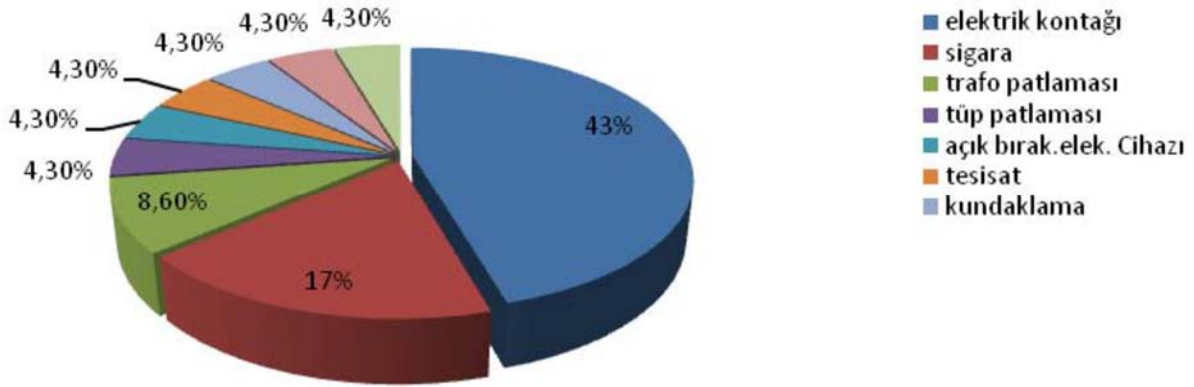
Sağlık yapıları içerisinde hastane binaları kullanıcıların hareket yeteneği ve de hakları bakımından yangın güvenlik önlemlerinin daha özel alınması gereken yapılardır. Hastaneler özelinde hasta, ameliyathane ve yoğun bakımlarda hareket edemeyecek durumda, hasta odalarında ise hareket yeteneği kısıtlı bir şekilde bulunmaktadır. Bu açıdan yangın anında sağlık çalışanlarının bireysel olarak kaçma şansına sahipken hastaların neredeyse tamamına yakını çalışanların yardımı ile ancak kaçabilecek durumdadır. Bu nedenle ameliyathane, yoğun bakım gibi bölümlerde alınacak yangın önlemleri bir kat daha özel olmak zorundadır.

Yapılan araştırmalarda ameliyathane yangınları ve önlemleri konusunda yapılan çalışmaların hasta ve çalışan güvenliği ekseninde yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların sağlık alanında çalışan kişilerce yapıldığı da dikkat çekicidir.

Hareket kabiliyetinin olmadığı hastanın bulunduğu ameliyathane ve yoğun bakımlarda pasif kadar aktif yangın önlemleri önemli olmaktadır. Tahliye için gerekli olan zamanı kazandıracak olan aktif önlemlerin belirlenmesi ve uygulanmasında hastanın hareket yeteneği kadar operasyonun safhası da önemlidir.

## 2. HASTANE YANGINLARININ NEDENLERİ

Hastanelerde meydana gelen yangınlar incelendiğinde en önemli çıkış sebebi % 43 ile elektrik kontağıdır. Bunun arkasından ise sigara, trafo patlaması gelmektedir. Yangına neden olan diğer nedenlerin her birisi % 4,30 oranında yangına neden olmaktadır. Buna göre yangınların çıkış sebebinin % 55,9'u elektrik tesisatı veya elektik cihazı kaynaklıdır.



Şekil 1. Hastanelerde yangınların meydana gelme nedenleri [4].

Ülkemizde en çok ölümün yaşandığı hastane yangını 19 Aralık 2020 tarihinde Sanko Üniversitesi Özel Sani Konukoğlu Hastanesinde Covid-19 hastalarının bulunduğu yoğun bakım bölümünde meydana gelmiştir. Yüksek akım oksijen cihazından / tüpünden kaynaklanan yangında 13 kişi hayatını kaybetmiştir.

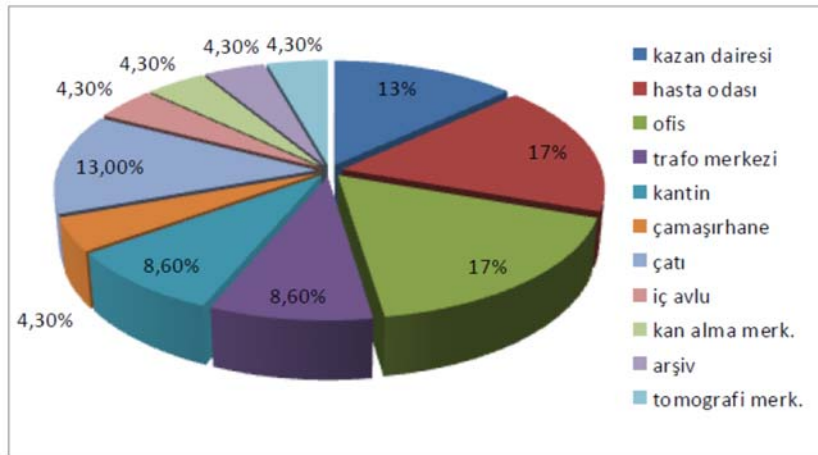
Ülkemizde ikinci en fazla ölümün yaşandığı hastane yangını Bursa Şevket Yılmaz Devlet Hastanesinde 26 Mayıs 2009 tarihinde meydana gelmiş ve 8 hasta hayatını kaybetmiştir. Yangın elektrik tesisatında meydana gelen kontakta kaynaklanmıştır. TMMOB Bursa İl Koordinasyon Kurulunca aynı gün yerinde yapılan inceleme sonucu hazırlanan Ön İnceleme ve Değerlendirme Raporunda yangının çıkışına ve duman ile birlikte yayılmasına neden olan eksiklik ve hatalar tespit edilmiştir. Ayrıca 16 Eylül 2009 tarihinde daha detaylı olarak Teknik İnceleme ve Değerlendirme Raporu kamuoyu ile paylaşılmıştır [5]. Buna göre;

- a) Yangın çıkan bölümünde, mimari projeye uygun olmayan mekanlar ve fonksiyonlar, sonradan oluşturulmuştur.
- b) Kablo bacasından hem elektrik tesisatı, hem de yangını daha da büyütebilecek oksijen gibi yakıcı gazların hatları geçirilmiştir.
- c) Kablo bacasında katlar arasında, alev ve dumanı engelleyecek veya geciktirecek uygulamalar (yangın şiltesi, yangın şapı) yapılmamıştır
- d) Kablolar halojen free ( halojenden arındırılmış) değildir. Tesisat şaftında ve asma tavan içinde, algılama sistemi öngörülmemiştir.
- e) Hastanede bulunan “Yangın Algılama Sistemi” çalışmamaktadır.
- f) Kablo bacası müdahale kapakları yangına dayanıklı olmayan malzemeden yapılmıştır.
- g) Binada duman tahliye sistemi yoktur.
- h) Kablo bacası müdahale kapağının “Yoğun Bakım Ünitesi” içine açılacak şekilde konumlandırması yanlıştır.
- i) Periyodik bakımlar düzenli yapılmamıştır.
- j) Ana dağıtım panosunda bulunan şalterlerin üzerindeki 300 mA eşikli kaçak akım röleleri devre dışı bırakılmıştır.
- k) Yangın ihbar santralinin devre dışı bırakıldığı ve yangın santrali yedek besleme akülerinin boş olduğu görülmüştür.
- l) Acil durum yönergeleri ve planlaması yapılmamıştır.

### 3. HASTANE YANGINLARININ MEKÂNSAL YERİ

Hastanelerdeki bu bölümleri işlevleri ve farklı özellikte olmaları nedeniyle hizmet, hasta bakım, destek ve özel bölümlü hacimleri olarak dört bölüme ayırmak mümkündür. Laboratuvarlar, röntgen hacimleri, ameliyathaneler, doğum salonları, sterilizasyon v.b. yerler özel bölümlerdir. Hastanelerde, yangınların % 53'ünün hizmet hacimlerinde, % 22'sinin özel bölümlerde, %10'unun hasta bakım ünitelerinde ve geri kalan % 15'inin ise destek hacimleri ile diğer bölümlerde çıktığı görülmüştür [6].

Bir başka araştırmada NFPA istatistikleri ve Türkiye'de gerçekleşen kayıtlı yangınlar göz önünde bulundurularak hazırlanan grafiğe göre hastanelerde yangınların meydana geldiği mekanlar içinde ilk sırayı hasta odaları, ikinci sırayı ise ofisler almaktadır. Bu grafikte dikkat çeken nokta özel bölümler içinde sayılabilecek mekanlardan sadece hastane yangınlarının %4,3'ü tomografi merkezinde meydana gelmektedir [4].



Şekil 2. Hastanelerde yangınların meydana geldiği mekânlar [4].

Hastaneler çeşitli mekânlar bulunmakta olup bunların her birisinde yangına neden olacak kaynak farklı olduğu gibi yangın yükleri de farklılık göstermektedir. Mekanları yangın yükü ve tutuşturma kaynağına göre yangın risklerine göre gruplandırmak mümkündür.

**Tablo 1.** Hastanede bölümlerinin yüksek yangın risklerine göre gruplandırması [4] [7].

Yangın Riski	1. Derece yangın riski	2. Derece yangın riski	3. Derece yangın riski	4. Derece yangın riski
Hastane bölümleri	Röntgen, Acil röntgen, Ultrason, Tomografi, Mamografi, Klima santrali, Oksijen merkezi, Patoloji, Atölyeler, Kazan dairesi ve ısıtma merkezi	Radyoloji - radyasyon onkoloji poliklinikler, EEG-EMG laboratuvarı, FTR uygulama Merkez laboratuvarı, Eczane, Arşiv ve depo, Yemekhane, Teknik servis, Eşanjör, Nükleer tıp,	Adli tıp, Hemodiyaliz, Sterilasyon, Kan merkezi.	Genel ve klinik yoğun bakımları, Ameliyathaneler, Plastik cerrahi ve yanık merkezi, Klinikler

Tablo 1'de görüleceği üzere ameliyathaneler ve yoğun bakımlar hastane bölümleri içerisinde yangın riski en düşük bölümlerdir. Tabloda 1. Derece yangın riskli bölümlerden oksijen merkezi, patoloji, atölyeler, kazan dairesi ve ısıtma merkezi ile 2. Derece yangın riskli bölümlerden merkez laboratuvarı, eczane, arşiv ve depo, yemekhane, teknik servis, eşanjör, nükleer tıp bölümlerinin yapı dışına alınması gereken yerlerdir [4].

#### 4. AMELİYATHANELERDEKİ YANGIN KAYNAKLARI

Yangın; yanıcı maddenin (yakıt kaynağı) oksijen ile ısı (tutuşturucu kaynak – ateşleme) altında belirli oranlarda birleşmesi sonucu meydana gelen kimyasal bir reaksiyondur. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için üç bileşenin belirli oranlarda bir araya gelmesi gerekir. Ameliyathaneler "Ateş üçgeni (triadı)" olarak adlandırılan bu üç bileşen bol miktarda bulunduğu mekanlardır.

Ameliyathanedeki yakıt kaynakları kâğıt ya da pamuklu örtüler, gazlı bezler, intestinal (bağırsak) gazları, hazırlık solüsyonlarıdır. Tutuşturucu kaynaklar tüm elektrokoter ve elektrocerrahi üniteleri (monopolar ve bipolar koter) , lazerler, fiberoptik ışık kaynakları, defibrilatörler, matkap ve testereyi içerir [3] [8]. Bu kaynaklar cerrahi operasyonlarda kullanılan elektrikli alet olup bunlara elektrik tesisatını da ilave etmek gerekiyor.

Oksijen (O<sub>2</sub>) ve nitroz oksit (N<sub>2</sub>O) tesisatı ile sevoflurane oda havasının dışında ekstra bir oksijen kaynağıdır [3]. Temiz bir ortamdaki havada % 20,9 oranında oksijen (O<sub>2</sub>) vardır. Yanma olayının gerçekleşmesi için bu oranın %16'nın altına düşmemesi gerekir. Oksijen oranının %14'ün altına düşmesi halinde yanma reaksiyonu olmaz. Bu açıdan baktığımızda yangın anında özellikle O<sub>2</sub> tesisatındaki bir kaçak ortamdaki oksijen miktarının azalmasına imkan vermeyecektir.

Oksitlenme	Ateşleme	Yakıt
<ul style="list-style-type: none"><li>Oksijen</li><li>Nitröz Oksit</li><li>Sevoflurane</li><li>Oda Havası</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Elektrocerrahi veya Elektrokoter Cihazları</li><li>Lazer</li><li>Isıtma Probları</li><li>Argon Işını Koagulatorleri</li><li>Fiberoptik Işık Kabloları</li><li>Defibrilatör</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Nazal Kanüller, Oksijen Maskeleri, Endotrakeal Tüpler</li><li>Vakumlu Kateterler, Esnek Endoskop, Fiberoptik Kablo Kaplamaları</li><li>Eldiven ve Ambalaj Malzemeleri</li><li>Hastanın Saçı, Kıyafeti, İlaçları, Önlük, Battaniye, Örtüler</li><li>Alkol İçeren Solüsyonlar, Eter veya Aseton Gibi Diğer Uçucu Çözeltiler</li><li>Gastrointestinal Kanaldaki Gazlar</li></ul>

Şekil 3. Ameliyathane yangını bileşenleri [2].

## 5. AMELİYATHANE HVAC SİSTEMİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Ameliyathanelerdeki HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning - Isıtma, Havalandırma ve Soğutma / Klima) sistemlerinde esas olan temiz oda kriterlerinin sağlanmasıdır. Temiz oda standartlarında başta DIN 1946/4 olmak üzere ISO 14644, (Alman standardı), BS 5295 (İngiliz standardı), US FD 209 (Amerikan standardı) gibi standartlar geçerlidir. TS 3419 standardı havalandırma ve iklimlendirme tesisleri - projelendirme kurallarını belirlemektedir. Standardın 3.2 nolu bölümünde hastane tesislerinin havalandırılması ve iklimlendirilmesi alanında projelendirme kuralları belirtilmiştir.

Hastane projelendirmelerinde ülkemizde esas alınan standart DIN 1946/4'dür. Bunun yanı sıra TMMOB Makina Mühendisleri Odası'na yayınlanan,

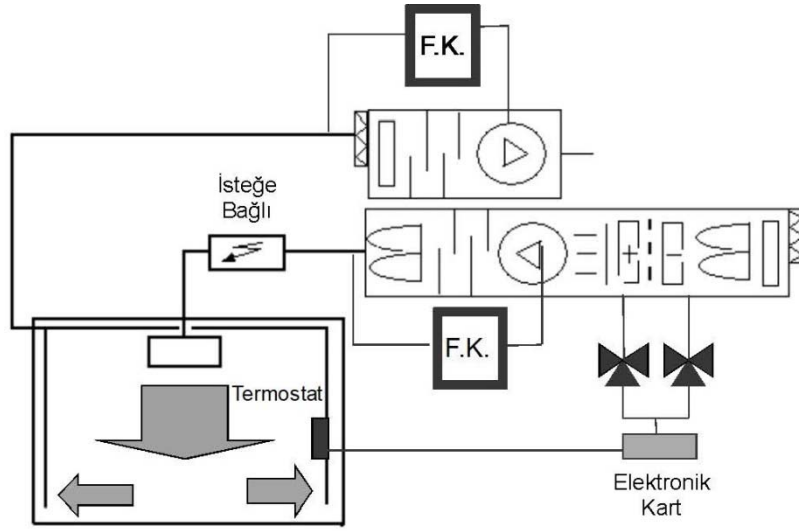
- Hastane İklimlendirme Tesisatı Tasarım ve Denetim Esasları,
- Hastane Hijyenik Alanlarının Klima ve Havalandırma Proje Hazırlama Esasları, Teslim Alma ve Periyodik Bakımı
- Hastane ve Klinikler İçin HVAC Tasarım Kılavuzu

kitapları ile Sağlık Bakanlığınca yayınlanan "Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Kılavuzu da rehber alınan kaynaklardır.

DIN 1946/4 standardının 1989 ve 1999 versiyonlarında ameliyat salonları için saatteki hava değişim miktarı minimum 2.400 m<sup>3</sup>/h ve minimum taze hava miktarı minimum 1.200 m<sup>3</sup>/h olarak belirlenmiştir [9]. Ameliyat salonlarında saatteki toplam hava değişimi katsayısının (defa/saat) 20 [10], 15 [11] ve 8-10 [12] olarak değerlendirildiği kaynaklar bulunsa da genel olarak 25 defa/saat olarak alınmaktadır [13] [14] [15]. Ancak sınıf 1a ve 1b operasyon odalarında en küçük hacimlerinde dahi debi 2.400 m<sup>3</sup>/h' den az olmamaktadır [10],

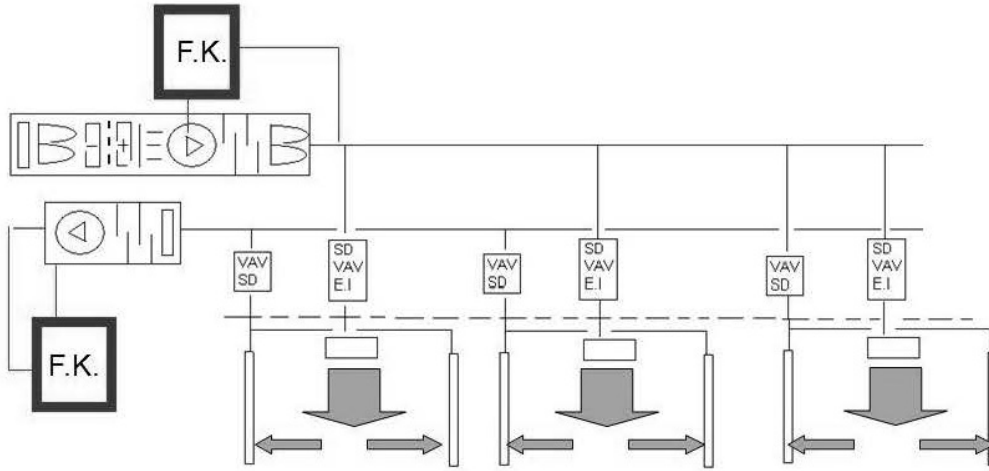
Ameliyat salonu havalandırması tekli sistem olarak dizayn edilebileceği gibi çoklu sisteme bağlı olarak da tasarlanabilir. Her iki sistemin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Tekli sistemlerde, hijyen ortamının iklimlendirilmesi ve taze havanın sağlanması tek hijyenik paket klima cihazı veya standart hijyenik klima santrali ile sağlanmaktadır. Başka bir deyişle, bir klima santral bir hijyenik ortama hizmet vermektedir.



Şekil 4. Tekli sistem şematik gösterimi [10] [16].

Çoklu sistemlerde, bir hijyenik paket klima cihazı veya standart hijyenik klima santrali bir çok mekana hizmet vermektedir. Bu durumda her mekanın debi, sıcaklık gibi kriterleri için ayrı ayrı kanal ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 5. Çoklu sistem şematik gösterimi [10] [16].

## 6. AMELİYAT SALONU YANGINDAN KORUNMA ÖNLEME SİSTEMLERİ ÖRNEKLERİ

Yağmurlama sistemi olan hastanelerin ameliyat salonlarında yağmurlama sistemi var mı diye incelediğimizde değişik durumlarla karşılaşmaktayız.

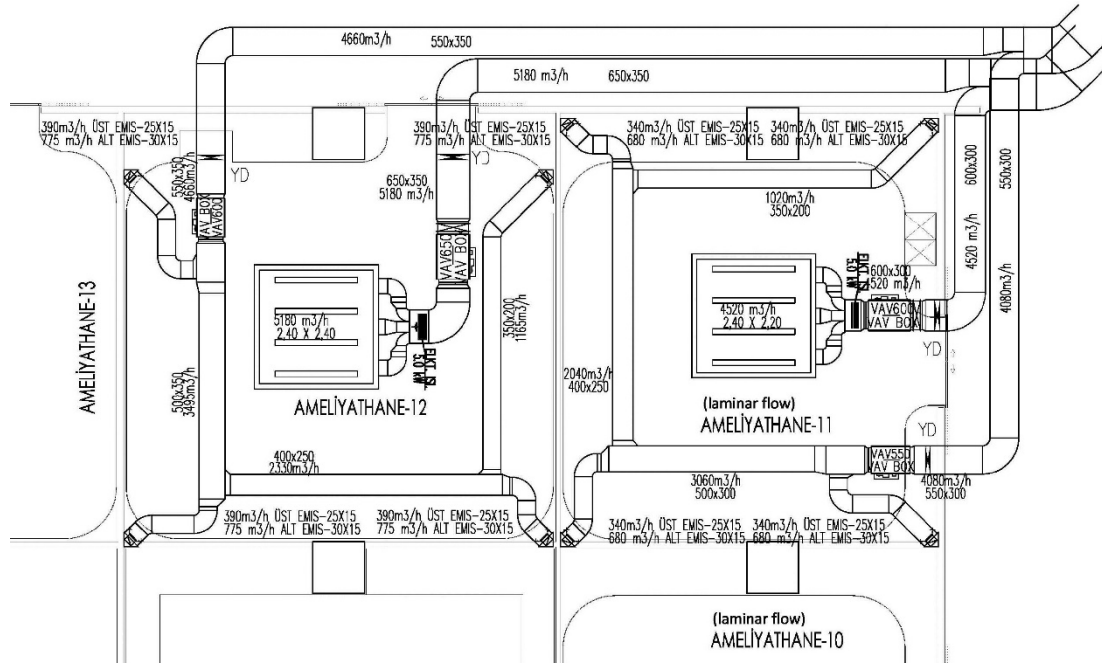
Sağlık Bakanlığı Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü tarafından ihalesi yapılarak sözleşmeye bağlanan projelerinde ameliyathane salonlarında yağmurlama sistemi bulunmamaktadır.

Ancak buna karşın Kamu Özel İşbirliği (KÖİ) modeli kapsamında Sağlık Bakanlığı ile yatırımcı/işletmeci arasında imzalanan sözleşme ile yapılan şehir hastanesi projelerinde ise tersi bir durumla karşılaşılmakta ve ameliyathane salonlarında da yağmurlama sistemi olduğunu görmekteyiz.

### 6.1. Devlet Hastanesi

Sağlık Bakanlığı tarafından yaptırılan devlet hastanesi İki bodrum + zemin + 8 normal katan oluşmaktadır. Ameliyathane sütünin de bulunduğu A blok 1'inci katta ayrıca yoğun bakım, sterilizasyon bölümleri de bulunmaktadır. Toplamda on üç ameliyat salonu bulunmakta olup bunlardan üçü (salon 1, 2 ve 3) yarı steril koridordadır. Tam steril koridorda bulunan yangın merdiveni direkt olarak on ameliyat salonu, hasta hazırlık, hasta uyandırma, patoloji laboratuvarı ile temiz malzeme deposuna hitap etmektedir. Ameliyat salonları, personel asepsi, İT ve mobil röntgen mahalleri hariç A1 blok 1'inci kattaki bütün mahallere sprinkler sistemi hitap etmektedir.

Ameliyat salonu - 3 tekli sistemle (HKS-06 nolu santral) bunun dışındaki salonlar ise ikişerli olarak (çoklu sistem) hijyenik klima santralleri üzerinden havalandırılarak iklimlendirilmektedir. Ameliyathane yan hacimler iki ayrı çoklu sistemli santrale bağlıdır. Çoklu sisteme bağlı ameliyathane salonların üfleme ve emişlerinde VAV ünitesinin yanı sıra bunun öncesine sigortalı yangın damperleri konumlandırılmıştır.



Şekil 6. Ameliyat salonu 11 ve 12 havalandırma sistemi.

Teknik şartnamenin M04 13 Havalandırma Tesisatı ile ilgili Açıklamalar bölümünün Kanal İşleri kısmının 13.5.p maddesine göre yangın damperlerinin yanıcı bağlantı parçası 72 C° de yanabilen cinsten olacaktır.

Buna karşın M10.07 İklimlendirme ve Havalandırma Sisteminin Duman Tahliyesi İçin Kullanılması bölümünde; "Mekanik havalandırma sisteminde kanallar üzerinde bulunan yangın damperleri motorlu tip seçilecek ve yangın otomasyon sistemine bağlanacaktır. Böylece yangın halinde yangın otomasyon senaryosuna uygun olarak çalışacaktır." denilmektedir.

M010 Yangın Söndürme Tesisatı bölümünün M10.06 Yangın Tesisatı Teçhizat ve Donanımlar kısmının 06.6 maddesinde yangın damperleri; "yay geri dönüşlü ve iki konumlu servomotorlu olacak ve uzaktan kumanda ile kontrol edilecektir. Normal zamanda damperler açık konumda olacak. Yangın anında dedektörlerin yangını algılayıp kontrol panosuna bildirmesi ve servomotora sinyal göndermesi

ile kanal kapatılacaktır.(Bina otomasyon sistemine bağlanacak)” şeklinde tanımlanmış ve çalışma prensibi açıklanmıştır.

Ancak otomasyon projesinde yer alan santral otomasyon şemalarında ve bina yönetim sistemi nokta dağılım tablosunda servomotorlu yangın damperleri ile ilgili her hangi bir gösterim ve nokta detayı yer almamaktadır.

Elektrik projeleri içerisinde yer alan 04-B400YDH Yangın Algılama & İhbar & Acil Yönlendirme Planı projesini incelediğimizde her ameliyat salonunda bir adet Akıllı Adresli Optik Duman Dedektörü bulunmaktadır. Dedektörler, yangın ihbar santrallerine bağlanmakta ve buradan da havalandırma santrallerine sinyal gitmektedir.

Bu bilgiler ışığında sistemin:

- Yangın sırasında ortaya çıkan duman Akıllı Adresli Optik Duman Dedektörü ile algılanarak yangın ihbar santraline sinyal gidecek,
- Yangın ihbar santral servomotorlu yangın damperine sinyal gönderecek,
- Servomotorlara gelen sinyal ile yangın damperi kapanacak,
- Hava geçişi olmaması nedeniyle fanların frekans kontrollü devreye girecek ve hava akışı kesilecek.

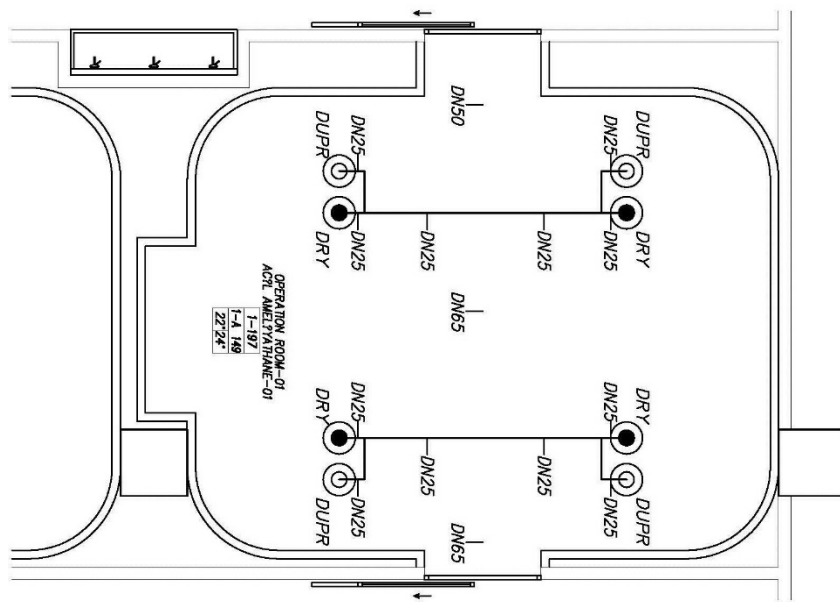
Şeklinde çalışacağı düşünülmektedir.

## 6.2. Şehir Hastanesi

Kamu Özel İşbirliği yöntemiyle yapılan şehir hastanesi üç bodrum + alt zemin + zemin + 10 normal kattan oluşmaktadır. Ameliyathane süiti A blok 1'inci katta bulunmaktadır. Toplamda on dört adet ameliyat salonu bulunmaktadır. Ameliyathane grubunda ikisi steril birisi kirletilmiş steril olmak üzere üç adet koridor bulunmaktadır. Ameliyat salonlarında karşılıklı iki adet kapı bulunmakta olup kapıların birisi steril koridora diğeri ise kirletilmiş steril koridorlar açılmaktadır.

Bu bölümde çift taraftan girişli bir adet yangın merdiveni bulunmakta olup girişlerin birisi steril koridordan diğeri ise kirletilmiş steril koridordandır. Ameliyathane süit bölümü diğer bloklarla bağlantıyı sağlayan koridoru da içine alacak iki adet yangın zonuna ayrılmıştır.

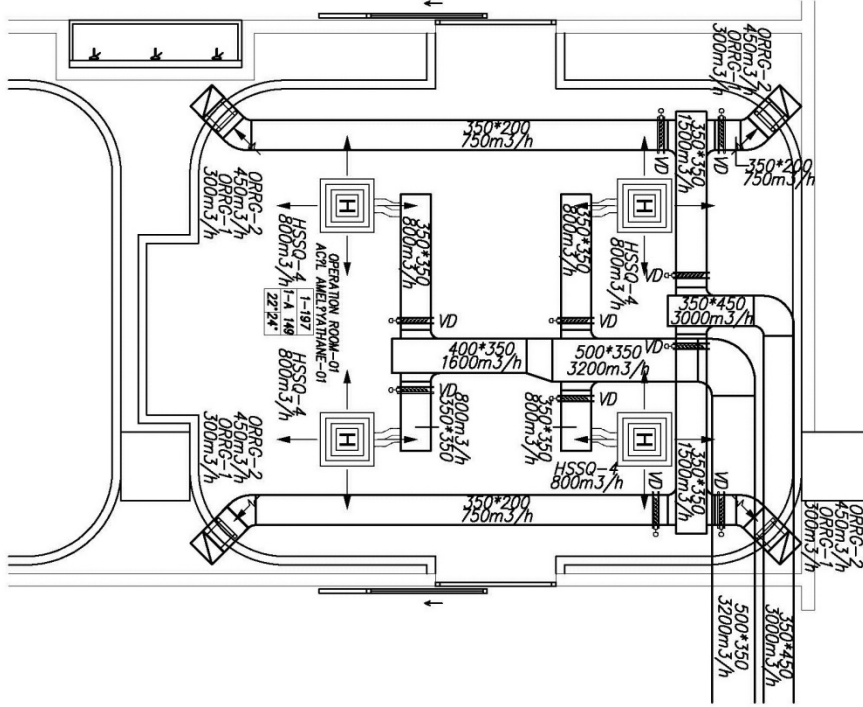
Ameliyat salonlarında tavanda 4 adet sarkık kuru tip ve asma tavan içerisinde 4 adet dik kuru tip sprinkler bulunmaktadır.



Şekil 7. Ameliyat salonu 1 sprinkler sistemi.

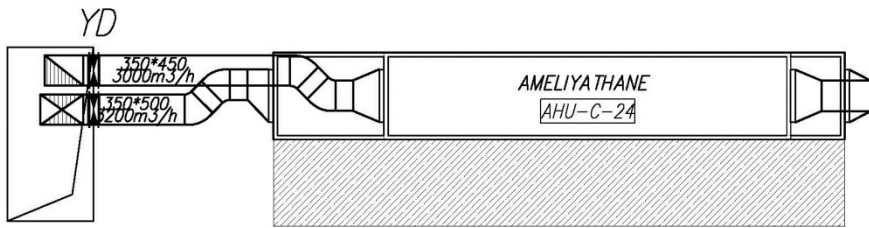
Mekanik Tesisat Sistemleri Özel Kalemler Teknik Şartnamesinin “YT-01-ÖZEL” başlığı altında sprinkler açma (aktivasyon) sıcaklığı 68 °C, 74 °C , 79 °C , 93 °C olarak belirtilmiştir. Buna göre hastanenin hangi mahalinde hangi açma (aktivasyon) sıcaklığına sahip sprinkler kullanılacağı belirsizdir.

On dört ameliyat salonunun dokuz adedi laminar flow üniteli, geri kalan beş tanesi ise 4 adet hepa filtreli olarak tasarlanmıştır. Her ameliyathane tekli sistem olarak tasarlanmış ve klima santralleri bir üst katta bulunan mahale yerleştirilmiştir.



Şekil 8. Ameliyat salonu 1 havalandırma sistemi.

Mahale giden taze hava ve mahalden gelen egzoz kanallarının klima santralına bağlantı kısımlarında yangın damperi bulunmaktadır.



Şekil 9. Ameliyat salonu 1 klima santrali.

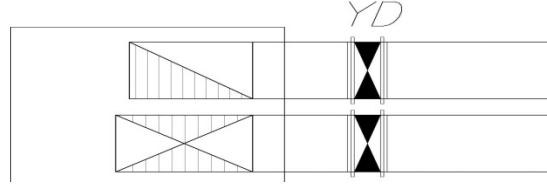
Proje sembollerinde yangın ile ilgili damperler motorlu yangın damperi ve duman damperi olarak iki şekilde gösterilmiştir.

	MOTORLU YANGIN DAMPERİ
	DUMAN DAMPERİ

Şekil 10. Damper sembolleri.



Mekanik Tesisat Sistemleri Özel Kalemler Teknik Şartnamesinin “YT-10-ÖZEL Duman Kontrol Damperi” başlığı altındaki tanıma göre Duman Kontrol Damperi mekanik duman tahliye sistemlerinde dumanı yönlendirmek amacıyla kullanılacak olup on-off motorlu olacaktır. Ayrıca “Beton ve tuğla duvarlarda, tavanlarda, alçıpan ayıcı duvarlarda, dış duvarlarda, yangına dayanımlı egzoz kanallarında kullanıma uygun olacağı” belirtilmiştir.



**Şekil 11.** Klima santralı damper sembolü.

Havalandırma projesinde damperde “YD” ifadesinin hangisini ifade ettiği tam olarak anlaşılammakla birlikte motorlu yangın damperi kullanılması öngörüldüğü düşünülmektedir.

İşe ait otomasyon projesi olmadığından ve ayrıca elektrik projelerine ulaşamadığından HVAC, yangın ve algılama sistemlerinin birlikte nasıl çalışması öngörüldüğü hakkında net bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak buna karşın sistemin:

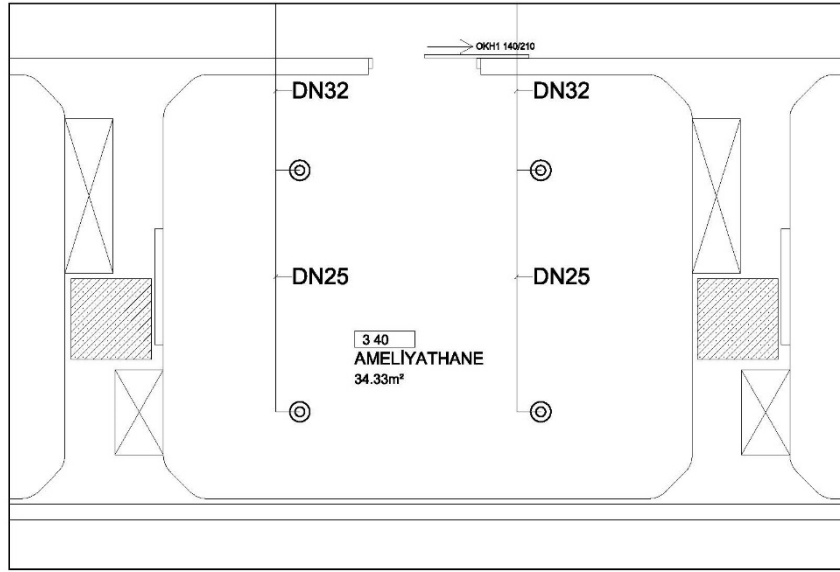
- Yangın sırasında oluşacak duman nedeniyle klima santralindeki sigortalı yangın damperleri kapanacaktır.
- Hava geçişi olmaması nedeniyle fanların frekans kontrollü devreye girecek ve hava akışı kesilecek.
- Sıcaklığın yükselmesi nedeniyle kuru tip sprinkler açılacak ve maksimum 60 saniye sonra su boşalması meydana gelecek.

Şeklinde çalışacağı düşünülmektedir.

### 6.3. Özel Hastane

Özel sektör yatırımı olarak tek blok olarak dört bodrum + zemin + 15 normal katan oluşan özel hastane tek blok olarak yapılmış olup binanın 3 üncü katında ameliyathane süiti, yoğun bakım ve sterilizasyon bölümü yer almaktadır. Toplamda sekiz ameliyat salonu bulunmakta olup bunlardan hepsi tam steril koridordadır. Tam steril koridorda bulunan yangın merdiveni direkt olarak ameliyat salonlarına, hasta uyandırma ile steril depoya hitap etmektedir.

Projesine göre ameliyat salonlarında tavanda 4 adet sarkık tip sprinkler bulunmaktadır.



Şekil 12. Ameliyat salonu 5 sprinkler sistemi.

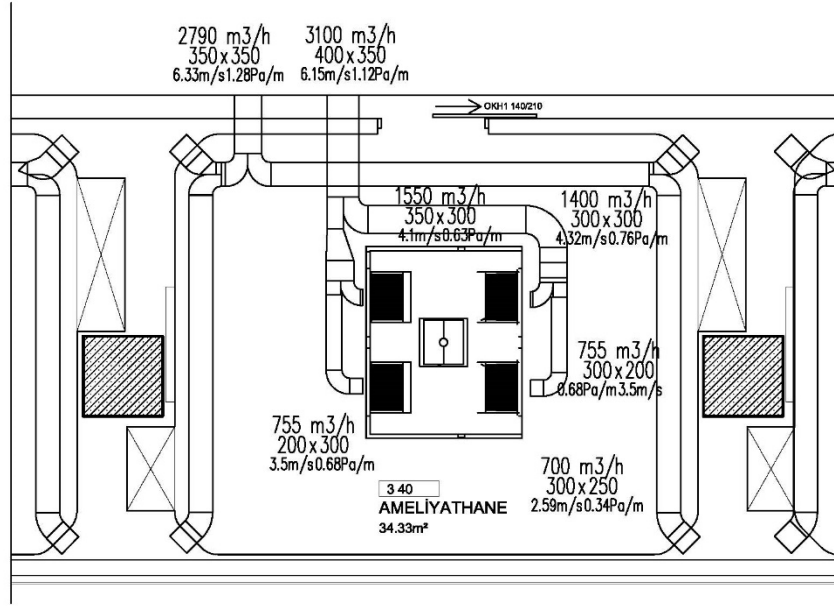
Ancak Yangından Korunma Tesisatı Akış Şemasına göre 3 katta 313 adet “1/2” STANDART TEPKİLİ GIZLI TAVAN TIPI TOZ TUTMAYAN HIJYENİK SPRINKLER” ve 315 adet “UPRIGHT TİP SPRINKLER” bulunması gerekmektedir. Akış şeması dikkate alındığında ameliyat salonlarında asma tavan içinde 4 adet uprigh (yukarı) tip, asma tavanda 4 adet gizli tavan tipi toz tutmayan hijyenik sprinkler” bulunacağı görülmektedir.



Şekil 13. Yangından Korunma Tesisatı Akış Şeması 3 kat.

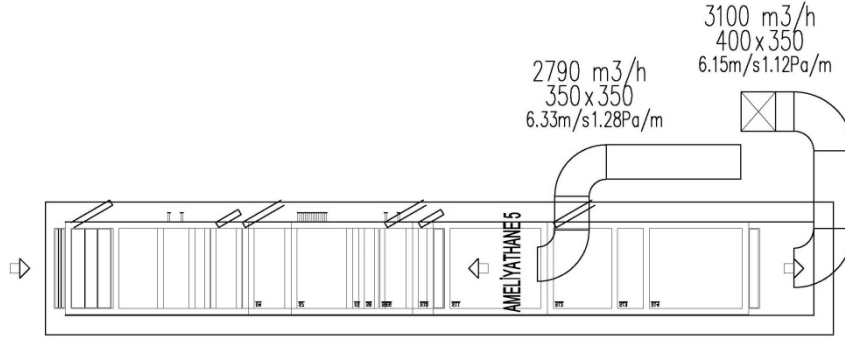
Bu açıdan değerlendirildiğinde ameliyat salonunun da asma tavan içerisinde 4 adet dik tip (upright) ve mahal içerisinde 4 adet sarkık tip (pendent) sprinkler bulunacaktır.

Sekiz ameliyat salonunun dört adedi laminar flow üniteli, üç tanesi 610x610x78 mm ölçüsünde 4 adet hepa filtreli ve bir tanesi ise 610x610x78 mm ölçüsünde 6 adet hepa filtreli olarak tasarlanmıştır. Her ameliyathane tekli sistem olarak tasarlanmış ve klima santralleri bir üst katta bulunan mahale yerleştirilmiştir.



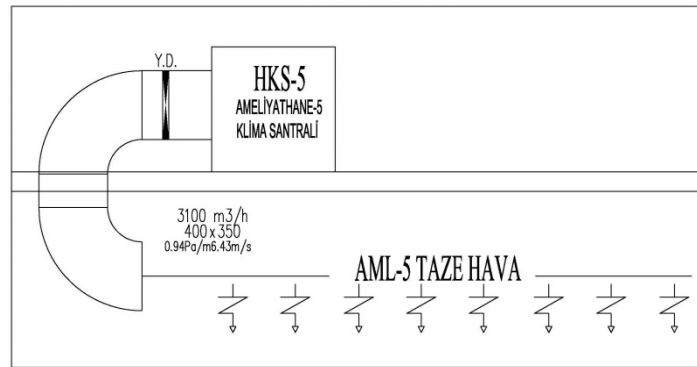
Şekil 14. Ameliyat salonu 5 havalandırma sistemi.

Bütün ameliyat salonları tekli sistemli olarak klimatize edilerek havalandırılmaktadır.

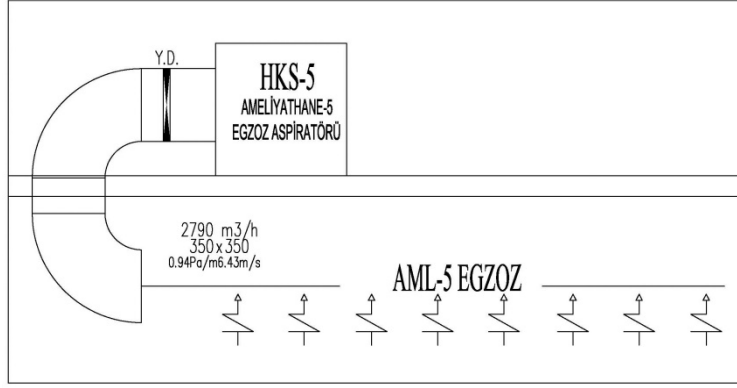


Şekil 15. Ameliyat salonu 5 (HKS 05) klima santrali.

Projede üfleme ve emiş kanallarının santrale giriş kısmında yangın damperi olacağı gösterilmektedir. Ancak yangın damperinin servomotorlu mu yoksa sigortala mı olacağı belirtilmemiştir.



Şekil 16. Ameliyat salonu 5 (HKS 05) klima santrali üfleme (taze hava).



Şekil 17. Ameliyat salonu 5 (HKS 05) salonu klima santrali egzoz.

#### 6.4. Örneklerin Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Tablo 2. Üç hastanenin karşılaştırılması.

	Devlet	Şehir	Özel
Ameliyat salonları çoklu HVAC sistemli	Evet (Bir salon hariç)	Hayır	Hayır
HVAC sisteminde yangın damperi	Var (Tekli sistemde yok)	Var	Var
Yangın damperi cinsi	Servomotorlu	Servomotorlu	Belirsiz
Yangın anında HVAC sistemi çalışacak	Hayır	Hayır	Hayır
Ameliyat salonunda sprinkler sistemi	Yok	Var	Var
Asma tavan arasında sprinkler	Yok	Var	Var
Sprinkler sistemi ön tepkili	-	Hayır	Hayır
Sprinkler açma (aktivasyon) sıcaklığı	-	Belli değil	Belli değil
Yangın senaryosu	Yok	Yok	Yok

Şehir hastanesi ve özel hastane projelerinde mahal ve asma tavan içerisinde yağmurlama sistemi yer almaktadır. Yangın anında oluşan sıcaklık nedeniyle sprinkler açılacak ve her sprinklerden yaklaşık 60 lt/dak su boşalacaktır. Sprinkler açılıncaya kadar geçecek sürede hastanın nakli gerçekleşmedi ise bu su hasta üzerine de gelecektir. Sprinklerin açma (aktivasyon) sıcaklığı belli olmadığından, devreye girme süresinin cerrahi müdahale edilen hastanın nakline yeterli olacağı da şüphelidir..

Her üç projede de müstakil yangın senaryosu bulunmamaktadır. Her ne kadar devlet ve şehir hastanesi projelerinin teknik şartnameleri olmasına karşın bunlarda yer alan bilgilerin yangın senaryosu yerine geçebilecek net ve tam bilgiler içermemesi bazı belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir.

Çoklu sisteme sahip devlet hastanesinin teknik şartnamesine göre yangın anında dedektörlerin yangını algılayıp kontrol panosuna bildirmesi ve servomotora sinyal göndermesi ile ameliyat salonu taze ve egzoz kanalları kapatılacaktır. Tekli sisteme sahip şehir ve özel hastane projesine göre tekli

santrallerin taze ve egzoz havası kanalları üzerinde yangın damperi bulunmaktadır. Yangın senaryosu olmaması nedeniyle yangın anında damperlerin kapanacağını öngörmekteyiz. Yangın veya otomasyon sistem tasarımı olmaması nedeniyle projelere göre her üç hastanede ameliyat salonunda yangın nedeniyle oluşacak dumanın tahliyesi gerçekleşmeyeceği gibi yan hacimlere kaçıışı meydana gelecektir.

## 7. YÖNETMELİK ve STANDART AÇISINDAN HASTANELER

### 7.1. Binaların Yangın Korunması Hakkındaki Yönetmelik

Yönetmeliğin 3'üncü kısım 4'üncü bölümünde bina kullanım sınıflarına göre özel düzenlemeler yapılmış olup burada 49'uncu madde sağlık yapılarına yöneliktir. Madde içeriği hasta odası kapı sayısı, yangın kompartımanı sayısı, koridor genişliği gibi pasif güvenlik önlemleriyle ilgilidir:

BYKHY Ek-4'e göre yapı yüksekliği 6,50 m veya bina toplam alanı 1.000 m<sup>2</sup>'den fazla olan yataklı sağlık tesislerinde otomatik algılama sistemi olması zorunludur.

BYKHY Ek-5/B göre hastaneler için çıkışlara götüren en uzun kaçış uzaklıklar Tablo 2. de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Hastanede çıkışlara götüren en uzun kaçış uzaklıkları.

Tek yön en çok uzaklık (m)		İki yön en çok uzaklık (m)	
Yağmurlama Sistemi yok	Yağmurlama Sistemi var	Yağmurlama Sistemi yok	Yağmurlama Sistemi var
15	25	30	45

Yönetmeliğin 96.2.ç maddesi uyarınca yapı yüksekliği 21,50 m'den fazla olan bütün yataklı tesislerde yağmurlama sistemi yapılması zorunludur.

Yönetmeliğin 99.1.ç maddesinde D sınıfı yangın çıkması muhtemel yerlerde, öncelikle kuru metal tozlu, söndürme cihazları bulunulacağı belirtilmiştir. Maddenin ikinci cümlesinde hastanelerde sulu veya temiz gazlı söndürme cihazlarının tercih edilmesi gerekir.

Ek-4'e göre hastaneler de en fazla kompartıman alanı 1.500 m<sup>2</sup> olup uygun yangın kontrol sistemleri (otomatik algılama, yağmurlama sistemi, duman tahliye sistemi ve benzeri) yapılmış ise kompartıman alanı 2 katına çıkarılabilir.

Yönetmeliğin 4.1.m maddesi uyarınca dumanın yapının dışına kendiliğinden çıkmasını veya mekanik yollarla zorlamalı olarak atılması gerekmektedir. Aynı madde uyarınca mekanik duman kontrol sistemleri olarak iklimlendirme sistemleri özel düzenlemeler yapılarak kullanılır veya ayrı mekanik havalandırma veya duman kontrol sistemleri kurulur.

Yönetmeliğin 96.3 maddesi uyarınca ıslak hacimlere, yangın merdiveni yuvalarına, asansör kuyusuna ve gazlı, kuru toz, su sprey ve benzeri diğer otomatik söndürme sistemleri ile korunan mahallere yağmurlama sistemi yapılmayabilir.

### 7.2. Ulusal Yönetmeliğin Hastaneler Açısından Değerlendirilmesi

Yönetmeliğin 4'üncü kısmında kazan daireleri, yakıt depoları, mutfaklar, çay ocakları, sobalar, bacalar sığınaklar, otoparklar ve çatılar ile ilgili bina bölümleri ve tesislerle ilgili düzenlemeler yapılmıştır. Ancak ne yazık ki hastanelerin özel bölümlerinden olan bölümlerinden olan ameliyathane, yoğun bakım,

görüntüleme merkezi, poliklinik, laboratuvar, sterilizasyon merkezi gibi özellikli mekanlarla ilgili her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır.

Yönetmelikte hakkında yeterli hüküm bulunmayan hususlarda öncelikle TS akabinde Avrupa Standartları esas alınır. Bunlarda düzenlenmeyen hususlarda, uluslararası geçerliliği kabul edilen standartlar da kullanılabilir. Buna göre NFPA gibi standartların esas alınması zorunlu değildir.

### 7.3. NFPA (National Fire Protection Association, USA) Standartları

NFPA standartlarında ise NFPA 99 Sağlık Tesisleri Standardı ve NFPA 101 Can Güvenliği Standardı içinde sağlık yapılarına ilişkin hükümler bulunmaktadır [17]. NFPA 101 standardının 18. ve 19. Bölümlerinde yeni yapılacak ve mevcut sağlık hizmet binalarının gereksinimlerini tüm mevcut ve potansiyel risk faktörleri dikkate alınarak belirtilmiştir [18].

NFPA standartları yangın açısından risk taşıyan bölümleri hasta yatak odaları ve dahili odalar, ısıtma merkezleri, çöp ve çamaşır kanalları, çöp yakma fırınları, medikal gazlar ve vakum, anestezi bölümleri, yüksek basınç tedavi odaları, laboratuvarlar olarak ayırmaktadır [17].

NFPA 99 Sağlık Tesisleri Standardının 16.8 bölümünde otomatik sprinklerler ve diğer söndürme ekipmanlarının kullanımı ile ilgili hükümler bulunmaktadır. 16.9 bölümünde ise manuel söndürme ekipmanlarının kullanımı ile hükümler yer almaktadır. Bu bölümün 16.9.1.3 maddesinde ameliyathanelerde manuel olarak temiz gaz veya su buharı (su sisi - water mist) tipi yangın söndürücüler kullanılması gerektiğini belirtmektedir.

## 8. SONUÇ

### 8.1. Yağmurlama Sistemi

İncelenen üç projenin ikisi Sağlık Bakanlığının aynı genel müdürlüğünce incelenmiş ve onaylanmış olmasına karşın ameliyat salonlarında birisinde sulu sprinkler bulunması, diğerinde bulunmaması aynı bakanlık içerisinde dahi bu konuda farklı görüşlerin olduğunu göstermektedir. Konuyu özel hastane açısından değerlendirdiğimizde ise benzer durum ortaya çıkmaktadır. Belediye veya itfaiye birimlerince yakın zamana kadar ameliyathane salonlarında sprinkler istenmemesine karşın artık istenmektedir.

Ameliyathane, yoğun bakım gibi hastanın hareket kabiliyetinin olmadığı bölümlerde mahal ve asma tavan içerisine yağmurlama sistemi (sprinkler) yapılmasının doğruluğunun tartışılması gereken bir konu olduğu düşünülmektedir.

Ameliyathane, yoğun bakım gibi bölümler temiz oda kriterleri açısından en üst seviyede olup sızdırmazlık, pozitif basınç gibi önemli kriterlere sahiptir. Bu açılardan asma tavan içerisinden bulunan kanal ve elektrik kablolarının yan mahallere geçişlerinde gerekli yangın - duman geçiş önlemlerinin alınması şarttır. Ayrıca kullanılan elektrik kabloları da halojen free (alev yaymayan) olmak zorundadır.

Asma tavan içerisinden yangına neden olabilecek tek neden elektrik tesisatıdır. Kabloların özelliği ve sızdırmazlık şartları gereği izole edilmiş olan asma tavan içerisinden meydana gelecek yangın nedeniyle dumanın yayılma durumunun olmayacağı değerlendirilmektedir. Buna karşın yangın veya başka bir nedenle yağmurlama sisteminin devreye girmesi durumunda sprinklerden boşalan su nedeniyle asma tavanın çökmesi veya çatlaması nedeniyle mahal içerisine su akışı olabilecektir.

Ameliyat salonu veya asma tavanı içerisindeki sprinklerin yangın veya başka bir nedenle kontrolsüz ya da hastanın naklinden önce açılmasının hastanın hayatını tehlikeye atabileceği bir gerçektir. Bu açıdan değerlendirildiğinde yağmurlama sistemi bulunmaması, müdahalenin taşınabilir yangın söndürme cihazları ile yapılması daha uygun olmaktadır.

Sprinkler sistemi yapılacaksa da;

- NFPA 99 Sağlık Tesisleri Standardına uygun olarak manuel olarak temiz gaz veya su buharı (su sisi - water mist) tipi yapılması,
- Sulu sistem yapılacaksa da çift kilitlemeli ön tepkili sprinkler sisteminin kurulması ve sistemin ameliyathane salonu kumanda panelinden verilecek onay sonrası devreye girmesi,
- Asma tavan içinde mahal geçişlerinde tam sızdırmazlık sağlanması gerektiğinden asma tavan içerisinde sprinkler sisteminin olmaması veya temiz gazlı olması,

Uygun olacaktır.

## 8.2. Duman Tahliye

Yönetmelik uyarınca dumanın yapının dışına kendiliğinden çıkmasını veya mekanik yollarla zorlamalı olarak atılması gerekmektedir. Yönetmelikte mekanik duman kontrol sistemleri olarak iklimlendirme sistemleri özel düzenlemeler yapılarak kullanılabileceği veya ayrı mekanik havalandırma veya duman kontrol sistemleri kurulabileceği belirtilmiştir.

Buna karşın incelen her üç hastane binasında da dış ortam ile hiçbir bağlantısı olmayan dolayısıyla dumanın doğal yolla kendiliğinden çıkma ihtimali bulunmayan ameliyathane sütlerinde mekanik duman tahliye sistemleri bulunmamaktadır. Yangında meydana gelen ölümlerin neredeyse tamamına yakınının dumandan boğulma/zehirlenme nedeniyle olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu durumun önemli bir eksiklik olduğu söylenebilir.

Ameliyat salonları HVAC sistemi her halükarda pozitif basınçlı ve pasif olduğu durumda dahi hava çevrim katsayı dahi duman tahliye için öngörülen en az 10 hava değişiminden daha yüksek tasarlanmaktadır. Dolayısıyla mevcut sistemin özel düzenlemelerle aynı zamanda duman tahliye olarak çalıştırılması mümkündür.

Ameliyat salonunun aktif olduğu durumda hastanın nakline kadar dumanın yan mahallere yayılımını önlemek için HVAC sisteminin en azından negatif basınç oluşturacak şekilde çalışmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Hastanın naklinden sonra veya ameliyat salonunun pasif olması durumlarında taze havanın kapatılarak HVAC sisteminin duman tahliye olarak çalışması uygun olacaktır.

HVAC sisteminin tekli veya çoklu olmasına göre çalışma sistemi farklı olacaktır. Tekli sistemde egzoz kanalının ve uygunsa santralin duman tahliye olarak kullanılması mümkündür. Taze hava kanalındaki damperin kapanması suretiyle egzoz kanalı vasıtasıyla dumanın tahliyesini sağlamış olacaktır. Burada egzoz fanının özelliği duman tahliyesinde kullanılıp kullanılmayacağı açısından önemlidir.

Birden çok ameliyat salonuna veya süite hitap eden çoklu sistemde egzoz hatları ile bağlantılı ayrı duman tahliye kanalının yapılması gerekecektir. Ameliyathane salonu taze hava hattındaki damperin kapanması ve egzoz hattının duman tahliye hattına bağlandığı yerde bulunacak damperlerin konumlanmasına bağlı olarak dumanın santrale değil duman tahliye fanına yönlendirilmesi sağlanacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] YILDIZ Z., ÇELİK G., “Bir Üniversite Araştırma Hastanesinin Aktif Yangın Güvenlik Önlemlerinin Değerlendirilmesi”, 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress, IMSEC, 2020.
- [2] USLU Y., YAVUZ van GIERSBERGEN M., “Ameliyathane Yangınlarının Önlenmesi ve Yönetimi Uygulama Önerileri”, Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, Cilt 32, Sayı 2, s. 165-174, 2016.

- [3] IŞIK ANDSOY I., "Cerrahi Ekibin Bilmesi Gereken Bir Konu: Ameliyathanelerde Yangın Riskleri Nelerdir? Yangın Güvenliği Nasıl Sağlanmalıdır?", TAF Preventive Medicine Bulletin, Cilt 12 Sayı 4, 2013.
- [4] ŞİMŞEK Z., "Sağlık Yapılarında Yangın Güvenliğinin Duman Kontrolü Sağlamasına İlişkin Modelleme Yöntemi", Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, 2013.
- [5] TMMOB Bursa İl Koordinasyon Kurulu, "Bursa Şevket Yılmaz Devlet Hastanesi Yangını Teknik İnceleme ve Değerlendirme Raporu", 2009.
- [6] KILIÇ A., "Hastanelerde Yangın Önlemleri ve Hasta Tahliyesi", Yangın ve Güvenlik Dergisi, Sayı 127, s.8-12, 2009.
- [7] YILDIZ Z., ÇELİK G., "Son Yıllarda Meydana Gelen Hastane Yangınları ve Nedenleri Üzerine Bir Araştırma", Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, s. 169-180, 2020.
- [8] OYUR ÇELİK G., ÖZTÜRK M., "Ameliyathanede Yangın, Alınacak Önlemler ve Çalışanların Farkındalığının Belirlenmesi", İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırma Dergisi, Cilt 7, Sayı 4, 2018.
- [9] "Hastanelerde Klima Tesisatı ve Havalandırma Esasları", Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 24, Aralık 1995.
- [10] EVREN E., ÖZYOGURTÇU G., NAKİPOĞLU M., İŞBİLEN C., GACANER ERMİN G., "Hastane Hijyenik Alanlar Proje Hazırlama Esasları Kurs Notları", 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2019.
- [11] "Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Kılavuzu", Sağlık Bakanlığı, 2010.
- [12] TS 3419.
- [13] MMO İstanbul Şubesi, "Hastane İklimlendirme Tesisatı Tasarım ve Denetim Esasları", Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 2008/481, 2008.
- [14] "Hastane ve Klinikler İçin HVAC Tasarım Kılavuzu", Makina Mühendisleri Odası Yayın No: 2009/503, 2009.
- [15] Orkun Baki ANIL O. B., ARSLAN A., BOYLU A., EVREN E., GACANER G., GENÇER Ü., İŞBİLEN İ., KAYACAN A., TUNÇ T., "Hastane Hijyenik Alanlarının Klima Ve Havalandırma Proje Hazırlama Esasları", 9. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 2010.
- [16] ANIL O.B., MOBEDİ M., ÖZERDEM M.B., "Hastane Hijyenik Ortamlarının Klima ve Havalandırma Sistemleri", 8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 2007.
- [17] ŞİMŞEK Z., AKINCITÜRK N., "Sağlık Yapılarının Yangından Korunma Yönetmelik Hükümlerinin Eksik Yönleri ve Öneriler", Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 2, s. 283-298, 2016.
- [18] ÇAKIR A., "Hastanelerde Yangın Güvenliği", IV. Yapı Elektronik Sistemleri Sempozyumu Bildirileri, 2017.
- [19] KIRBAŞ C., "Hastanelerde Mimari-Mekanik Proje Tasarımı ve Uygulama Esasları", Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 127, Ocak-Şubat 2012.
- [20] BOYLU A., "Sağlık Kurumlarında İklimlendirme Sistemleri ve Validasyonu".
- [21] "DIN 1946-4 2008 Standardındaki Yenilik", TTMD Dergisi, Sayı 84, 2013.
- [22] KIRBAŞ C., "Hastanelerde Mimari-Mekanik Proje Tasarımı ve Uygulama Esasları", Makina Mühendisleri Odası Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 127, Ocak-Şubat 2012,
- [23] EVREN E., "Medikal Gaz Tesisatı Kurs Notları" 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2019.
- [24] ALKIŞ S., "Bir Hastane Yangınının Anatomisi", TÜYAK 2015 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [25] ALTINDAŞ S., "Hastanelerde Pasif Yangın Önlemleri", Yalıtım Dergisi, Sayı 143, s. 49-54, 2016.
- [26] ALTINDAŞ S., "Sağlık Yapılarında Pasif Yangın Önlemleri", TÜYAK 2015 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [27] BALIK G, BECEREN K., "Hastane Binalarının Tasarımında Yangın Güvenliği", TÜYAK 2015 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [28] BAŞDEMİR H., DEMİREL F., "Pasif Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Literatür Araştırması", Politik Dergisi, Cilt:13, Sayı: 2, s. 101-109, 2010.
- [29] DEMİRCİOĞLU O., "Hastanelerde Kaçış Olanakları, Kaçış Yolları Tasarımı Ve Kompartımanlara Ayırma", TÜYAK 2015 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [30] DEMİREL F., BAŞDEMİR H., İŞERİ İ., "Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında Bir Hastane Projesi Ve Ulusal Yangın Mevzuatına Uygunluk Analizi", Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 27, No 4, 729-738, 2012.
- [31] İNCE A., "Hastanelerde Yangın Güvenliği ve Tahliye Gereklere Üzerine Bir İrdeleme", Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 2016.





- [32] ILGIN H. E., Yücel O., “Sağlık Yapılarında Alınan Pasif Yangın Önlemlerinde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Yolları”, TÜYAK 2017 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2017
- [33] KILIÇ A., BECEREN K., “Mimari Tasarımda Yangın Güvenliği”, 4. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 1999.
- [34] KILIÇ A., “Hastanelerde Yangın Önlemlerinin İç Hava Kalitesine Etkisi ve Yangınlarda İç Hava Kalitesinin Korunması”, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 2015.
- [35] KILIÇ M., “Yapılarda Yangın Güvenliği ve Söndürme Sistemleri”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, s. 59-70, 2003.
- [36] ŞİMŞEK Z., AKINCITÜRK N., ŞENKAL SEZER F., “Sağlık Yapılarında Yangın Güvenliği: Bursa Örneği”, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 2015.
- [37] ÜÇÜNCÜ K., “Hastanelerde Yangın Güvenliği”, TÜYAK 2015 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 2015.
- [38] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2021.
- [39] NFPA 99, National Fire Protection Association, USA, 2018.
- [40] NFPA 101, National Fire Protection Association, USA, 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ali POLAT

1966 yılı Malatya doğumludur. 1988 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1988-1992 yılları arasında çelik konstrüksiyon ve talaşlı imalat alanında imalat mühendisi ve üretim müdürü olarak çalışmıştır. 1992 - 1994 yılları arasında SSK İnşaat ve Emlak Daire Başkanlığında, 1994 - 2008 yılları arasında SSK İzmir İnşaat ve Emlak Müdürlüğünde çalışmıştır. 2008 yılından bu tarafa SGK İzmir İl Müdürlüğü bünyesindeki İnşaat ve Emlak Biriminde çalışmakta olup Mekanik Tesisat Bürosu Şefi olarak görev yapmaktadır. 1992 yılından beri hastane, konaklama, eğitim, hizmet, ofis-iş merkezi, konut, AVM türü yapıların projesinde mekanik tesisat tasarımcısı ve uygulama aşamasında kontrol mühendisi olarak görev yapmıştır. 2003 yılında Kamu İhale Kurumu'ndan kamu ihale ve sözleşmeleri konularında “Eğitimci” sertifikası almıştır. Kurum içi eğitimlerde, yapım işleri uygulama ve kontrollük işlemleri konularında eğitimler vermiştir. 14. Ulusal Tesisat Kongresine “İki Borulu VRF Sistemlerde Dış Ünite Seçiminde Diversite Faktörünün Değerlendirilmesi” başlıklı bildiri ile katılmıştır. İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, MMO, EMO, İMO, JMO, KMO, MO ve ŞPO'nun katkılarıyla 2021 yılında İzmir'de düzenlenen Uluslararası Katılımlı Yangın ve Deprem Sempozyumuna “Hastanelerde Yangın Güvenlik Önlemleri ve Ameliyathaneler” başlıklı sunumu ile katılmıştır.

# FOTOVOLTAİK PANELLERİN FAZ DEĞİŞTİREN MADDE DESTEKLİ ISI ALICISIYLA SOĞUTULMASI

*Cooling of Photovoltaic Panels with Phase Change Material Based Heat Sink*

Oğuz Kaan Yağcı  
Metem Avcı  
Orhan Aydın  
Burak Markal

## ÖZET

Bu çalışmada, fotovoltaik bir panelin faz değıştiren madde (PCM) ile soğutulma süreci deneysel olarak incelenmiştir. Yüksek ışınım altında panel sıcaklığında meydana gelen hızlı artış ve bu artışa bağlı elektriksel verim düşüşü, PCM ile pasif soğutma yapılarak giderilmeye çalışılmıştır. Deneyler laboratuvar ortamında standart test koşulları altında gerçekleştirilmiş olup; yerleşim açısı (30°, 45° ve 90°) çalışma parametresi olarak dikkate alınmıştır. Elde edilen deneysel veriler ile PCM'in faz dönüşüm davranışı ve buna bağlı elde edilen soğutma performansı zaman bağımlı olarak ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında sistemin termal davranışının yanı sıra maksimum güç değeri de zaman bağımlı izlenmiş olup; farklı ışınım miktarları için ısı alıcısız (soğutulmayan) panellere kıyasla elde edilen elektriksel güç çıktısındaki değışim belirlenmiştir. Uygulanan toplam ışınım miktarına ve yerleşim açısına bağılı olarak güç çıktısında %1,5'dan %10'a değışen artışlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik soğutma, pasif soğutma, faz değıştiren madde, deneysel değerlendirme.

## ABSTRACT

In this study, cooling process of a photovoltaic panel with phase change material is experimentally investigated. The rapid increase in the panel temperature under high irradiation and the decrease in electrical efficiency due to this temperature increase are aimed to be eliminated by passive cooling with PCM. Experiments are carried out under the standard test conditions in a laboratory environment and, orientation angle is considered as the study parameter (30°, 45° and 90°). With the experimental data obtained, the time dependent phase change behavior and the cooling performance of PCM are revealed. Within the scope of the study, in addition to the thermal behavior of the system, the maximum power value is also monitored time dependently and the change in the electrical power output compared to the panels without heat sink is determined for different irradiation amounts. Depending on the total applied irradiation and the orientation angle, increases in the power output are obtained ranging from 1.5% to 10%.

**Key Words:** Cooling of photovoltaics, passive cooling, phase change material, experimental evaluation

## 1. GİRİŞ

Işığın doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesine imkân tanınması sebebiyle fotovoltaik panellerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin farklı çalışma koşulları altındaki davranışları incelendiğinde hücre sıcaklığında meydana gelen artışın güç çıktısı üzerinde olumsuz etki

oluşturduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar yaygın olarak kullanılan kristal bazlı (**c-si**) silikon hücrelerin verim değerlerinin ortalama %15 ve sıcaklık katsayılarının ise yaklaşık % 0.4-0,65/°C aralığında olduğunu bildirmektedir [1]. Verim değerine bağlı olarak panel üzerine düşen ışınım enerjisinin elektriğe dönüştürülemeyen kısmı hücrelerde ısı olarak birikmekte ve sıcaklık artışına yol açmaktadır. Sıcaklığın oluşturduğu bu etki, özellikle en yüksek güç çıktısının elde edildiği zaman aralıklarında, verimi önemli ölçüde düşürmektedir. Panellerde sıcaklık artışıyla meydana gelen bu olumsuzluğu gidermek ve güneş enerjisinden daha etkin bir şekilde yararlanmak amacıyla panellerin bir soğutma sistemiyle entegresine ihtiyaç vardır.

Literatürde soğutma amacıyla araştırmacıların aktif, pasif ve hibrit soğutma yöntemlerine başvurdukları görülmektedir. Aktif yöntemler soğutmanın harici bir enerji girdisiyle gerçekleştirildiği yöntemlerdir. Bu yöntemlerde soğutma işlemi çoğunlukla panel arkasına yerleştirilen ısı alıcılarında soğutucu akışkanların (hava veya sıvı) sirküle edilmesiyle gerçekleşmektedir. Panelden çekilen ısı farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilen ve ilgili sistemler literatürde fotovoltaik/termal(PV/T) olarak adlandırılmaktadır [2-16]. Bu sistemlerde hareketli parçaların (pompa veya fan) bulunması, bakım onarım maliyetleri ve soğutucu akışkanların oluşturabildiği korozif etkiler tehdit unsurları olarak ifade edilmektedir.

Fotovoltaik paneller, performans düşüşünün azaltılması amacıyla güç girdisi gerektirmeyen pasif yöntemlerle de soğutulabilmektedir. Kanatçık entegresi ve doğal taşınım ile soğutma, ısı borusu, suya daldırma ve PCM kullanımı bu uygulamalara örnek olarak verilebilir. Pasif yöntemlerde sıklıkla tercih edilen PCM'ler faz dönüşüm süreci boyunca sahip oldukları yüksek gizli ısı depolama kapasiteleri sayesinde yüksek miktarlarda ısı soğurabilmektedirler. PCM'ler bu özellikleri sayesinde ısınan yüzeyler için soğutma amacıyla kullanılmakta olup; literatürde PV panellerin termal regülasyonunun sağlanması amacıyla araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. İlgili sistemler kısaca PV/PCM olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemlerde temel olarak PCM, PV panel arkasında prizmatik bir hacim içerisinde depolanmakta ve ışınım altında PV panel üzerinde biriken ısının bir kısmını absorbe ederek sıcaklık artışını yavaşlatabilmektedir. Literatür incelendiğinde; PV/PCM sistemlerinin performansının PCM erime sıcaklığı, PCM miktarı, ısı değiştiricilerinin yüzey alanları, ortam koşulları gibi birçok parametreden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Özellikle, PCM'lerin sahip oldukları düşük ısı iletkenlik değerleri ( $k \approx 0,2 \text{ W/m.K}$ ) PCM'lerden beklenen soğutma performansının elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu olumsuzluğun giderilmesi için literatürde araştırmacıların kanatçık kullanımı, nanoparçacık ilavesi ve metal ağ kullanımı gibi iletkenlik artırıcı yöntemlere başvurdukları görülmektedir.

PV/PCM sistemler üzerine yapılan ilk çalışmalar, Huang vd. [17-18] tarafından yapılmıştır. Çalışmalarda PV panel arkasında soğutma amacıyla PCM (RT-25) alüminyum bir hacim içerisinde tutulmuş ve PCM'in sahip olduğu düşük ısı iletkenliği hacim içerisine yerleştirilen yatay kanatçıklarla iyileştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalarda kanatçık sayısı ve geometrisi değişken parametre olarak dikkate alınmıştır. Isı transfer yüzeyindeki artış belirli bir süre boyunca ısı transferini iyileştirerek daha düşük panel sıcaklıkları elde edilmesini sağlamış; ancak, termal regülasyon süresi üzerinde olumsuz etki yaratmıştır. Başka bir çalışmada [19], yatay kanatçıklı bir PV/PCM sistemi sayısal olarak ele alınmıştır. Çalışmada PCM olarak erime sıcaklığı 25°C olan bir parafin (RT-25) kullanılmıştır. Kanatçıksız durum dikkate alındığında PV panel 35°C'de yaklaşık 100 dakika boyunca sabit tutulabilmiştir. Bu sıcaklık değeri, kanatçık uzunluğunun artırılmasıyla 30°C'ye düşürülebilmektedir.

PCM'lerin ısı transfer süreçlerinde doğal taşınım mekanizması etkin rol oynamaktadır. Bu durum PV/PCM sistemlerinin yerleşim açılarından etkilenmesine neden olmaktadır. İfade edilen bu etki bazı araştırmacılar tarafından sayısal olarak incelenmiştir [20-22]. Çalışmalarda yerleşim açısının artmasıyla (sistemin daha dik konumda yerleştirilmesiyle) PCM içerisinde doğal taşınım daha etkin hale gelerek PV panel ve PCM arasındaki ısı transferi iyileşmiştir. Bunun bir sonucu olarak, belirli bir süre daha düşük PV panel sıcaklığı izlenmiş; fakat PCM'in erime sürecinin hızlanması sonucu termal regülasyon süreleri önemli ölçüde azalmıştır.

Isı alıcı performansını etkileyen diğer bir önemli parametre, kullanılan PCM'in faz dönüşüm aralığı ve gizli ısı depolama kapasitesidir. Katıdan sıvıya geçiş sıcaklığı ve bu geçiş boyunca absorbe edilebilen ısı, PV panel sıcaklığının zamana bağlı değişimini ve buna bağlı güç kazanımını etkileyebilmektedir. Hasan vd. [23-24], çalışmalarında, farklı erime noktasına sahip 5 farklı PCM ile deneyler

gerçekleştirmiştir. Erime **sıcaklık noktasındaki artış**, özellikle yüksek ışınım altında yapılan deneylerde ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) daha yüksek panel sıcaklığı fakat daha uzun regülasyon süresinin elde edilmesini sağlamıştır. Başka bir çalışmada [25], PCM olarak RT-25, 35 ve 45 kullanılarak benzer sonuçlar elde edilmiştir.

PV/PCM sistemlerine ait termal regülasyon sürelerini ve performans kazanımlarını etkileyen önemli parametrelerden biri de kullanılan PCM miktarı ve çevresel koşullardır. Khanna vd. [26] tarafından yapılan çalışmada, 3, 4 ve 5 cm PCM tabaka kalınlığına sahip PV/PCM sistemler için sayısal analiz yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tabaka kalınlığındaki artış, elektriksel iyileşmenin elde edildiği süreyi önemli ölçüde uzatmıştır. Buna ek olarak rüzgar hızındaki artış ve ortam sıcaklığındaki düşüş gibi sistemden çevre ortama ısı kaybını artıracak etmenlerin regülasyon ve kazanım sürelerini önemli ölçüde uzattığı ifade edilmiştir.

PV/PCM sistemlerin termal regülasyon sürelerinin uzatılması ve güneşlenme saatlerinde PCM bünyesinde biriken ısıdan faydalanılması PCM ve ısı eşanjörünün birleşiminden meydana gelen PV-T/PCM sistemlerin kullanımıyla da mümkün olabilmektedir. Radziemska ve Kucharek [27] tarafından yapılan bir çalışmada bir PV-T/PCM sisteminin termal ve elektriksel performansı farklı parametreler altında deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada deneyler üç farklı erime sıcaklık aralığına sahip PCM'ler (20–23, 42–72, 61–78) ile farklı PCM tabaka kalınlığı ve iki farklı su debisi için yapılmıştır. Standart test koşulları altında yürütülen çalışmada PV-T/PCM sisteminin performansını belirleyen ana parametrenin su debisi olduğu ve uygun PCM faz dönüşüm sıcaklığının  $30\text{--}45^\circ\text{C}$  arası olması gerektiği ifade edilmiştir. Literatürde PV/PCM sistemler üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar üzerinden şu çıkarımlar yapılabilir:

- Çalışma saatleri içerisinde fotovoltaik hücrelerde meydana gelen sıcaklık artışı, elektrik çıktısı (verim) üzerinde negatif etki yaratmaktadır.
- PV paneller arkasına ısı alıcı olarak PCM'in uygulanmasıyla çalışma saatlerinde PV panel sıcaklığı belirli bir süre ısı alıcısız panel sıcaklığının altında tutulabilmektedir (termal regülasyon).
- PCM'lerin düşük ısı iletkenlikleri ısı alıcı performansını olumsuz etkileyebilmektedir. PCM katmanı içerisine yapılan iletkenlik artırıcı önlemler ısı alıcı performansını belirli bir süre artırarak daha düşük PV panel sıcaklıkları elde edilmesini sağlamakta; fakat termal regülasyon süresi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır.
- Yerleşim açısındaki artış ısı alıcı performansını artırabilmekte fakat benzer şekilde daha erken tamamlanan faz dönüşüm süresi sebebiyle regülasyon sürelerini kısaltabilmektedir.

İlgili sonuçlar incelendiğinde PV panel-PCM arasındaki ısı transfer hızı ve termal regülasyon süresi arasında zıt bir ilişki olduğu görülmektedir. PCM bünyesine yapılan iletkenlik artırıcı uygulamalar belirli bir süre daha düşük PV panel sıcaklıkları elde edilmesini sağlayarak panel verimini artırabilmekte fakat PCM'in daha erken faz dönüşümünü tamamlaması sebebiyle termal regülasyon süresi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır [23–28]. Literatürdeki PV/PCM sistemler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların büyük çoğunluğunun sayısal veya dış ortam deneylerinden oluştuğu görülmekte olup laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmaların azlığı göze çarpmaktadır. Fakat dış ortamda yapılan deneylerde meteorolojik koşulların sabit tutulmaması sebebiyle tekrarlı yapılan deneylerde aynı şartlar oluşturulması güçleşmektedir.

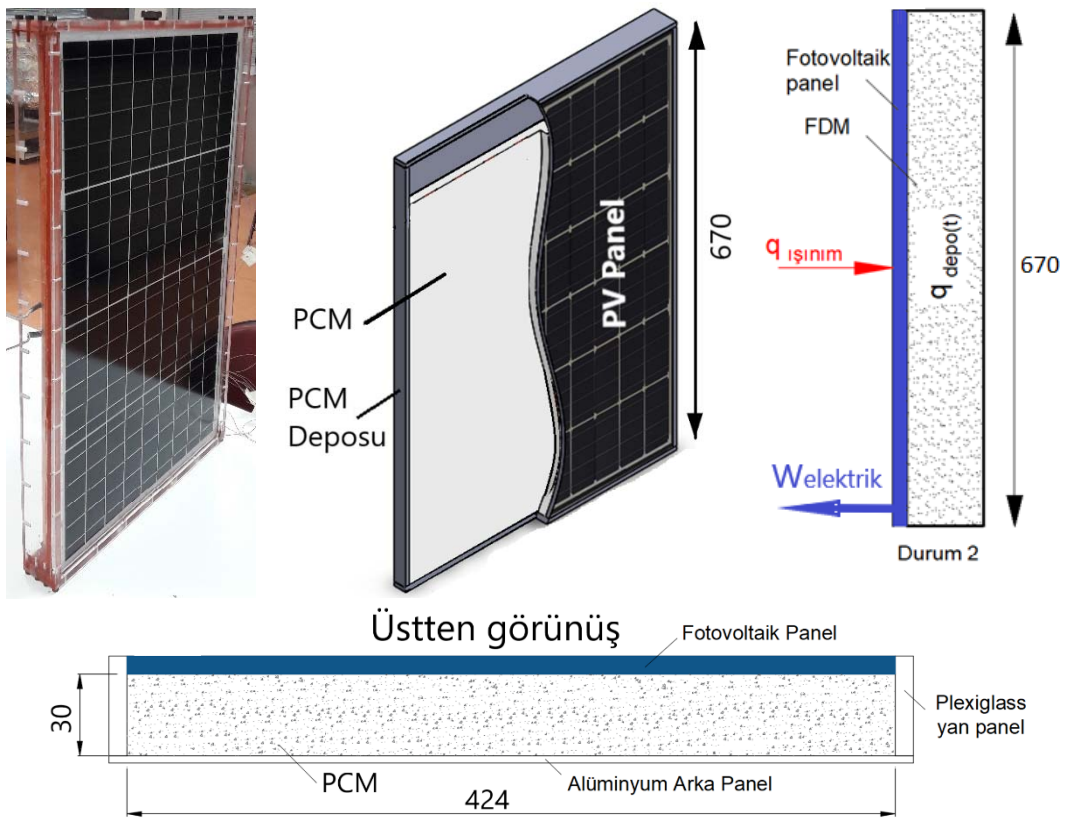
**Bu çalışmada, bir PV/PCM sisteminin elektriksel ve termal performansı laboratuvar ortamında yapay ışık kaynağı altında incelenmiştir. Deneyler standart test koşulları altında yapılmış olup sistemden elde edilen performans verileri farklı yerleşim açıları ve farklı toplam ışınlanma miktarları için ısı alıcısız (referans) sistem ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma ile PCM'in faz dönüşüm davranışıyla panelin elektriksel verimi arasındaki ilişki ve termal regülasyon sonrası sistemin performansındaki değişim açıkça ortaya konmuştur.**

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma kapsamında bir PV/PCM sisteminin elektriksel ve termal performansı deneysel olarak laboratuvar ortamında incelenmiştir. Çalışma koşulları dikkate alındığında fotovoltaik paneller sahip oldukları düşük verim değerleri ( $\eta = \%15$ ) sebebiyle güneş ışınımının az bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Kalan kısmı ise panel üzerinde ısı enerjisine dönüşerek panel sıcaklığında artışa ve verim düşüşüne sebep olmaktadır. PV panel üzerinde biriken bu ısının PCM yardımıyla soğurulması için çalışma kapsamında bir PV/PCM sistemi oluşturulmuştur.

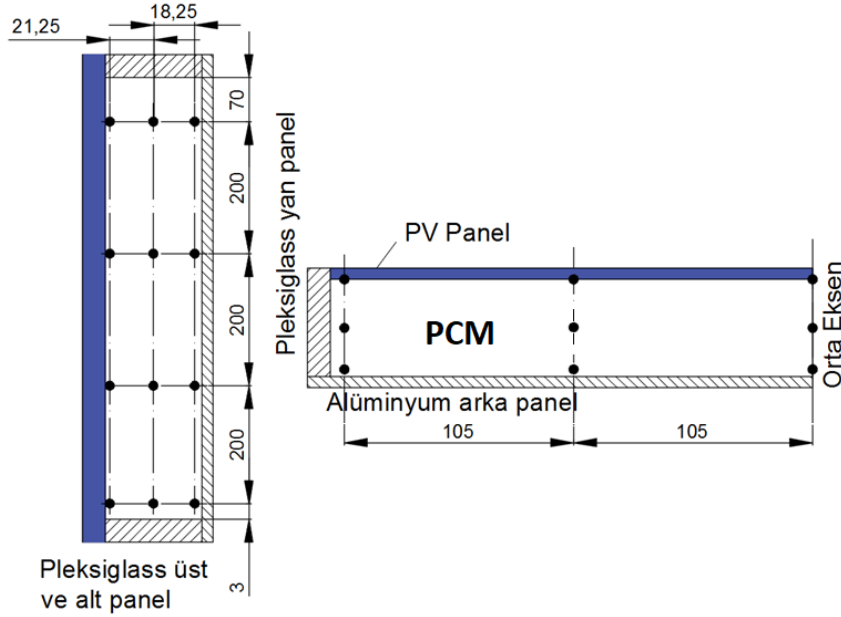
### 2.1 Test Bölgesi

Test bölgesi bir PV panel ve panel arkasına PCM temelli bir ısı alıcının yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. PCM temelli ısı alıcısı ile oluşturulan PV/PCM sisteme ait bileşenler ve geometrik ölçüler Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Test bölgesinin fotoğrafı, bileşenleri ve geometrik ölçüleri

Şekilden görüldüğü üzere PCM, PV panel arkasında oluşturulan prizmatik boşluk içerisine depolanmaktadır. PCM'in depolandığı hacmin yan duvarları deney süresinde görsel kontrollerin yapılabilmesi için plexiglass malzemeden, arka duvar ise alüminyum malzemeden yapılmıştır. Depo içerisinde PCM panel arka yüzeyiyle doğrudan temas halinde olup çalışma süresi boyunca panel üzerinde biriken ısının bir kısmını absorbe etmektedir. Deneylerde 50 W nominal güce sahip 424 mm × 670 mm boyutlarında monokristal bir fotovoltaik panel kullanılmıştır. İmal edilen PCM destekli ısı alıcısı fotovoltaik panel ölçüleriyle sınırlı tutulmuş olup panelin arka kısmına bitişik şekilde yerleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümleri panel arkasına ve PCM katmanına içerisine yerleştirilmiş  $\pm 0.5$  °C hassasiyete sahip T-tipi termoeleman çiftleri vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Termoeleman çiftlerinin konumları Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2 Termoleman çiftlerinin yerleşim düzeni

Çalışmada PCM olarak organik bir parafin olan Rubitherm RT-35HC kullanılmıştır. İlgili madde toksik ve yanıcı özellik göstermeyen yüksek saflık ve gizli ısı depolama kapasitesine sahip ticari bir parafindir. PV/PCM sisteminde kullanılacak PCM'in seçiminde şu kriterler dikkate alınmıştır [29].

- PCM'nin faz dönüşüm sıcaklığının fotovoltaik panellerin nominal çalışma sıcaklığı olan 25 °C sıcaklığına yakın olması
- Faz dönüşüm sıcaklığının yaz aylarındaki gündüz ortalama sıcaklık değerinden yüksek olması
- Kış aylarında güneşlenme saatleri içerisinde PCM'nin eriyebilmesi için PV panelin ortalama sıcaklığından düşük olması
- Gece saatlerinde katılaşabilmesi için faz dönüşüm sıcaklığının yazın ortalama gece sıcaklığından yüksek olması

Belirtilen kriterler dikkate alınarak PCM olarak 34-36°C katı-sıvı faz dönüşüm aralığına sahip RT-35HC tercih edilmiştir. Isı alıcısı içerisinde **6,75 kg PCM kullanılmıştır**. PCM'e ait termofiziksel özellikler Tablo 2.1'de listelenmiştir.

Tablo 2.1 RT-35HC'nin termofiziksel özellikleri[30].

Yoğunluk ( $kg.m^{-3}$ )	Viskozite ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ )	Özgül ısı ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ )	Isıl iletkenlik ( $W.m^{-1}.k^{-1}$ )	Faz aralığı (°C)	Gizli ısı ( $kJ.kg^{-1}$ )
778.2	0.0044	2000	0.116	34,5-36	220

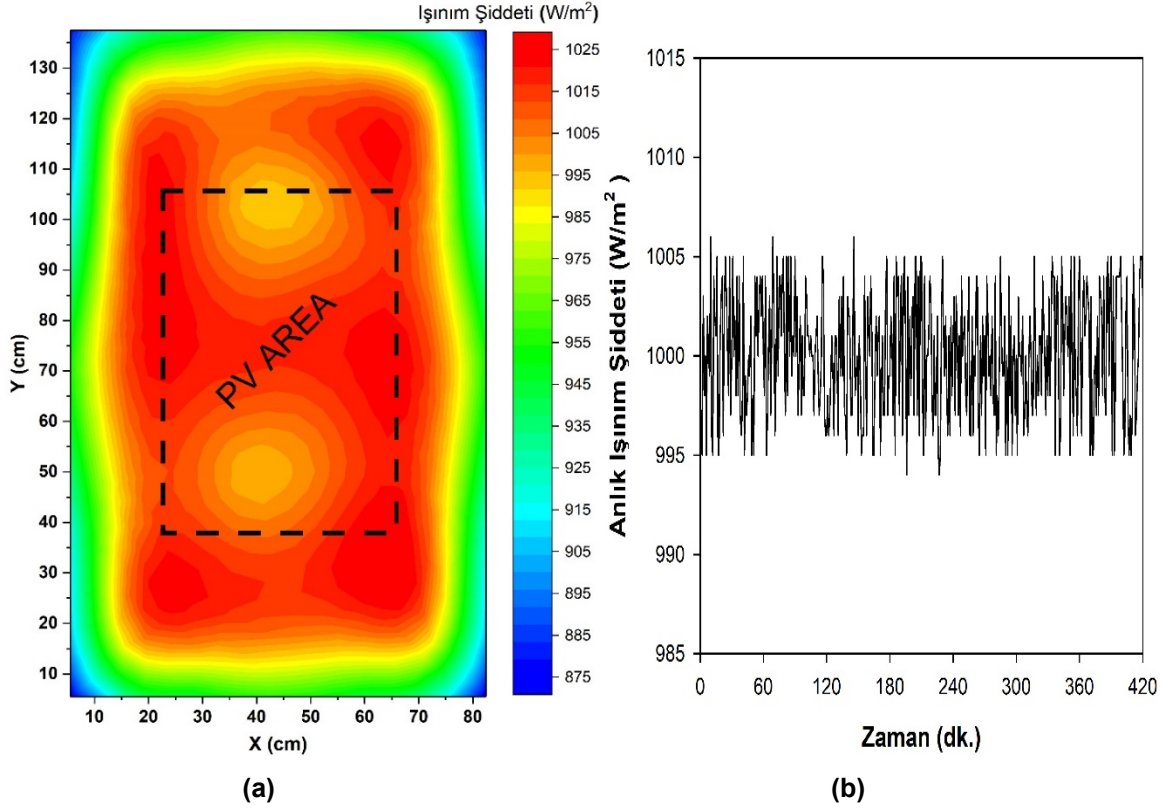
## 2.2 Deneş Düzeneği ve Çalışma Prensibi

Çalışma kapsamında deneyler laboratuvar ortamında yapay ışık kaynağı altında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede değişken meteorolojik koşulların tekrarlı deneyler üzerinde oluşturduğu olumsuz etki giderilebilmiş ve tüm deneylerde aynı ortam şartları sağlanabilmiştir. İlgili deneş düzeneğine ait fotoğraflar ve bileşenler Şekil 2.3'de verilmiştir.



**Şekil 2.3** Deney düzeneği ve bileşenleri

Deney düzeneği temel olarak bir şartlandırma kabini, yapay ışık kaynağı, test bölgesi ve ölçüm cihazlarından oluşmaktadır. Şartlandırma kabini 2000 mm × 1000 mm × 1500 mm ölçülere sahip olup deney süresi boyunca test bölgesini sabit ortam şartları altında tutabilmek amacıyla 5200 W soğutma gücüne sahip bir soğutma sistemiyle desteklenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan yapay ışık kaynağında toplamda 176 adet 50 W gücünde halojen spot lamba PV panel üzerine uygulanan ışınımın üniforma yakın olabilmesi için 11 × 16 formunda eş aralıklarla konumlandırılmıştır. Tüm spot lambaların yansıtıcıları kapalı prizmatik bir hacim içerisinde tutulmakta olup ilgili hacim yüksek debi sağlayabilen radyal bir fan ile soğutulabilmektedir. Fanın sağladığı hava kabinin dış ortamından alınıp tekrar dış ortama atılmıştır (iki ayrı baca kullanılmıştır). Böylece, ışık kaynağının soğutulmasında soğutma sistemine ek yük oluşturulmamış olup; kabin içerisindeki fan kaynaklı hava hareketi engellenmiştir. Işık kaynağı, ayrıca, 20 kW'lık bir dimmer (kısmı) devresiyle entegre edilmiş olup; ışınım şiddeti ayarı yapılabilmekte ve kabin içerisinde farklı açı ve pozisyonlarda da konumlandırılabilir. Şekil 2.4'de yapay ışık kaynağından elde edilen ışınım haritası ve ışınım şiddetinin anlık değişimi verilmiştir. Şekilden de görülebildiği üzere panel iz düşüm alanı içerisindeki ışınım şiddetinin yerel ve zaman bağımlı değişimi %5'in altındadır.



**Şekil 2.4** Test bölgesinden alınan ışınım haritası (a), ışınım şiddetinin zamanla değişimi (b).

Deneyler boyunca test bölgesi üzerinde sıcaklık, ışınımın şiddeti ve PV panelin ürettiği anlık akım ve voltaj değerleri olmak üzere dört farklı büyüklük ölçülmüştür. İlgili büyüklüklerin ölçümünde kullanılan ekipmanlar şu şekildedir:

#### **Sıcaklık ölçümü**

Sıcaklık ölçümleri, 0.25 mm çapında dışı izoleli T-tipi termoeleman çiftleri kullanılarak yeterli sayıda kanala sahip bir veri toplama cihazı üzerinden alınmıştır (Rigol M300). Deneyler boyunca sistem üzerinden toplanan sıcaklık değerleri veri toplama cihazı aracılığıyla bilgisayar ortamına 30 saniyelik aralıklarla düzenli olarak kaydedilmiştir.

#### **Elektriksel güç ölçümü**

Deney süresi boyunca PV panel tarafından üretilen elektriksel gücün belirlenmesi için düzenli olarak maksimum güç nokta takibi yapılmıştır. İlgili nokta takibi DC yük cihazı (Rigol DL3021A,150W) üzerinden her 30 saniyede bir elde edilen I-V eğrileri üzerinden yapılmıştır. İlgili eğriler cihazın sabit direnç (yük) modunda adım (step) fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir. Direnç değeri 2 ohm'dan 1000 ohm'a hızlıca değiştirilirken her adımda akım ve gerilim değerleri kaydedilerek I-V eğrileri ve eğri üzerinden  $P_{MAX}$  tayini yapılmıştır. Elektriksel davranışın izlenmesi için tercih edilen bu yöntem hızlı ve hassas ölçüm sağlaması açısından sürece uygun olup; konu ile ilişkili güncel çalışmalarda da tercih edilmektedir [31-34]. Belirli bir elektriksel yüke bağlanan PV panelin anlık güç çıktısı;

$$P_{anlık} = I_{anlık} \times V_{anlık} \quad (1)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada, I ve V, sırasıyla, panelden ölçülen akım ve gerilim değerleridir. PV panelin maksimum güç noktasında çalışması durumunda ilgili eşitlik;

$$P_{max} = (I \times V)_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2)$$

halini almaktadır. Toplam üretilen elektrik enerjisi miktarı ise 30 s ara ile tespit edilen maksimum güç çıktılarının aritmetik ortalamasının deney süresiyle çarpılmasıyla bulunmuştur.



$$P_{\text{topl}} (Wh) = P_{\text{max}} (\text{anlık}) (W) \times (30/ 3600 \text{ sec}) (h) \quad (3)$$

### **Işınım şiddetinin ölçümü**

PV panel üzerine düşen termal radyasyonun doğru ölçülmesi için kullanılan ölçüm cihazının ışık kaynağına uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada, ışık kaynağı olarak halojen lambaların kullanılması sebebiyle (spektrum 250-2500nm) [35] şiddet ölçümü için termopil piranometre (Kipp&Zonen-CMP11) kullanılmıştır. Cihaz termopil prensibiyle çalışmakta olup 285-2800 nm spektral ölçüm aralığıyla halojen lamba spektrumunun tamamına yakınına kapsamaktadır.

### **Belirsizlik Analizi**

Deneylerde kullanılan ölçüm ekipmanlarına ait belirsizlikler Tablo 2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2** Ölçümlere ait belirsizlikler

Ölçülen değer	Belirsizlik
Sıcaklık	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
Gerilim (Sabit direnç modunda)	$\pm \%0.05$
Akım (Sabit direnç modunda)	$\pm \%0.1$
Işınım şiddeti (G)	$\pm \%0.5$

Deneylerde ölçülen gerilim (V), akım (I) ve ışınım şiddeti (G) bağımsız değişkenleri üzerinden güç (W) ve elektriksel verim ( $\eta$ ) hesaplanmaktadır. İlgili çıktılar için belirsizlik, aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$w_p = \left[ \left( \frac{\partial P}{\partial V} v \right)^2 + \left( \frac{\partial P}{\partial I} w_I \right)^2 \right]^{1/2}, \quad w_{\eta} = \left[ \left( \frac{\partial \eta}{\partial V} w_V \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial I} w_I \right)^2 + \left( \frac{\partial \eta}{\partial G} w_G \right)^2 \right]^{1/2}$$

Güç ve verim için belirsizlikler; sırasıyla,

$$\frac{w_p}{P} = \%0,11 \quad \text{ve} \quad \frac{w_{\eta}}{\eta} = \%0,51 \quad \text{olarak hesaplanmıştır.}$$

### **Deney prosedürü**

Çalışma kapsamında yapılan deneyler PV panel testlerinde standart test koşulu olarak kabul edilen  $1000\text{W}/\text{m}^2$  ışınım şiddeti ve  $25^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney süresinin tayininde ise Türkiye için yaz ayları günlük ortalaması olan **6700 Wh/m<sup>2</sup>** toplam ışınlanma değeri dikkate alınmıştır [36]. Bu durumda deney süresi ise **7 saat** olarak dikkate alınmıştır. Deneylerde izlenen prosedür sırasıyla şu şekildedir:

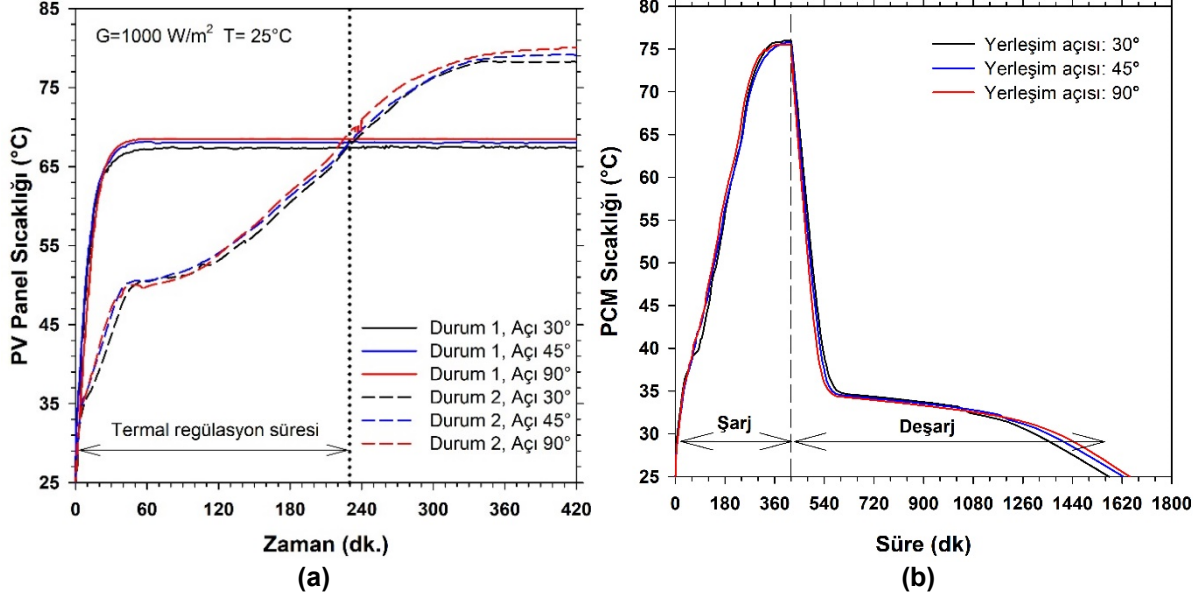
1. Şartlandırma kabini ve kabin ortamında tutulan test bölgesi (PV/PCM)  $25^{\circ}\text{C}$ 'ye şartlandırılır.
2. Şartlanmayı takiben yapay ışık kaynağı devreye alınır, ışınım şiddeti dimmer devresi yardımıyla istenilen değere set edilir.
3. Tüm ölçüm cihazları üzerinden periyodik ölçümler alınmaya başlanır ve deney süresi başlatılmış olur.
4. Her deney süresinin başlangıcından itibaren sistem üzerinden I-V eğrileri ve sıcaklık değerleri 30 saniye aralıklarla ölçülerek kaydedilir.
5. Deney süresinin tamamlanmasının ardından ışık kaynakları kapatılır ve PV/PCM sisteminin başlangıç koşuluna dönme süresi (PCM'in deşarj süresi) belirlenir.

## **3. BULGULAR VE İRDELEME**

Çalışma kapsamında bir PV/PCM sisteminin ısı ve elektriksel performansı standart test koşulları altında ( $1000\text{W}/\text{m}^2$  ışınım şiddeti ve  $25^{\circ}\text{C}$ ) laboratuvar ortamında yapılan deneylerle elde edilmiş ve faz dönüşüm karakteristiği ve sistem performansı arasındaki ilişkiler deneysel olarak ortaya konmuştur. PV/PCM sisteminin yanı sıra ısı alıcısız (referans) sistemler üzerinde de deneyler

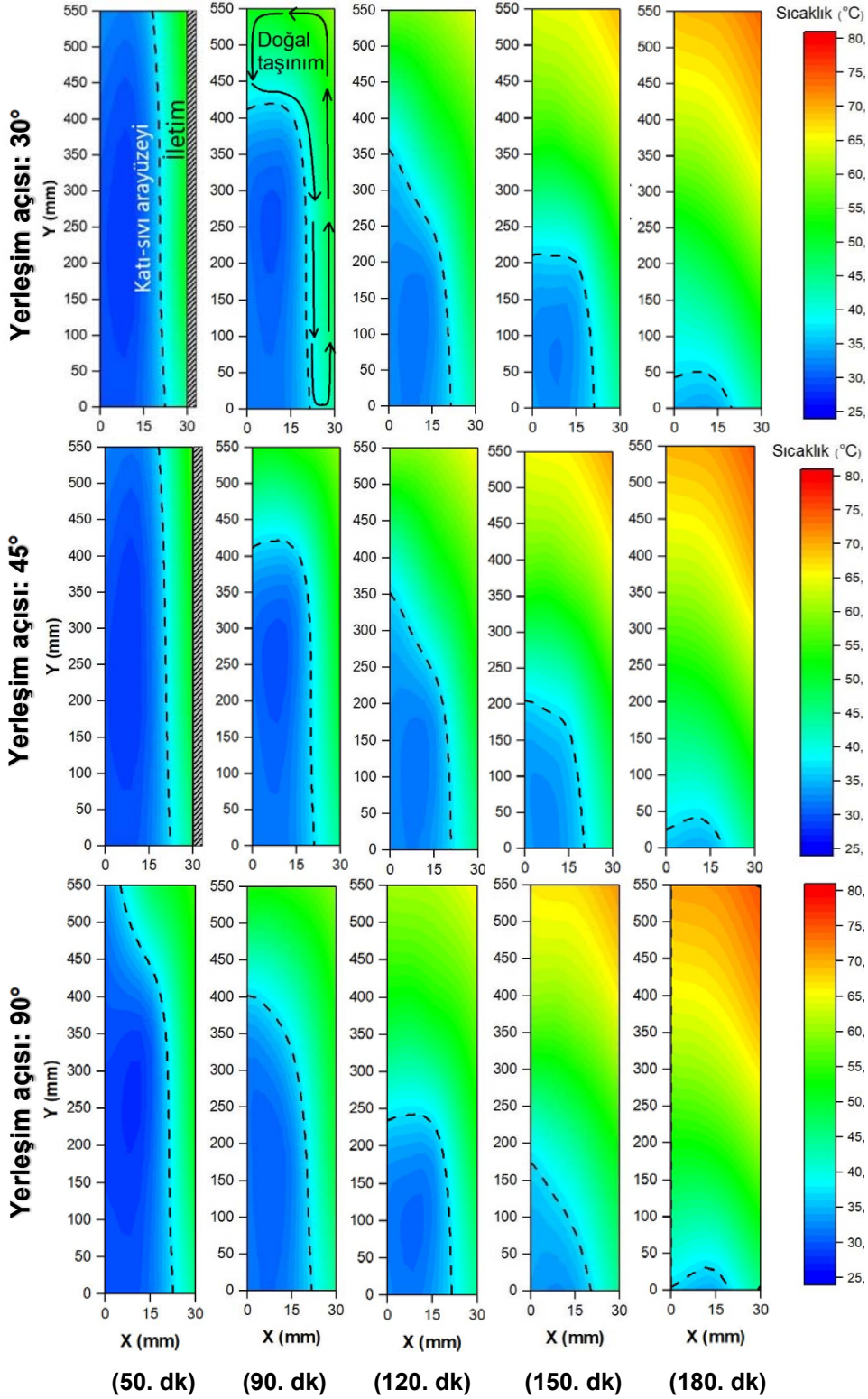
gerçekleştirilmiş ve ele alınan sistemlere ait zaman bağımlı sıcaklık ve elektriksel güç ölçümleri üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır.

Şekil 3.1'de ısı alıcısız (Durum 1) ve PV/PCM (Durum 2)'ye ait ortalama PV panel ve PCM sıcaklığının zamanla değişimi farklı yerleşim açıları için verilmiştir. Şekil 3.1a incelendiğinde ısı alıcısız PV panel sıcaklığının deney süresinin ilk 60 dakikası içerisinde hızlı bir şekilde artarak yaklaşık 68°C'ye yükseldiği ve sıcaklığını bu değerde koruduğu görülmektedir.



Şekil 3.1 PV panel sıcaklığının değişimi(a), PCM sıcaklığının(PV/PCM) değişimi (b).

Yerleşim açısındaki değişim, ısı alıcısız panelin sıcaklık artışı üzerinde önemli bir etki oluşturmamış olup; yerleşim açısının 30°'den 90°'ye yükselmesiyle daimi durum sıcaklığı yaklaşık 1,5°C artmıştır. Bu durum PV panelin yerleşim açısının değişmesiyle birlikte ön ve arka yüzeyler üzerinden dış ortama doğal taşınım ile transfer olan ısı arasındaki denge değişimiyle açıklanabilir. PV panel arkasında PCM temelli bir ısı alıcısı uygulanmasıyla (Durum 2), sıcaklık artış karakteristiğinde değişim meydana gelmektedir. Şekil 3.1 incelendiğinde, ısı alıcılı sistemde panel sıcaklık artışının 35°C'den sonra yavaşlamaya eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu noktada sıcaklık artışındaki yavaşlama PCM'in (Rubitherm RT 35HC) yaklaşık bu değerde (34-36°C) faz dönüşümüne girmesiyle ilişkilidir. PCM'in faz dönüşüm süreci boyunca yüksek miktarda ısı depolayabilmesi sayesinde temas halinde bulunduğu panelin sıcaklık artışını yavaşlatabilmektedir. Durum 2'ye ait sıcaklık artışı tüm deney süreci göz önüne alınarak incelendiğinde ise sıcaklığın 50°C civarında belirli bir süre sabitlendiği görülmektedir. 50 ve 120'inci dakikalar arasında panel sıcaklığı 50'den 53°C'ye yalnızca 3°C yükselmiş ve 120'inci dakikadan itibaren tekrar hızlı bir yükselişe geçmiştir. Panel sıcaklık artışında meydana gelen bu ani ve yüksek orandaki yavaşlama panel ve PCM arasındaki PCM'in erime sürecine bağlı değişen ısı transfer hızıyla ilişkilidir. Bu ilişkinin daha iyi açıklanabilmesi için PCM'in farklı noktalarından alınan sıcaklık değerleri üzerinden eş sıcaklık eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 3.2). İlgili şekilde kesikli çizgi 36°C çizgisi olup erimeye bağlı ilerleyen katı-sıvı ara yüzünü temsil etmektedir.



Şekil 3.2 PV/PCM (Durum 2) için eş sıcaklık eğrileri ve katı-sıvı ara yüzünün gelişimi.

Şekil 3.2'de 50'nci dakika için verilen görsel incelendiğinde sıcaklık dağılımının Y yönünde (PV paneli paralel doğrultuda) üniform ve katı-sıvı ara yüzünün ise düzlemsel yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, deney süresinin ilk 50 dakikasında panel ve PCM arasındaki ısı geçiş mekanizmasının temel olarak iletim olmasından kaynaklanmaktadır. 50'nci dakikadan itibaren sıvı PCM hacminin yeterince

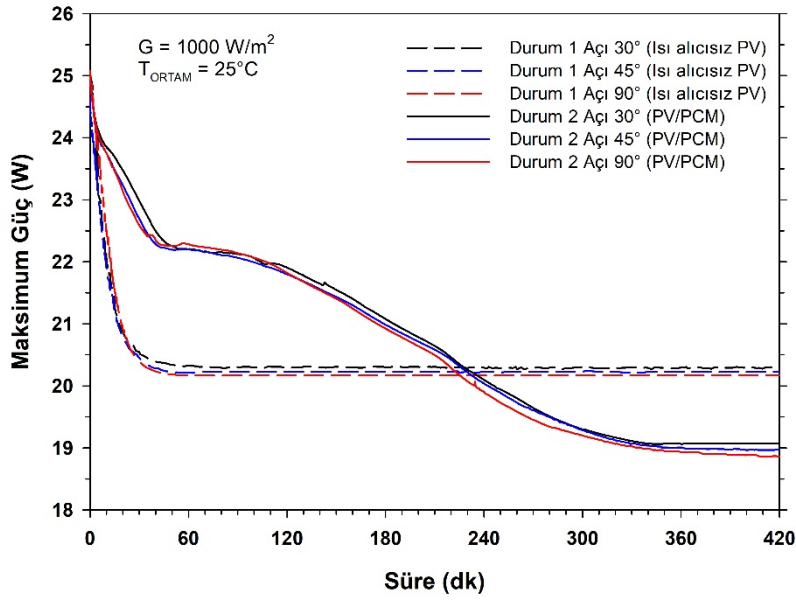
genişlemesiyle birlikte PCM içerisinde doğal taşınım hareketi oluşmaya başlamakta ve iletme ek olarak doğal taşınım ile da etkin bir şekilde ısı geçişi gerçekleşmeye başlamaktadır. İletme ek olarak ikincil bir mekanizma ile ısının geçişi sonucu ısı transfer katsayısı önemli miktarda artmakta ve 50'nci dakikadan itibaren ısı artış hızında ani bir yavaşlama gözlemlenmektedir. Deneyin ilerleyen süreçlerinde doğal taşınımın etkin rol oynamasıyla katı-sıvı ara yüzünün düzgün ilerleyişi değişmekte ve PCM katmanının üst kısımlarında daha yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenmektedir. İlgili durum 50'nci dakikadan sonraki zaman adımları için verilen eş sıcaklık eğrilerinden görülebilmektedir. 120'nci dakikadan itibaren artan PCM sıcaklığı ve erimenin %65 orana ulaşmasıyla ısı alıcısının soğutma performansı düşmeye başlamakta ve panel sıcaklığı hızlı bir yükselişe geçmektedir. 230'uncu dakikadan itibaren panel sıcaklığının 68°C'ye ulaşmasıyla termal regülasyon süreci bitmiş olup; panel sıcaklığı ısı alıcısız PV panel sıcaklığını geçmiştir (Şekil 3.1a). Bu zaman adımından sonra ısı alıcısındaki PCM tümüyle erimiş halde olup; PCM temelli ısı alıcısı soğutma kabiliyetini yitirmiştir. Bu noktadan sonra; PCM, düşük ısı iletkenliği sebebiyle panel arkasında yalıtım tabakasına benzer bir davranış göstererek panel sıcaklığının 80°C gibi çok daha yüksek bir sıcaklığa ulaşmasına sebep olmuştur. İfade edilen bu mekanizmalar ve kritik zaman adımları tüm yerleşim açıları için benzerlik göstermiştir.

Şekil 3.1b'de ise PCM'in sıcaklık değişimi şarj ve deşarj süreçleri için birlikte verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ışınımın uygulandığı süre (şarj) boyunca ortalama PCM sıcaklığı 75°C'ye kadar düzenli bir artış göstermiş ve şarj süresinin sonuna doğru bu değerde daimi duruma ulaşmıştır. Şarj süresinin (7 saat) tamamlanmasının ardından ışık kaynağı kapatılmış ve PCM'in başlangıç sıcaklığına (25°C'ye) dönüş süresi incelenmiştir. PV/PCM sistemi için yapılan ısı analiz neticesinde elde edilen termal regülasyon ve deşarj süreleri Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere; 3 cm PCM kalınlığı için panel sıcaklığı yaklaşık 230 dakika ısı alıcısız panel sıcaklığının altında tutulabilmektedir. Önemli bir diğer bulgu ise deşarj süresinin 3 cm PCM kalınlığı için yaklaşık 20 saat olmasıdır. Bu sürenin oldukça uzun olduğu ve ilgili sürenin kısaltılması yönünde bazı önlemler alınması gerektiği ifade edilmelidir.

**Tablo 3.1** PV/PCM sistemine ait termal regülasyon ve deşarj süreleri

	Durum 2		
	30°	45°	90°
Termal regülasyon (dk)	227	230	225
Deşarj süresi (saat)	19	20	20,3

Çalışma kapsamında PV/PCM sistemi üzerinden sıcaklık ölçümleriyle eş zamanlı elektriksel güç ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. PV panelin maksimum güç çıktısının deney süresi boyunca değişimi Şekil 3.3'de farklı yerleşim açıları için verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ısı alıcısız durum için panelden elde edilen maksimum güç panel sıcaklığının 25°C'den 68°C'ye ani şekilde yükselmesiyle 25'den 20,2 W'a düşmüştür. Panel arkasına PCM temelli ısı alıcı uygulanmasıyla sıcaklık artışıdaki yavaşlamanın maksimum güç üzerindeki olumlu etkisi şekilden açıkça görülebilmektedir. Isı alıcısı uygulamasıyla yaklaşık 4 saat boyunca PV/PCM sisteminin maksimum güç çıktısı ısı alıcısız PV panelin üzerinde olmuştur. Fakat termal regülasyon süresinin tamamlanmasının ardından panel sıcaklığında istenmeyen artışların meydana gelmesiyle PV/PCM sisteminin güç çıktısı ısı alıcısız PV panelin altında kalmaya başlamıştır. Şekilden görüldüğü üzere PV/PCM sisteminin maksimum gücü deney süresinin sonuna doğru 19 W değerine düşmüştür. Bu olumsuzluk, regülasyon süresi boyunca ısı alıcısı uygulamasıyla güç değerinde elde edilen kazanımın zamanla kaybolmasına sebep olmaktadır. Güç çıktılarının daha iyi ortaya konması için Tablo 3.2'de farklı toplam ışınım miktarları için Durum 1 ve Durum 2'den elde edilen güç çıktıları derlenmiştir. Tablodan görüldüğü üzere; PV/PCM sistemiyle referans duruma kıyasla güç çıktısında elde edilen kazanç ilk 1 saatin sonunda en yüksek değerindeyken (%9,5); bu değer, termal regülasyon süresinin (4 saat, 4000 Wh/m<sup>2</sup>) ardından hızlı bir şekilde düşerek deney süresinin sonunda %1,5'lere kadar gerilemiştir. Bu sonuç, PV/PCM sistem tasarımlarında termal regülasyon süresinin toplam ışınım miktarını dikkate alarak doğru tayin edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.3 Maksimum güç değerlerinin deney süresi boyunca değişimi

Tablo 3.2 Farklı zaman adımları için elektriksel güç çıktıları

		Toplam ışıınım miktarları (Wh/m <sup>2</sup> )						
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Durum 1, Y. Açılış 30°	Toplam elektrik üretim miktarı (Wh)	21,24	42,24	62,20	82,56	102,92	123,37	142,90
	Durum 1, Y. Açılış 45°	21,11	41,47	61,69	82,05	102,62	122,93	142,40
Durum 1, Y. Açılış 90°	Toplam elektrik üretim miktarı (Wh)	21,40	41,56	61,72	81,88	102,04	122,20	142,29
	Durum 2, Y. Açılış 30°	23,26	45,35	66,87	87,47	107,13	126,73	145,18
Durum 2, Y. Açılış 45°	Durum 1'e kıyasla kazanç (%)	9,53	7,35	7,50	5,95	4,10	2,72	1,60
	Toplam elektrik üretim miktarı (Wh)	23,11	45,15	66,57	87,11	107,05	126,30	144,66
Durum 2, Y. Açılış 90°	Durum 1'e kıyasla kazanç (%)	9,50	8,87	7,91	6,17	4,32	2,74	1,58
	Toplam elektrik üretim miktarı (Wh)	23,11	45,22	66,60	87,05	106,70	125,89	144,31
Durum 2, Y. Açılış 90°	Durum 1'e kıyasla kazanç (%)	7,99	8,80	7,91	6,31	4,57	3,02	1,42

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında bir PV/PCM sisteminin termal ve elektriksel davranışı deneysel olarak incelenmiş olup çalışmadan elde edilen sonuçlar şu maddelerle özetlenebilir:

- PV panel üzerine düşen ışıınım enerjisi panellerin düşük verimlilikleri sonucu büyük oranda ısı formunda panel üzerinde birikerek hücre sıcaklıklarında artışa sebep olmaktadır. Bu sıcaklık artışı PV panellerin güç çıktıları üzerinde olumsuz etki yaratarak verimliliğin düşmesine yol açmaktadır.

- Standart test koşulları altında yapılan deneylerde, ısı alıcısı uygulanmayan PV panel sıcaklıklarının 1 saat içerisinde 68°C'ye ulaştığı ve güç çıktısının yaklaşık %19 oranında azaldığı görülmüştür.
- Pasif bir soğutma sistemi olan PCM temelli ısı alıcısı uygulaması ile (PV/PCM) ısı alıcısız panellerde gözlemlenen sıcaklık artışı yavaşlatılabilmiş ve belirli bir süre ısı alıcısız panel sıcaklığının altında tutularak regüle edilebilmiştir.
- PV-PCM uygulaması ile (Durum 2) 3 cm PCM kalınlığı için termal regülasyon süresi ortalama 230 dakika olarak tespit edilmiştir. Bu sürenin ardından PCM'in erime sürecini tamamlamış olması sonucu panel sıcaklıklarındaki artış devam etmiş ve 80°C gibi yüksek seviyeler gözlemlenmiştir.
- PV/PCM sistemi (Durum 2) için elektrik güç çıktısında elde edilen kazanım, regülasyonun bittiği zaman adımı için yaklaşık %6 olarak tespit edilmiştir. İlgili sürenin ardından sıcaklık artışının devam etmesi sonucu bu değer yaklaşık %1,5'e gerilemiştir. Bu sonuç, termal regülasyon süresinin önemini ortaya koymakta olup; ilgili süre toplam ışıyım miktarına uygun olması gerektiği ifade edilmelidir. Bu durum, deney sürelerinde gerekli düzenlemeler yapılarak çalışmalarda dikkate alınmalıdır.
- İncelenen 3 cm PCM kalınlığına sahip PV/PCM sisteminde yerleşim açısının üretilen elektrik enerjisi ve termal regülasyon süreleri üzerindeki etkisi %3'ün altında olmuştur.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma bir TÜBİTAK 1002 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- [1] Ahmad, A., Navarro, H., Ghosh, S., Ding, Y., Roy, J.N., 2021. "Evaluation of New PCM/PV Configurations for Electrical Energy Efficiency Improvement through Thermal Management of PV Systems", *Energies*, 14, 4130.
- [2] Huang, B.J., Lin, T.H., Hung, W.C., Sun, F.S., 2001. "Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems", *Solar Energy* 70 (5), 443-448.
- [3] Tiwari, A., Sodha, M.S., Chandra, A., Joshi, J.C. 2006. "Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 2, 175-189.
- [4] Aste, N., Chiesa, G., Verri, F., 2008. "Design, development and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) air collector", *Renewable Energy*, 33 (5), 914-927.
- [5] Joshi, A.S., Tiwari, A., Tiwari, G.N., Dincer, I., Reddy, B.V. 2009. "Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system", *International Journal of Thermal Sciences*, 48, 154-164.
- [6] Odeh, S., Behnia M., 2009. "Improving Photovoltaic Module Efficiency Using Water Cooling", *Heat Transfer Engineering*, 30:6, 499-505.
- [7] Moharram, K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A., El-Sherif, H., 2013. "Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling", *Ain Shams Engineering Journal*, 4, 4, 869-877.
- [8] Herrando, M., Markides, C. N., Hellgardt, K., 2014. "A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: System performance", *Applied Energy*, 122, 288-309.
- [9] Kroiß, A., Präbst, A., Hamberger, S., Spinnler, M., Tripanagnostopoulos, Y., Sattelmayer, T., 2014. "Development of a Seawater-proof Hybrid Photovoltaic/thermal (PV/T) Solar Collector", *Energy Procedia*, 52, 93-103.

- [10] Shan, F., Tang, F., Cao, L., Fang, G., 2014. "Comparative simulation analyses on dynamic performances of photovoltaic-thermal solar collectors with different configurations", *Energy Conversion and Management*, 87, 778-786.
- [11] Hussien, H. A., Numan, A. H., Abdulmunem A. R., 2015. "Improving of the photovoltaic / thermal system performance using water cooling technique", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 78, 012020.
- [12] Khanjari, Y., Pourfayaz, F., Kasaeian, A.B., 2016. "Numerical investigation on using of nanofluid in a water-cooled photovoltaic thermal system", *Energy Conversion and Management*, 122, 263-278.
- [13] Ooshaksaraei, P., Sopian, K., Zaidi, S. H., Zulkifli, R., 2017. "Performance of four air-based photovoltaic thermal collectors configurations with bifacial solar cells", *Renewable Energy* 102 (B), 279-293.
- [14] Tiwari, A. K., Sontake, V. C., and Kalamkar, V. R., 2019. "Enhancing the Performance of Solar Photovoltaic Water Pumping System by Water Cooling Over and Below the Photovoltaic Array.", *ASME. J. Sol. Energy Eng.*, 142(2), 021005.
- [15] Hadipour, A., Zargarabadi, M. R., Rashidi, S., 2021 "An efficient pulsed- spray water cooling system for photovoltaic panels: Experimental study and cost analysis", *Renewable Energy*, 164, 867-875.
- [16] Sornek, K.; Goryl, W.; Figaj, R.; Dąbrowska, G.; Brezdeń, J., 2022. "Development and Tests of the Water Cooling System Dedicated to Photovoltaic Panels", *Energies*, 15, 5884.
- [17] Huang, M.J., Eames, P.C., Norton, B. 2004. "Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, 2715–2733.
- [18] Huang, M.J., Eames, P.C., Norton, B., Hewitt, N.J. 2011. "Natural convection in an internally finned phase change material heat sink for the thermal management of photovoltaics", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 1598–1603.
- [19] Khanna, S., Reddy, K.S., Mallick, T.K. 2018. "Optimization of finned solar photovoltaic phase change material (finned pv pcm) system", *International Journal of Thermal Sciences*, 130, 313–322.
- [20] Variji, N., Siavashi, M., Tahmasbi, M., Bidabadi, M., 2022. "Analysis of the effects of porous media parameters and inclination angle on the thermal storage and efficiency improvement of a photovoltaic-phase change material system", *Journal of Energy Storage*, 50, 104690.
- [21] Nehari, T., Benlekkam, M., Nehari, D., Youcefi, A., 2016. "The Effect of Inclination on the Passive Cooling of The Solar PV Panel by Using Phase Change Material", *International Journal of Renewable Energy Research*, 6, No.1.
- [22] Khanna, S., Reddy, K.S., Mallick, T.K. 2017. "Performance analysis of tilted photovoltaic system integrated with phase change material under varying operating conditions", *Energy*, 133, 887–899.
- [23] Hasan, A., McCormack, S. J., Huang, M.J., Norton, B. 2010. "Evaluation of phase change materials for thermal regulation enhancement of building integrated photovoltaics", *Solar Energy*, 84, 1601–1612.
- [24] Hasan, A., McCormack, S.J., Huang, M.J., Norton, B. 2014. "Characterization of phase change materials for thermal control of photovoltaics using Differential Scanning Calorimetry and Temperature History Method", *Energy Conversion and Management*, 81, 322–329.
- [25] Nouira, M., Sammouda, H. 2018. "Numerical study of an inclined photovoltaic system coupled with phase change material under various operating conditions", *Applied Thermal Engineering*, 141, 958–975.
- [26] Khanna, S., Newar, S., Sharma, V., Reddy, K. S., Mallick, T.K., Radulovic, J., Khusainov, R., Hutchinson, D., Becerra, V. 2019. "Electrical enhancement period of solar photovoltaic using phase change material", *Journal of Cleaner Production*, 221, 878–884.
- [27] Klugmann-Radziemska, E., Wcisło-Kucharek, P. 2017. "Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials", *Solar Energy*, 150, 538–545.
- [28] Japs, E., Sonnenrein, G., Krauter, S., Vrabec, J. 2016. "Experimental study of phase change materials for photovoltaic modules: Energy performance and economic yield for the EPEX spot market", *Solar Energy*, 140, 51-59.
- [29] Hasan, A., Sarwar, J., Alnoman, H., 2017. Abdelbaqi, S., "Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate", *Solar Energy*, 146, 417-429.

- [30] Nedumaran, M. S., Nagarajan, G., Hooman, K., 2022. "Numerical analysis of multiple phase change materials based heat sink with angled thermal conductivity enhancer", Journal of Energy Storage, 55(A), 105316.
- [31] Yin, E., Li, Q., Li, D., Xuan Y. 2019. "Experimental investigation on effects of thermal resistances on aphotovoltaic-thermoelectric system integrated with phase change materials" Energy, 169, 172-185.
- [32] Singh, P., Mudgal V., Khanna, S., Mallick, T.K., Reddy K.S. 2020. "Experimental investigation of solar photovoltaic panel integrated with phase change material and multiple conductivity-enhancing containers", Energy, 205, 118047.
- [33] Xu, H., Zhang, C., Wang, N., Qu, Z., Zhang, S. 2020. "Experimental study on the performance of a solarphotovoltaic/thermal system combined with phase change material" Solar Energy, 198, 202-211.
- [34] Adibpour, S., Raisi, A., Ghasemi, B., Sajadi, A.R., Rosengarten, G. 2021. "Experimental investigation of the performance of a sun tracking photovoltaic panel with Phase Change Material", Renewable Energy, 165, 321-333.
- [35] Esen, V., Sağlam, Ş., Oral, B., 2017. "Light sources of solar simulators for photovoltaic devices: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 77, 1240-1250.
- [36] Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. "Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018)" [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx) Son erişim tarihi: 20 Haziran 2021.

## ÖZGEÇMİŞ

### Oğuz Kaan YAĞCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim elemanı olarak görev yapmaktadır. 2013 yılında lisans, 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamlamış ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde doktora programına başlamıştır. Isı transferi, ısı enerji depolama, nanoakışkanlar ve akışkanlar mekaniği konularında çalışmalar yapmaktadır.

### Mete AVCI

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. 2022 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesinde Rektör Yardımcılığı görevine başlamış ve halen görevine devam etmektedir. Mikrokanallarda ısı ve kütle transferi, ısı enerji depolama, Newtonumsu olmayan akışkanlar dinamiği ve gözenekli ortamlarda aktarım konularında çalışmaktadır.

### Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Deneysel ve hesaplamalı ısı transferi, faz değişimli ısı transferi, ısı transferi iyileştirme, ısı depolama, mikro kanallarda akış ve ısı transferi, Newtonumsu olmayan akış ve ısı geçişi gibi konular üzerine çalışmaktadır. Prof. Aydın, TÜBA asli üyesidir.

### Burak MARKAL

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. 2010 yılında yüksek lisans, 2016 yılında ise doktorasını tamamlamıştır. Mikrokanallarda kaynamalı akış, ısı ve kütle transferi, ısı boruları, mikroakışkanlar, elektronik sistemlerin soğutulması, vorteks tüpler, dönmeli akışlar ve jet akışlar konularında çalışmaktadır.



# YERLEŞME TASARIMINDA ARAZİ KULLANIM ORANI VE MALZEME SEÇİMİNİN YÜZEYSEL AKIŞ MİKTARINA ETKİSİ

*Evaluation of the Impact of Land Use Ratios and Cover Material in Settlement Design on Stormwater Runoff*

**Halime Firdevs Taşkın**  
**Gülten Manioğlu**

## ÖZET

Yoğun kentleşme ile geçirimsiz sert yüzeylerin artışı ve buna bağlı olarak yeşil alanların azalmasının sonucunda, yağışın ardından toprak tarafından emilerek su döngüsüne katılması beklenen yağmur suyu yeraltına sızmadan yüzeysel akış olarak kaybedilmektedir. Bu çalışmada, yerleşme tasarımının bir sonucu olan arazi kullanım oranı ve yüzey örtü malzemelerinin yüzeysel akış miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma, kentleşme oranı yüksek İstanbul ilinde, farklı arazi kullanım oranları olan 3 farklı yerleşmede, çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan olmak üzere çeşitli alanların bulunduğu farklı senaryolar için gerçekleştirilmiştir. Böylece; yerleşmedeki arazi kullanım alanlarına ve oranlarına bağlı olarak yerleşmelerde oluşabilecek yüzeysel akış miktarı değerlendirilmiştir. Arazi kullanım oranlarının yanı sıra, söz konusu alanlar için farklı malzeme alternatifleri dikkate alınarak çeşitli malzeme kombinasyonları oluşturulmuştur. Böylece kurgulanan yerleşmelerdeki farklı yüzey örtü malzemelerinin de yüzeysel akış miktarına etkisi incelenmiştir. Hesaplama yöntemi seçilirken çalışmanın gereksinimleri dikkate alınarak, küçük kent havzalarındaki yüzeysel akış miktarı hesaplamalarında sıklıkla tercih edilen Rasyonel Yöntem seçilmiştir. Elde edilen hesaplama sonuçlarına göre; 6A yerleşmesi, 8A yerleşmesine göre %9,32 – 4,98 arasında, 12A yerleşmesine göre %28,94 – 15,32 arasında daha iyi sonuç vermekle birlikte, yerleşmelerde yüzeysel akışı azaltmaya yönelik yapılan her bir iyileştirmenin olumlu yönde değişiklik sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüzeysel Akış, Rasyonel Yöntem, Su Korunumu, Su Etkin Yerleşme.

## ABSTRACT

As a result of urbanization and the increase of impermeable surfaces, the rain water is removed by sewer systems and ground water resources could not recharge adequately. In this study, the effect of settlement design according to land use ratios and surface cover materials on stormwater runoff was investigated. Firstly, in the province of Istanbul, 3 different settlements with different land use ratios were designed. It was assumed that there are various areas such as roof, pavement, parking lot, paved street and green area in these settlements. In addition to the land use ratios, various material combinations that can be used as surface cover material were created considering different material alternatives for the mentioned areas. Considering the requirements of the study, The Rational Method was used to calculate stormwater runoff in settlements with different land use ratios and surface cover materials. In the direction of the results; it is obtained better results in the settlement of '6A' between 9.32 - 4.98% compared to settlement 8A and between 28.94 - 15.32% compared to settlement 12A according to the stormwater runoff mitigation. Besides, it was observed that each improvement for runoff mitigation in settlements provides positive changes.

**Key Words:** Stormwater Runoff, Rational Method, Water Sensitive Urban Design.

## 1. GİRİŞ

Dünya ekosisteminde önemli rol oynayan su, canlıların hayatını sürdürmesi için gerekli olan hayati bir kaynaktır. Yeryüzündeki su kaynakları su döngüsü sayesinde dünya üzerinde sabit kalmakta ve sürekli yenilerek temizlenmektedir. Fakat su kaynaklarının kirletilmesi, artan sıcaklıklar ile su kaynaklarının buharlaşması, doğal sondaj görevi görerek toprak altında bulunan suyun yüzeye çıkarılmasını sağlayan ağaçların ve yeşil alanların yok edilmesi gibi sebepler su döngüsünü kesintiye uğrattığından suyun temizlenme süreci de yavaşlamaktadır. Bunun yanı sıra iklim değişikliği sebebiyle yağış özelliklerinin farklılaşması, su döngüsünün bozulmasına, su kaynaklarının dünya üzerindeki dağılımının değişmesine ve su kalitesinin kötüleşmesine sebep olmaktadır. Özellikle tatlı su kaynaklarının günden güne azalıyor olması küresel ölçekte su krizine yol açmaktadır. Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak faaliyet gösteren Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından kurulan 'Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli' (IPCC), 2022 yılında altıncı değerlendirme raporunu yayınlamış ve iklim değişikliği etkilerinin artarak sürmekte olduğunu vurgulamıştır [1]. Küresel ısınmanın su üzerindeki bu baskısı, var olan su kaynaklarını korumanın, bilinçli tüketimin ve gerektiğinde yeniden kullanımın ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektedir.

Su kaynakları hızla tükenirken, nüfus artışı, bilinçsiz su tüketimi gibi nedenlerle su talebi de giderek artmaktadır. Bu durum birçok bölgede su stresi oluşturmakla birlikte su kıtlığına sebep olmaya başlamıştır. Ek olarak, kentlerin genişlemesi, bilinçsiz ve çarpık yapılaşma, kötü yağmur suyu yönetimi gibi sebepler de yerleşme ölçeğinde su kayıplarını ve çeşitli su sorunlarını beraberinde getirmiştir [2,3,4]. Özellikle asfalt, beton gibi su geçirimsiz yüzey örtü malzemelerin kentsel alanlarda bilinçsizce kullanılması ve yeşil alanların giderek azalması yağmur suyunun yeraltına sızmadan yüzeysel akış olarak kaybedilmesine yol açmıştır [5]. Söz konusu kayıplar sebebiyle beslenemeyen yeraltı su kaynakları, özellikle içme suyu kaynaklarının yenilenememesine sebep olmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin artması ile yüzeysel akış miktarının artması, böylece toprak altına sızmadan kirlenen yağmur suyunun kanalizasyon sistemleri ile kaybedilmesi, su döngüsünü kesintiye uğratan en önemli sebeplerden biri haline gelmiştir. Bunun yanı sıra, yüksek oranda geçirimsiz alana sahip yerleşmelerde, yağmur suyu drenaj sistemlerinin yetersiz kalmasıyla birlikte sel, taşkın, erozyon gibi sorunlar da ortaya çıkabilmektedir. Küresel ısınmadan dolayı artan sıcaklık ve buharlaşma oranı sebebiyle anlık şiddetli yağış sıklığının artacağı da göz önünde bulundurulduğunda yüzeysel akışın kentsel alanlarda önemli tahribatlara yol açacağı düşünülmektedir [6]. Bu durum, yerleşme ve bina ölçeğinde su korunumu sağlayan yaklaşım ve stratejilerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır [7,8]. Başka bir deyişle kentlerin; su temini ve su döngüsüne katkı sağlayan, sürdürülebilir atık su, yağmursuyu ve yeraltı suyu yönetim stratejilerine sahip bütüncül bir tasarım yaklaşımıyla ele alınması gerekmektedir.

Gelecekteki kentleşme stratejilerinin yüzeysel akış üzerindeki etkisini öngörerek gerekli planlama stratejilerinin önerilmesi ve konu üzerinde daha fazla çaba harcanması gerektiği çeşitli çalışmalarla vurgulanmıştır [9,10,11]. Geçmiş ve mevcut durumun kıyaslanarak kentleşmenin yüzeysel akış miktarı üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, şehirlerde meydana gelebilecek sel riskinin azaltılabilmesi için yüzeysel akışın doğru bir şekilde yönetilmesi ve konunun ilgili tüm birimler tarafından vurgulanması gerektiğinin altı çizilmiştir [12,13,14]. Güncel iklim koşullarında, değişen arazi kullanım oranının yüzeysel akışa etkisini inceleyebilmek adına, mevcut bir arazi için çeşitli senaryoların oluşturulduğu ve bu senaryoların karşılaştırıldığı çalışmalarda ise geçirimsiz yüzeylerin yüzeysel akış miktarını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür [15,16,17].

Kentsel planlama ve peyzaj, yüzeysel akışı ve dolayısıyla su korunumunu doğrudan etkileyen önemli bir çalışma alanı olmasına rağmen, konuya ilişkin çalışmalar daha çok havza ölçeğinde çevre mühendisliği, hidroloji ve şehircilik kapsamında binalardan bağımsız olarak yürütülmüştür. Ayrıca ölçek seçiminin büyüklüğünden ötürü yüzeysel akışı etkileyen arazi kullanım oranı ile yüzey örtü malzemesi seçiminin çoğunlukla ayrı çalışmalar olarak ele alındığı görülmüştür. Mimarlık alanında yapılan yerleşme ölçeğindeki çalışmalar ise enerji korunumu üzerine yoğunlaşmakta olup su korunumu üzerindeki çalışmalarda çoğunlukla öneriler sunulmuştur. Oysaki yerleşme tasarımına bağlı olarak değişen arazi kullanımı yüzeysel akış miktarını doğrudan etkilemektedir. Çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı, yeşil alan gibi yüzeylerin alansal ağırlıkları ve söz konusu alanlarda kullanılan kaplama

malzemelerine ilişkin alınabilecek doğru tasarım kararlarıyla yerleşmelerde su korunumu sağlamak olanaklıdır. Yol yüzey kaplamaları, binaların aralarındaki yeşil alanlardaki bitkiler ve binaların çatı kaplamaları yağmur suyunun yüzey akış suyunu dönüşmesini engelleyecek şekilde tasarlandığında yeraltı su kaynaklarının beslenmesine de olanak sağlamaktadır. Bu nedenle yerleşme ölçeğindeki mimari tasarım çalışmalarında sadece ısı, görsel ve işitsel konfor çalışmalarının değil, yüzeysel akış suyu çalışmalarının da ele alınması ve mimari tasarıma su korunumu bilincinin de dâhil edilmesi gerekmektedir. Yerleşme ölçeğinde yüzeysel akışı azaltma ve yerleşmelerde su korunumu sağlama hedefine yönelik yapılan bu çalışma, mevcut mimari tasarım ve yüzeysel akış çalışmalarına benzememekle birlikte iki farklı disiplini bir araya getirerek mimari tasarım ölçeğinde yüzeysel akış konusunu ele almıştır. Aynı zamanda çeşitli arazi kullanım oranı ve yüzey örtü malzemelerinin yüzeysel akış miktarını nasıl ve ne derecede etkilediği birlikte incelenerek bina ve yerleşme tasarımının su korunumu üzerindeki önemine dikkat çekilmiştir.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, yerleşme tasarımının bir sonucu olan arazi kullanım oranı ve yüzey örtü malzemelerinin yüzeysel akış miktarı üzerindeki etkisi incelenmiştir [18]. Sürekli artan nüfus sebebiyle uzun yıllardır su stresi yaşayan ve kentleşme oranı yüksek İstanbul ili için gerçekleştirilen çalışmada, nüfus yoğunluğu eşit tutularak farklı arazi kullanım oranına sahip 3 yerleşme kurgulanmıştır. Kurgulanan yerleşmelerde; çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan olmak üzere çeşitli alanlar ve söz konusu alanlar için farklı malzeme alternatifleri oluşturulmuştur. Ele alınan çalışmaya ilişkin adımlar aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

### 2.1. Yerleşmeye İlişkin Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi

Yüzeysel akış miktarları hesaplanacak yerleşmelere ilişkin yapma çevre değişkenleri belirlenirken İstanbul'da sıkça görülen yerleşme dokuları incelenmiş, İstanbul imar planları, yönetmelikler, standartlar ve çeşitli araştırma verilerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, yerleşmelerde oluşan yüzeysel akış miktarını etkileyen yapma çevre değişkenleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 2.1.1. Yerleşme yerinin ve topoğrafik özelliklerinin belirlenmesi

Ele alınan çalışma Türkiye'nin 41.181 enlem ve 29.038 boylam koordinatlarında ve denizden 19m yükseklikte bulunan İstanbul ilinin Sarıyer ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kurgulanan yerleşmelerin her biri eşit boyutlarda yaklaşık 80.000 m<sup>2</sup>'lik düz bir alanın üzerine kurulmuştur. Ayrıca nüfus yoğunluğu eşit tutularak kurgulanan bu yerleşmelerde yağmur suyu drenaj sistemlerinin olmadığı varsayılmıştır. Böylece, zemine sızarak yeraltı su tabakasını besleyen yağmur suyunun haricinde yüzeysel akışa geçebilme potansiyeli olan su miktarı her bir yerleşme kurgusu için ayrı ayrı hesaplanmış olacaktır. Bu amaç doğrultusunda kurgulanan her bir yerleşmede çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan olmak üzere çeşitli yüzeyler bulunmaktadır.

#### 2.1.2. Yerleşmenin boyutlarına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Bina formu ve boyutları belirlenirken Türkiye İstatistik Kurumu'nun yapmış olduğu çalışmalar göz önüne alınmıştır. 2011 Nüfus ve Konut Araştırması verilerine göre İstanbul ilinde hane halklarının; salon dâhil olmak üzere %51,6'sı 3 odalı, %37,6'sı 4 odalı konutlarda ikamet etmektedir [19]. Ayrıca 2019 yılında Türkiye Mobilya Sanayicileri Derneği'nin Method Research Company'e yaptırdığı araştırmalar sonucunda mobilya tüketicisinin ortalama konut büyüklüğünün 115 m<sup>2</sup> olduğu görülmüştür [20]. Bu veriler doğrultusunda; yapılarda bulunması gereken hacimler ve minimum ölçüler de göz önüne alınarak, çekirdek dâhil olmak üzere, yerleşmedeki konutların her birinin 12'ye 12 metre olacak şekilde 144 m<sup>2</sup>'lik birimler olması kararlaştırılmıştır. Her bir kat yüksekliği ise 3m olarak alınmıştır. Ayrıca farklı bina oturma alanına sahip yerleşmelerin de kurgulanması gerektiğinden, yerleşme tasarımına göre binaların kat sayısı farklılaşacaktır. Böylece her bir yerleşmede eşit sayıda konut birimi bulunmasına rağmen zeminde farklı bina oturma alanları oluşacaktır.

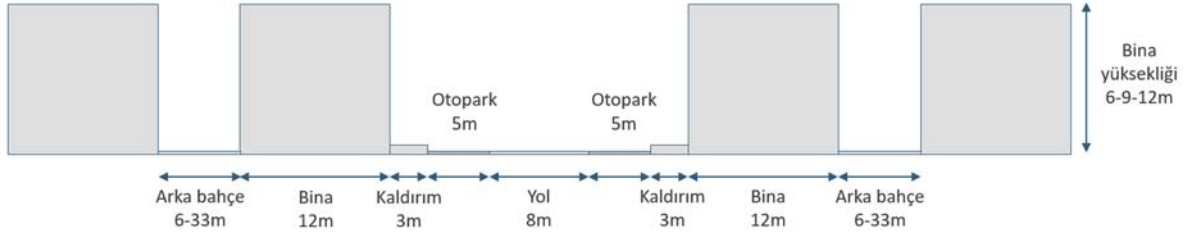
Çalışma kapsamında kurgulanacak yerleşmelerin yol, kaldırım, otopark ve arka bahçe genişlikleri gibi bina gruplarına ilişkin boyutları belirlenirken;

- Yol ve kaldırım genişlikleri için, TS 7249 Şehir İçi Yollar Boyutlandırma ve Tasarım Esasları Standardı [21],
- Otopark genişlikleri için, TS 10551 Şehir İçi Yollar – Otolar İçin Otopark Tasarım Kuralları Standardı [22] ve 30340 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Otopark Yönetmeliği [23],
- Arka bahçe genişlikleri için, İstanbul İmar Yönetmeliği [24] dikkate alınmıştır.

Yerleşme kurgularının oluşturulması aşamasında gerekli olan kabuller Tablo 1 ve Şekil 1’de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Kurgulanacak yerleşmeye ilişkin kabul edilen boyutlar.

	Yerleşmeye ilişkin girdiler	Boyutlar
<b>Değişken girdiler</b>	Bina yüksekliği	6m - 9m -12m
	Arka bahçe (2 bina için)	6m - 33m
<b>Sabit girdiler</b>	Bina genişliği	12m
	Kaldırım genişliği	3m
	Otopark genişliği	5m
	Taşıt yolu genişliği	8m



**Şekil 1.** Kurgulanacak yerleşmeye ilişkin kabul edilen boyutlar.

### 2.1.3. Arazi kullanım oranları farklı olan yerleşme kurgularının oluşturulması

Yüzeysel akış miktarını etkileyen yapma çevre değişkenlerine ilişkin kabullerin belirlenmesi ile çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan olmak üzere çeşitli yüzeylerin bulunduğu yerleşme kurguları oluşturulmuştur. Nüfus yoğunluğu eşit olacak şekilde yaklaşık 80.000 m<sup>2</sup>’lik düz bir arazi üzerinde kurgulanacak yerleşmelerde, ada sayısı ve bina yüksekliği değiştirilerek her bir yerleşme için farklı arazi kullanım oranı oluşturmak hedeflenmiştir.

Öncelikle yerleşme alanı taşıt yolları ile eşit parçalara bölünerek; 12, 8 ve 6 adalı yerleşme senaryoları oluşturulmuştur. Böylece her bir yerleşmede farklı oranda taşıt yolu, otopark ve kaldırım alanı oluşmuştur. Bir sonraki aşamada, 3 farklı yerleşme için binaların kat sayıları değiştirilerek, ada içerisinde farklı oranlarda bina oturma alanı ve yeşil alan oluşması sağlanmıştır. Ada içerisindeki bina yerleşimi için, 4 tane 144m<sup>2</sup>’lik konut biriminin yan yana gelerek oluşturduğu sıra bloklar üretilmiştir. 4’lü sıra blokların her biri sırt sırta gelecek şekilde, ön cephelerinde yol, arka cephelerinde ise bahçe mesafesi bırakılarak kurgulanmıştır. Ayrıca çalışmada sıra bloklarının yönlendiriliş durumu kuzey-güney doğrultusunda olacak şekilde ele alınmıştır. Böylece 12 adalı yerleşme seçeneği için 2 katlı sıra blokların bulunduğu en sıkışık yerleşme senaryosu oluşturulmuş, sonrasında ada sayısı azaldıkça sıra blokların kat sayısı artırılarak 8 adalı yerleşimde 3 katlı, 6 adalı yerleşimde 4 katlı sıra blokların bulunduğu senaryolar üretilmiştir.

Her birinde 384 adet konut biriminin bulunduğu yerleşmeler isimlendirilirken; ada sayısı dikkate alınmış; 12 ada bulunan yerleşme senaryosu '12A', 8 ada bulunan yerleşme senaryosu '8A', 6 ada bulunan yerleşme senaryosu ise '6A' olacak şekilde isimlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kurgulanan yerleşmelere ait bilgiler Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Kurgulanan yerleşmelere ait bilgiler.

Yerleşme Adı	Yol ve Ada Düzeni	Zemindeki Bina Birim Sayısı ve Kat Bilgisi	Arazi Kullanım Oranları (%)				
			Çatı Alanı	Kaldırım Alanı	Otopark Alanı	Taşıt Alanı	Yeşil Alan
12A		192 birim * 2 katlı	34,5	12,4	16,2	25,7	11,3
8A		128 birim * 3 katlı	23,0	9,9	10,8	21,4	35,0
6A		96 birim * 4 katlı	17,2	9,1	11,0	19,9	42,7

## 2.2. Hesaplamaya İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi

Hesaplamaya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi aşamasında öncelikle, çalışmanın amacı ve kapsamı göz önüne alınarak, yüzeysel akış miktarının hesaplanacağı en uygun hesaplama yöntemi seçilmiştir. Sonrasında ise hesaplama yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olan dış ortama ait iklim verileri ve yerleşmedeki yüzeylere ait yüzeysel akış katsayıları belirlenmiştir. Hesaplama adımına ilişkin bu değişkenler ve değişkenlere ilişkin yapılan kabuller aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

### 2.2.1. Hesaplama yönteminin belirlenmesi

Yağışın tüm araziye homojen düştüğü varsayıldığı için genellikle 25 km<sup>2</sup>'den küçük alanlar için kullanılan Rasyonel Yöntem; yerleşmelerde bulunan otoparklar, çatı alanları gibi nispeten küçük drenaj alanlarındaki yüzeysel akış miktarının tahmin edilmesinde diğer yöntemlere kıyasla daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [25,26,27]. Bu çalışma kapsamında oluşturulan yerleşmelerin 80.000 m<sup>2</sup> yani 0.08 km<sup>2</sup>'lik bir yüzey alanına sahip olduğu düşünüldüğünde ele alınan alan için en uygun yüzeysel akış miktarı hesaplama yönteminin Kuichling'in geliştirdiği 'Rasyonel Yöntem' olduğu görülmektedir [28]. Yöntemin uygulanabilmesi için kullanılan temel denklem aşağıda verilmiştir:

$$Q = \frac{c.i.a}{360} \quad (1)$$

(1) eşitliğinde, Q yüzeysel akış miktarını (m<sup>3</sup>/sn) ifade ederken, c yüzeysel akış katsayısını, i yağış şiddetini (mm/saat), a ise havza alanını (ha) ifade etmektedir.

### 2.2.2. Dış ortama ait iklim verilerinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında kurgulanan yerleşmelerin İstanbul ilinin Sarıyer ilçesinde bulunduğu varsayılarak, yüzeysel akış miktarlarının hesaplanması aşamasında kullanılacak olan yağış değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı olan Hidro Meteoroloji Şube Müdürlüğü tarafından hazırlanan 'Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nda Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri' tablosundan alınmıştır. 1955-2020 yılları arasında Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'nda 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekerrür aralıkları ve standart zamanlar (5, 10, 15, 30 dk, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) için ölçülen maksimum yağış değerleri bu tablodan okunarak, yüzeysel akış miktarı hesaplamaları için gerekli olan yağış şiddeti hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda seçilecek yağış şiddeti olarak; büyük şehir merkezleri için tavsiye edilen tekerrür aralığı 5 yıl, düz kentsel alanlar için tavsiye edilen yağış süresi 15 dakika olduğu için 5 yıl tekerrürlü 15 dakikalık yağışlar esas alınmıştır [29,30].

### 2.2.3. Yerleşmedeki farklı yüzeyler için yüzeysel akış katsayılarının belirlenmesi

Kurgulanacak yerleşmelerde oluşabilecek maksimum yüzeysel akış miktarlarının hesaplanması aşamasında gerekli olan yüzeysel akış katsayıları, yerleşmelerdeki çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan için ayrı ayrı ele alınmıştır. Yeşil alanlardaki farklı yüzey örtüleri için tanımlanan yüzeysel akış katsayıları birbirine oldukça yakın olduğundan yeşil alan için tek bir katsayı alınmıştır. Çatı, kaldırım, otopark ve taşıt yolu alanları için ise birbirinden farklı yüzeysel akış katsayısına sahip çok çeşitli malzeme alternatifi olduğundan alana uygun olabilecek malzemeler göz önüne alınmış ve bu doğrultuda farklı yüzeysel akış katsayıları belirlenmiştir.

Yeşil alan örtüsü sabit olmakla birlikte çatı alanı için 7, kaldırım alanı için 4, otopark alanı için 4, taşıt yolu alanı için 3 farklı yüzeysel akış katsayısına sahip yüzey örtü malzemesi seçilmiştir [28,31]. Bu malzeme çeşitliliğinin bir sonucu olarak her bir yerleşmede oluşan toplam 336 (7\*4\*4\*3) malzeme kombinasyonu Tablo 3'te gösterildiği şekilde kabul edilmiş ve kodlanmıştır.

**Tablo 3.** Kurgulanacak yerleşmelerdeki çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan için malzeme alternatiflerine göre belirlenen yüzeysel akış katsayıları ve kodları (değerler 1'e yakınlaştıkça malzemenin geçirgenliği azalmaktadır).

	Yüzeysel Akış Katsayısı								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Çatı			Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7
Kaldırım		K1		K2		K3		K4	
Otopark		O1		O2		O3		O4	
Taşıt Yolu			T1			T2			T3
Yeşil Alan	Y1								

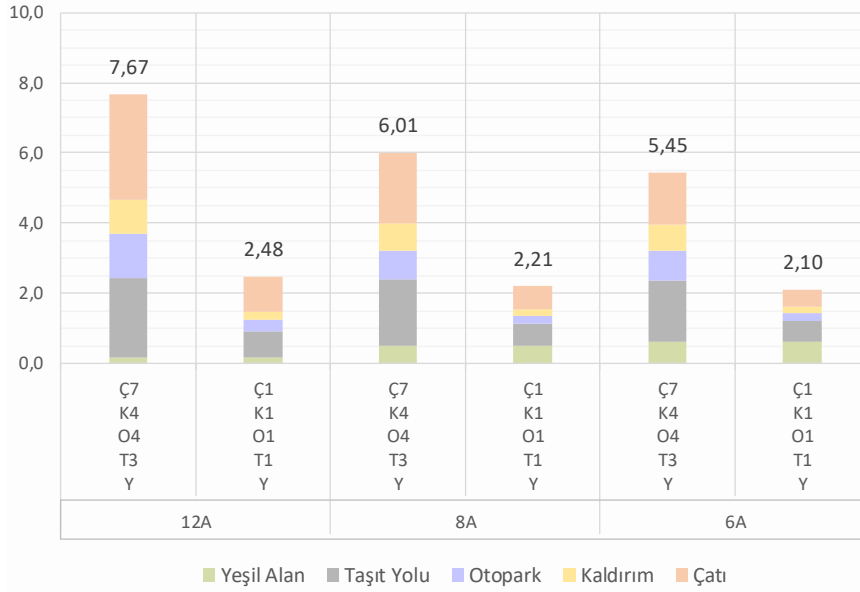
### 2.3. Oluşturulan Yerleşme Kurguları İçin Yüzeysel Akış Miktarının Hesaplanarak Sonuçların Değerlendirilmesi

Rasyonel Yöntem ile gerekli alan ve yağış bilgileri kullanılarak yerleşmelerde bulunan 336 farklı malzeme kombinasyonunun oluşturduğu yüzeysel akış miktarları hesaplanmış ve bu hesap kurgulanan her bir yerleşme için tekrarlanmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan 3 farklı yerleşmenin ve bu yerleşmelerdeki çeşitli malzeme kombinasyonlarına göre oluşan yüzeysel akış miktarlarına ilişkin hesaplamalar ve değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

- En yüksek yüzeysel akış miktarı bütün yerleşmelerde 'Ç7.K4.O4.T3.Y' kombinasyonunda gerçekleşmiştir ve 12A yerleşmesinde 7,67 m<sup>3</sup>/dk, 8A yerleşmesinde 6,01 m<sup>3</sup>/dk, 6A yerleşmesinde 5,45 m<sup>3</sup>/dk olarak;

- En düşük yüzeysel akış miktarı ise bütün yerleşmelerde 'Ç1.K1.O1.T1.Y' kombinasyonunda gerçekleşmiştir ve 12A yerleşmesinde 2,48 m<sup>3</sup>/dk, 8A yerleşmesinde 2,21 m<sup>3</sup>/dk, 6A yerleşmesinde 2,10 m<sup>3</sup>/dk olarak görülmüştür (Şekil 2).

Bu durumda yüzeysel akış katsayısı düşük ve geçirimli malzemeler seçildiğinde 12A yerleşmesinde oluşan yüzeysel akış miktarının %67,65; 8A yerleşmesinde %63,22; 6A yerleşmesinde ise %61,43 oranında azaltılabileceği görülmektedir. Buna ek olarak, aynı malzeme kombinasyonun kullanıldığı farklı yerleşme senaryoları incelendiğinde; 6A yerleşmesinin, 8A yerleşmesine göre %9,32 – 4,98 arasında, 12A yerleşmesine göre %28,94 – 15,32 arasında daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu durum, aynı malzeme kombinasyonları kullanılsa bile, binaların yükseltilerek yeşil alan oranının artırıldığı yerleşmelerde, yüzeysel akış miktarında ciddi oranda azalma sağlanabileceğini göstermektedir.



**Şekil 2.** Kurgulanan yerleşme senaryolarında, en yüksek ve en düşük miktarda oluşan yüzeysel akış miktarlarının arazi kullanım oranları ile ilişkisi

Yüzeysel akış miktarı yerleşmedeki yeşil alan miktarına bağlı olduğu kadar, söz konusu alanlar için kullanılan farklı yüzey malzemelerinin yüzeysel akış katsayılarıyla da doğrudan ilgilidir. Örneğin, en az yeşil alan oranına sahip 12A yerleşmesinde yüzeysel akış katsayıları en düşük olan malzeme kombinasyonu (Ç1.K1.O1.T1.Y) kullanıldığında ve en yüksek yeşil alan oranına sahip 6A yerleşmesinde yüzeysel akış katsayıları en yüksek malzeme kombinasyonu (Ç7.K4.O4.T3.Y) kullanıldığında, 12A yerleşmesindeki yeşil alan oranı daha düşük olmasına rağmen 6A yerleşmesine göre %54,49 oranında daha az yüzeysel akışın oluştuğu görülmüştür (Şekil 2). Bu durumda yerleşmelerdeki yeşil alan oranının artırılmasının yanı sıra, yeşil alan oranı düşük yerleşmelerde kullanılacak geçirimli malzemelerin de yüzeysel akış oranını ciddi derecede azaltılabileceği görülmektedir. Başka bir deyişle, yeni bir yerleşme tasarımında yüzey akış suyunun azaltılmasına ilişkin kararlar alınabilmesinin yanında, mevcut bir yerleşmede sadece yüzey örtü malzemelerinin değiştirilmesiyle yüzeysel akış miktarlarının değiştirilebilmesi de olanaklı olacaktır.

Yerleşmelerde çatı, kaldırım, otopark ve taşıt yolu alanlarının yüzeysel akış miktarına etkisini gözlemlemek amacıyla bu yüzey alanlarından yalnızca bir tanesi için yüzeysel akış katsayısı en düşük olan geçirimli malzeme seçilirken diğer alanlarda yüzeysel akış katsayısı en yüksek olan geçirimsiz malzemeler seçilmiştir ve oluşan yüzeysel akış miktarları karşılaştırılmıştır (Tablo 4). 12A, 8A, 6A yerleşmelerinde en yüksek yüzeysel akışın oluştuğu 'Ç7.K4.O4.T3.Y' kombinasyonuna göre sırasıyla aşağıdaki gibidir.

- Sadece çatı alanında, en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip malzeme seçildiğinde oluşan 'Ç1.K4.O4.T3.Y' kombinasyonunda %26,28; %22,34; %18,48 oranında,
- Sadece kaldırım alanında, en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip malzeme seçildiğinde oluşan 'Ç7.K1.O4.T3.Y' kombinasyonunda %9,44; %9,60; %9,80 oranında,
- Sadece otopark alanında, en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip malzeme seçildiğinde oluşan 'Ç7.K4.O1.T3.Y' kombinasyonunda %12,32; %10,47; %11,76 oranında,
- Sadece taşıt yolu alanında, en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip malzeme seçildiğinde oluşan 'Ç7.K4.O4.T1.Y' kombinasyonunda %19,60; %20,81; %21,39 oranında,
- Bütün alanlarda, en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip malzemeler seçildiğinde oluşan 'Ç1.K1.O1.T1.Y' kombinasyonunda ise %67,65; %63,22; %61,43 oranında bir azalma meydana gelmektedir.

Böylece, her bir yerleşme için, tek bir alanda yapılan malzeme iyileştirmesi bütün alanlarda yapılan malzeme iyileştirmesine göre yetersiz olsa bile yüzeysel akış miktarının önemli ölçüde azalması sağlanabilmektedir. Buna ek olarak, yine Tablo 4 incelendiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- 12A 4 yerleşmesinde, en büyük alana (%34,5) sahip çatı malzemelerinin yüzey akış katsayıları, yerleşmede meydana gelen yüzeysel akışın azaltılmasında en etkili değişken olmuştur. Çatı malzemelerinde en düşük yüzey akış katsayısı önerildiğinde yüzeysel akışın azalması en yüksek oranda (%26,28) gerçekleşmiştir. Benzer biçimde, taşıt yolu alanı (%25,7), otopark alanı (%16,2) ve kaldırım alanı (%12,4) malzemelerinin yüzey akış katsayıları küçüldükçe yüzey alanlarıyla doğru orantılı olacak şekilde yüzeysel akış miktarının azalmasına (%19,60, %12,32, %9,44) katkıda bulunduğu görülmektedir.
- 8A 4 yerleşmesinde, en büyük alana (%23,0) sahip çatı malzemelerinin yüzey akış katsayıları, yerleşmede meydana gelen yüzeysel akışın azaltılmasında en etkili değişken olmuştur. Çatı malzemelerinde en düşük yüzey akış katsayısı önerildiğinde yüzeysel akışın azalması en yüksek oranda (%22,34) gerçekleşmiştir. Benzer biçimde, taşıt yolu alanı (%21,4), otopark alanı (%10,8) ve kaldırım alanı (%9,9) malzemelerinin yüzey akış katsayıları küçüldükçe yüzey alanlarıyla doğru orantılı olacak şekilde yüzeysel akış miktarının azalmasına (%20,81, %10,47, %9,60) katkıda bulunduğu görülmektedir.
- 6A 4 yerleşmesinde, en büyük alana (%19,9) sahip taşıt yolu malzemelerinin yüzey akış katsayıları, yerleşmede meydana gelen yüzeysel akışın azaltılmasında en etkili değişken olmuştur. Taşıt yolu malzemelerinde en düşük yüzey akış katsayısı önerildiğinde yüzeysel akışın azalması en yüksek oranda (%21,39) gerçekleşmiştir. Benzer biçimde, çatı alanı (%17,2), otopark alanı (%11,0) ve kaldırım alanı (%9,1) malzemelerinin yüzey akış katsayıları küçüldükçe yüzey alanlarıyla doğru orantılı olacak şekilde yüzeysel akış miktarının azalmasına (%18,48, %11,76, %9,80) katkıda bulunduğu görülmektedir.

Başka bir deyişle; çatı, kaldırım, otopark ve taşıt yolu alanlarının yerleşme içindeki oranı ne kadar fazla ise o alanda yapılan malzeme değişikliğinin yüzeysel akış miktarını o oranda azalttığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, alanın yerleşme içerisindeki oranından bağımsız olarak, geçirimsiz yüzey örtü malzemeleri seçilerek yapılan tüm iyileştirmelerin yüzeysel akış miktarındaki azalmaya yüksek oranda katkı sağladığı gözlenmiştir. Bu durum, mevcut yerleşme tasarımında veya yeni tasarlanacak yerleşmelerde, herhangi bir alan için önerilen yüzey örtü malzemesinin yüzeysel akış miktarında ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.



**Tablo 4.** Sırasıyla; 12A, 8A, 6A yerleşmesinde; çatı, kaldırım, otopark ve taşıt yolu alanlarında yapılan malzeme değişikliğine bağlı olarak elde edilen yüzeysel akış miktarları ve bu kombinasyonlarda yüzeysel akışın azalma oranları.

Yüzeysel akış miktarı (m <sup>3</sup> /dk)	12A					
	7,67	5,65	6,94	6,72	6,16	2,48
Malzeme kombinasyonu	Ç7 K4 O4 T3 Y	Ç1 K4 O4 T3 Y	Ç7 K1 O4 T3 Y	Ç7 K4 O1 T3 Y	Ç7 K4 O4 T1 Y	Ç1 K1 O1 T1 Y
'Ç7.K4.O4.T3.Y' kombinasyonuna göre yüzeysel akışın azalma oranı		%26,28	%9,44	%12,32	%19,60	%67,65
Kombinasyondaki en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip yüzeyin yerleşme içindeki oranı		Çatı alanı %34,5	Kaldırım alanı %12,4	Otopark alanı %16,2	Taşıt alanı %25,7	

Yüzeysel akış miktarı (m <sup>3</sup> /dk)	8A					
	6,01	4,67	5,44	5,38	4,76	2,21
Malzeme kombinasyonu	Ç7 K4 O4 T3 Y	Ç1 K4 O4 T3 Y	Ç7 K1 O4 T3 Y	Ç7 K4 O1 T3 Y	Ç7 K4 O4 T1 Y	Ç1 K1 O1 T1 Y
'Ç7.K4.O4.T3.Y' kombinasyonuna göre yüzeysel akışın azalma oranı		%22,34	%9,60	%10,47	%20,81	%63,22
Kombinasyondaki en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip yüzeyin yerleşme içindeki oranı		Çatı alanı %23,0	Kaldırım alanı %9,9	Otopark alanı %10,8	Taşıt alanı %21,4	

Yüzeysel akış miktarı (m <sup>3</sup> /dk)	6A					
	5,45	4,45	4,92	4,81	4,29	2,10
Malzeme kombinasyonu	Ç7 K4 O4 T3 Y	Ç1 K4 O4 T3 Y	Ç7 K1 O4 T3 Y	Ç7 K4 O1 T3 Y	Ç7 K4 O4 T1 Y	Ç1 K1 O1 T1 Y
'Ç7.K4.O4.T3.Y' kombinasyonuna göre yüzeysel akışın azalma oranı		%18,48	%9,80	%11,76	%21,39	%61,43
Kombinasyondaki en düşük yüzeysel akış katsayısına sahip yüzeyin yerleşme içindeki oranı		Çatı alanı %17,2	Kaldırım alanı %9,1	Otopark alanı %11,0	Taşıt alanı %19,9	

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, yerleşme tasarımına ilişkin çeşitli değişkenlerin yağmur suyu yönetimi açısından oldukça önem taşıyan yüzeysel akış miktarına etkisi değerlendirilmiştir. Yüzeysel akış miktarı; yerleşme tasarımına bağlı olarak farklılaşan çatı, kaldırım, otopark, taşıt yolu alanı ve yeşil alan boyutlarına göre değiştiği gibi söz konusu alanlarda kullanılan yüzey örtü malzemesinin geçirim oranına göre de değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada, kentleşme oranı yüksek İstanbul ilinde kurgulanan, farklı bina yoğunluğu ve arazi kullanımına sahip 3 farklı yerleşmede 336 farklı yüzey örtü malzemesi kombinasyonunun yüzeysel akış miktarını ne derece etkilediği değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Eşit sayıda konut birimlerinin bulunduğu yerleşme kurgularında, aynı malzeme kombinasyonlarının oluşturduğu yüzeysel akış miktarları incelendiğinde, binaların yükseltilecek yeşil alan oranının artırılması ile yerleşmelerde oluşan yüzeysel akış miktarının azaldığı gözlenmiştir.
- Yüzeysel akış miktarının azaltılması amacıyla herhangi bir alanda malzeme iyileştirmesi yapılacağı takdirde, alanın yerleşme içinde oranı ne kadar fazla ise o kadar yüksek fayda sağlanacağı gözlenmiştir. Ancak iyileştirme yapılan alanın yerleşme içindeki oranı düşük olsa bile, geçirimli yüzey örtü malzemeleri kullanılarak yapılacak her bir iyileştirmenin yüzeysel akış miktarındaki azalmaya önemli katkısı olduğu saptanmıştır. Bu durum, yeni tasarlanacak bir yerleşmede yüzeysel akış miktarının azaltılmasına ilişkin kararlar alınabileceği gibi, mevcut yerleşmelerde de geçirimsiz yüzey örtü malzemelerinin geçirimli malzemelerle değiştirilmesi ile yüzeysel akış miktarının önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir.
- Aynı yerleşmede farklı malzeme kombinasyonları ile eşit yüzeysel akış miktarı elde edilebilmektedir. Bu durumda, mevcut bir yerleşmede yüzeysel akışı azaltmak amacıyla malzeme iyileştirilmesi yapılacaksa, çeşitli alternatifler ile eşit fayda sağlanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, yeni tasarlanacak bir yerleşmede de farklı alanlar için seçilebilecek farklı malzeme alternatifleri ile aynı fayda elde edilebileceğinden malzeme seçiminde tasarımcıya esneklik sağlanabilecektir.
- Çeşitli geçirim oranına sahip oldukça farklı malzeme kombinasyonlarıyla, aynı yerleşmede eşit miktarda yüzeysel akış oluşabildiği gibi, farklı yerleşmelerde de aynı yüzeysel akış miktarının oluşabileceği görülmüştür. Buradan anlaşılmaktadır ki, yerleşme tasarımında arazi kullanım oranlarının ve bu alanlar için seçilecek yüzey örtü malzemelerinin kararı konusunda eşit fayda sağlayan çeşitli alternatifler oluşturmak mümkün olacaktır.

Yüzeysel akışın sebep olacağı olumsuz etkileri tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa bile, yerleşmelerde yüzeysel akışı azaltmaya yönelik yapılacak her bir iyileştirmenin olumlu yönde değişiklik sağlayacağı görülmektedir. Mevcut yerleşmelerde yapılacak iyileştirmeler, yeni tasarlanacak yerleşmelere kıyasla daha maliyetli olduğundan yerleşmelerde yüzeysel akışı azaltmaya yönelik kararların ön tasarım aşamasında alınması oldukça önemlidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Summary for Policymakers. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, 2022.
- [2] HALL, B., CURRELLA, M., WEBB, J., "Using multiple lines of evidence to map groundwater recharge in a rapidly urbanising catchment: Implications for future land and water management", Journal of Hydrology, 580, s.124265, 2020.
- [3] THI DO, T.A., THI DO, A.N., TRAN, H.D., "Quantifying the spatial pattern of urban expansion trends in the period 1987–2022 and identifying areas at risk of flooding due to the impact of urbanization in Lao Cai city", Ecological Informatics, 72, s.101912, 2022.

- [4] KIM, H., JEONG, H., JEON, J., BAE, S. "The Impact of Impervious Surface on Water Quality and Its Threshold in Korea", *Water*, 8, s.111, 2016.
- [5] WANG, L., HOU, H., LI, Y., PAN, J., WANG, P., WANG, B., CHEN, J., HU, T., "Investigating relationships between landscape patterns and surface runoff from a spatial distribution and intensity perspective", *Journal of Environmental Management*, 325, s.116631, 2023.
- [6] XIONG, L., YAN, L., DU, T., YAN, P., LI, L., XU, W., "Impacts of climate change on urban extreme rainfall and drainage infrastructure performance: a case study in wuhan city, china", *Irrigation and Drainage*, 68, ss.152–164, 2019.
- [7] WONG, T. H. F., "Water sensitive urban design - the journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*", 10(3), ss.213–222, 2006.
- [8] HOBAN, A., "Water Sensitive Urban Design Approaches and Their Description", *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions içinde*, Woodhead Publishing, 2019.
- [9] DEBBAGE, N., SHEPHERD, J. M., "The Influence of Urban Development Patterns on Streamflow Characteristics in the Charlanta Megaregion", *Water Resources Research*, 54(5), ss.3728-3747, 2018.
- [10] OHANA-LEVI, N., GIVATI, A., ALFASI, N., PEETERS, A., KARNIELI, A., "Predicting the effects of urbanization on runoff after frequent rainfall events", *Journal of Land Use Science*, 13(1-2), ss.81-101, 2017.
- [11] MADRAZO-URIBEETXEBARRIA, E., GARMENDIA ANTIN, M., ALMANDOZ BERRONDO, J., ANDRÉS-DOMÉNECH, I., "Modelling Runoff from Permeable Pavements: A Link to the Curve Number Method", *Water*, 15, s.160, 2023.
- [12] ERENA, S. H., WORKU, H., "Dynamics of land use land cover and resulting surface runoff management for environmental flood hazard mitigation: The case of Dire Daw city, Ethiopia", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, s.100598, 2019.
- [13] HU, S., FAN, Y., ZHANG, T., "Assessing the Effect of Land Use Change on Surface Runoff in a Rapidly Urbanized City: A Case Study of the Central Area of Beijing", *Land*, 9(1), s.17, 2020.
- [14] ZHAO, X., HUANG, G., "Exploring the impact of landscape changes on runoff under climate change and urban development: Implications for landscape ecological engineering in the Yangmei River Basin", *Ecological Engineering*, 184, s.106794, 2022.
- [15] KONG, F., BAN, Y., YIN, H., JAMES, P., DRONOVA, I., "Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development", *Environmental Modelling & Software*, 95, 132-142, 2017.
- [16] RANDALL, M., SUN, F., ZHANG, Y., JENSEN, M. B., "Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM", *Journal of Environmental Management*, 246, ss.745–757, 2019.
- [17] LI, W., WANG, H., ZHOU, J., YAN, L., LIU, Z., PANG, Y., ZHANG, H., HUANG, T., "Simulation and Evaluation of Rainwater Runoff Control, Collection, and Utilization for Sponge City Reconstruction in an Urban Residential Community", *Sustainability*, 14, s.12372, 2022.
- [18] TAŞKIN, H. F., "Su Korunumu Açısından Yerleşme Tasarımında Yüzeysel Akış Miktarının Değerlendirilmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2022.
- [19] Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK), "Hanehalklarının il ayrımında konuttaki oda sayısına göre dağılımı", 2011, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>, Son Erişim: 16 Ocak 2023.
- [20] <https://www.haberturk.com/evler-kuculdu-gorsellik-2-planda-kaldi-2281648-ekonomi>, Son Erişim: 21 Ocak 2023.
- [21] TS 7249, "Şehir İçi Yollar Boyutlandırma Ve Tasarım Esasları", Ankara, Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, 2013.
- [22] TS 10551, "Şehir İçi Yollar - Otolar için Otopark Tasarım Kuralları", Ankara, Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, 1992.
- [23] Otopark Yönetmeliği, "T. C. Resmi Gazete", 30340, 22 Şubat 2018.
- [24] İstanbul İmar Yönetmeliği, "T. C. Resmi Gazete", 30426, 20 Mayıs 2018.
- [25] PENNINGTON, M. "The Rational Method - Frequently Used, Often Misused. *Water New Zealand Stormwater Conference*", Wellington, N.Z, 2012.
- [26] GÜLBAHAR, N. "A Comparison Study of Some Flood Estimation Methods in terms of Design of Water Structures", *International Journal of Engineering Technologies*, 2(1), ss.8-13, 2016.



- [27] WIJESINGHE, W.M.D., WIJESEKERA, N.T.S., “Comparison of Rational Formula Alternatives for Streamflow Generation for Small Ungauged Catchments”, Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, 44(4), ss.29-36, 2016.
- [28] KUICHLING, E., “The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts”, Transactions, American Society of Civil Engineers, 20, ss.1-56, 1889.
- [29] SÜMER, B., “Su Temini ve Çevre Sağlığı”, İstanbul: İ.T.Ü Sakarya Mühendislik Fakültesi, 1992.
- [30] DEMİR, D., “Konvansiyonel Yağmursuyu Yönetim Sistemleri ile Sürdürülebilir Yağmursuyu Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması: İtÜ Ayazağa Yerleşkesi Örneği”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [31] TS EN 16491-1, “Yerinde İçilebilir Olmayan Su Sistemleri - Bölüm 1: Yağmur Suyu Kullanımı İçin Sistemler”, Ankara, Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

### Halime Firdevs TAŞKIN

1995 yılı Zonguldak Ereğli doğumludur. 2018 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nü (İngilizce) bitirmiştir. 2019 yılında özel sektörde mimar olarak görev almasının ardından 2020 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Yüksek lisans eğitimini 2022 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı'nda 'Su Korunumu Açısından Yerleşme Tasarımında Yüzeysel Akış Miktarının Değerlendirilmesi' adlı çalışma ile tamamlamıştır. Şu anda Araştırma Görevlisi görevine ve aynı üniversitenin Yapı Bilimleri Programı'nda doktora eğitimine devam etmektedir.

### Gülten MANIOĞLU

Mimar Gülten Manioğlu 1993 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde öğretim görevlisidir. Binaların Enerji Etkin Tasarımı konularında çeşitli araştırma projelerinde yer almıştır. Enerji Etkin, Bina Tasarımı, Ekolojik Mimarlık, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Binalarda Su Korunumu, Yerleşmelerde Yağmur Suyu Eldesi konularında çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. 2009-2018 yılları arasında Uluslararası Yapı Fiziği Derneğinde (IABP) yönetim kurulu üyesi yapmış olan G. Manioğlu, şu anda İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Fiziksel Çevre Kontrolü alanında Doçent olarak eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.

# TEKSTİL FABRİKALARINDA ATIK ISININ TERMoeLEKTRİK JENERATÖR SİSTEMİYLE ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

*Investigation Of The Conversion Of Waste Heat To Electric Energy In Textile Factories With The Thermoelectric Generator System*

**Ömer Faruk Demirbaş  
Mustafa Ali Ergün Ertürk**

## ÖZET

Sakarya'da bulunan bir tekstil fabrikasında 120°C kaynar su boya kazanına taşınmaktadır. Kaynar su boya kazanına taşınırken ortama atık ısı atılmaktadır. Bu çalışmada boya kazanına gelen suyun ısısından termoelektrik jeneratör sistemi SolidWorks programıyla katı modelleme yapılmıştır. Bu modellemede ANSYS Sonlu elemanlar tekniğiyle elektrik enerjisi üretimi analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre soğuk yüzey sıcaklığı 20°C, sıcak yüzey 30°C iken maksimum gerilim 0,0045 mV iken soğuk yüzey sıcaklığı 30°C, sıcak yüzey sıcaklığı 120°C'ye çıkarıldığında maksimum gerilim 0,021mV'a çıkmıştır. Soğuk yüzey sıcaklığı fabrika şartlarında 30°C olmaktadır. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı 90 derece sıcaklık farkına ulaşınca kadar 0,000197°'lik bir eğimle artış göstermiş, 90-100 derece sıcaklık farklarında 0,00009°'lik bir eğimle artış göstermiş ve 100-150 derece sıcaklık farklarında ise 0,00016°'lik eğimle artış göstermiştir. Bulunan maksimum gerilim bir adet Peltier için 1,7415V olarak ortaya konulmuştur, ayrıca bulunan bu değer fabrika koşullarına en yakın değerdir. Fabrikadaki yaklaşık 50 metrelik sıcak su borusuna uygulanacak bu sistemle 703,4 W(J/s) 'lık bir enerji kazanımı sağlamaktadır. Optimum nokta ise 90°C sıcaklık farkı olmuştur. Optimum noktadaki maksimum gerilim noktasından sonra artış eğiminde azalmalar olmaktadır. Bu çalışmada optimum noktadan sonra bulunan maksimum gerilimin artış eğiliminin azaldığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Termoelektrik jeneratör, Peltier, Seebeck Etkisi, atık ısı, ANYS.

## ABSTRACT

In a textile factory in Sakarya, 120°C boiling water is transferred to a dyeing boiler. Approximately 40,000 kg of water is discharged at 50-60°C per hour in the textile factory under investigation. In this study, solid modeling was done with the thermoelectric generator system SolidWorks program from the heat of the water coming into the paint boiler. In this modeling, electrical energy production analyzes were made with ANSYS Finite Element technique. According to the analysis results, when the cold surface temperature is 20°C, the hot surface is 30°C, the maximum voltage is 0.0045 mV, while the cold surface temperature is 30°C and the hot surface temperature is increased to 120°C, the maximum voltage has increased 10 times to 0.045 mV. The cold surface temperature is 30°C in factory conditions. As the temperature difference between the surfaces increases, the tension found with an inclination of 0.00095° up to 20°C difference, constant between 20-30°C, 0.007° between 30-50°C and 0 between 50-90°C, It increased with a slope of 00042°. The maximum voltage found is 0.045 mV, and this value is closest to the factory conditions. With this system, which will be applied to the hot water pipe of approximately 50 meters in the factory, an energy gain of 45,5625 W(J/s) can be achieved. The optimum point was a temperature difference of 50°C. After the maximum voltage point at the optimum point, there is a decrease in the slope of increase. In this study, it has been revealed that the increasing trend of the maximum voltage found after the optimum point decreases.

**Key Words:** Fire, fire dampers, fire damper standards.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji ihtiyacına karşılık yeterli enerji üretiminin her geçen gün daha da büyük sorun haline gelmesi büyük bir problemdir. Önümüzdeki yıllarda azalan fosil enerji kaynaklarının da etkisiyle dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artacaktır.

Artan talep tekstil sektörü içinde geçerlidir. Tekstil sektöründe kullanılan kumaş boyama kazanlarından ortama yüksek miktarda atıl ısı enerjisi atılmaktadır. Bu ısı enerjisinin en azından bir kısmının tekrar geri kullanılması için bu çalışma hazırlanmıştır.

Elektrik enerjisi için alternatif bir yöntem olan termoelektrik jeneratör sistemi ek elektrik enerjisi kaynağı oluşturabilir. Bu sistem termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmede ya da elektrik enerjisini termal enerjiye dönüştürmede kullanılmaktadır [1].

Yapılan çalışmada kullanılan termoelektrik jeneratör sistemi tekstil sektörü açısından ilk olacaktır. Bu bağlamda sektörde yenilik olacağı düşünülmektedir. Ayrıca borulara monte edilecek olan Peltierlerin çizgisel temasını yüzeysel temas sağlayacak hale getirebilecek ara katman tasarımı yapılmıştır.

Yapılan bu tasarım termoelektrik jeneratör sisteminin farklı yüzeylerde kullanılabilmesi açısından ilk olmuştur [2].

## 2. TERMOELEKTRİK JENERATÖR

Termoelektrik jeneratör ya da diğer adıyla Seebeck Jeneratördür. Temel amacı ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektir. Yapısında bulunan ve yarı iletken malzemeden oluşan P tipi ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. Termoelektrik jeneratörler Seebeck etkisine göre çalışmaktadırlar. Termoelektrik sistemin yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluştuğunda gerilim üretebilmektedirler, üretilen gerilim sıcaklık farkı arttıkça artmaktadır. Bu durumun tam tersi de mevcuttur yani termoelektrik modül sistemine gerilim verildiğinde yüzeyleri arası sıcaklık farkı artmaktadır buna ise Peltier etkisi denir. Termoelektrik jeneratör sisteminin diğer bir avantajı bünyesinde hareket eden parça bulundurmamasıdır. Bu durum sürtünmelerden dolayı oluşacak verim kaybını ve sistem bakımını minimize etmektedir [3,4,5,6].

Termoelektrik jeneratörler oldukça uzun süredir insanoğlunun araştırıp çalışmalar yaptığı bir konudur. İlk olarak 1821 yılında Thomas Johann Seebeck, termal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine çevrilebileceğini keşfetti ve bu olay Seebeck etkisi adını almıştır. 1834 yılında Jean Charles Athanase Peltier, elektrik akım yönünü yarıiletken malzemelerin ısınan ya da soğuyan yüzeyin yönünü değiştirdiğini keşfetmiştir [7].

Kızıl ordu tarafından termoelektrik jeneratör kullanıldığı bilinmektedir. Nikel, bakır bulunan alaşımlar ve Çinko, kullanılan yarıiletken malzemelerdir. 1943 yılında Leningrad Fizik ve Teknoloji Enstitüsü tarafından yapılan çalışmalarda ateş ve su sıcaklık farkı 300C°'ye ulaştırılmış ve gerilim üretilmede kullanılmıştır. Bulunan bu alete TG-1 adı verilmiştir. TG-1 10W güç üretebilmekteydi. Gerillalar, bu sıcaklık farkından oluşan elektrik enerjisiyle radyo istasyon pillerini şarj etmişlerdir. Savaş sonrasında kırsal bölgelerde yaşayan halk bu sistemi ve biraz daha geliştirilmiş halini kullanmıştır. Geliştirilen sistemlerle gaz lambasıyla elektrik enerjisi üretilir hale gelmiştir. Bu sistem çıkış gücü olarak 12V ve 25W güç verebilmekte ve yaklaşık olarak 8,5 kg ağırlığındaydı [8].

Günümüzde içten yanmalı motorlu taşıtların egzoz manifolduna ya da kalorifer sistemine bu sistemin entegre edilmesi için çalışmaların sürdüğü ve gelecekte kullanımının oldukça yaygınlaşacağı görülmektedir.

Fotovoltaik pillerde de bu sistem kullanılmaktadır. Güneş ışınlarından gelen sıcaklık enerjisi üzerinde bulunan hücrelerle doğrudan elektrik enerjisine çevirebilmektedirler. Ayrıca bilgisayar ya da diğer aletlerde kullanılan mikroişlemcilerde kullanılması için şu an da gerekli çalışmalar sürmektedir.

Buzdolabı ya da klima gibi soğutma işlemleri yapılan bazı uygulamalarda da termoelektrik jeneratör sistemi kullanılabilir.

Termoelektrik jeneratör sistemi temel olarak peltierlerden oluşmaktadır. Bu projede, sistem tekstil fabrikalarında bulunan kumaş boyama kazanlarında kullanmayı hedeflemektedir. Bu sebeple termoelektrik jeneratör sistemi dışında; akü ve inverter cihazlarına da ihtiyaç duyulmaktadır.

## 2.1. Seebeck Etkisi

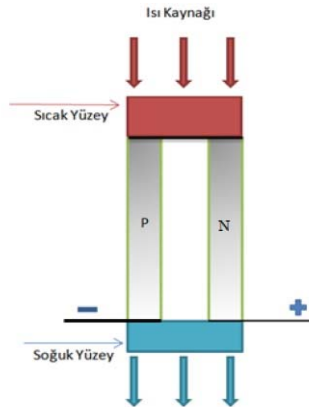
Sıcaklık farkının doğrudan elektrik gerilimine dönüşümüne Seebeck etkisi denmektedir. Seebeck etkisi, sıcaklık farkı olduğu zaman yarıiletken yük taşıyıcılarının sıcak uçtan soğuk uca doğru hareketi sonucu oluşan potansiyel fark ile oluşmaktadır. İki uç arasında potansiyel farkın sıcaklık farkına oranıdır. Bu oran sonucu Seebeck katsayısı bulunmaktadır [3].

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \text{ } (\mu V/K) \text{ ile bulunabilir.}$$

S= Seebeck katsayısı

$\Delta V$ = Potansiyel fark

$\Delta T$ =Sıcaklık farkı



Şekil 1. Seebeck etkisi [3]

## 2.2. Peltier Etkisi

Elektrik akımının sıcaklık farkına dönüşümüne Peltier etkisi denmektedir. Peltier etkisi, verilen elektrik akımının artmasıyla doğru orantılı olarak yüzeyler arası sıcaklık farkı meydana gelmesini sağlar [3].

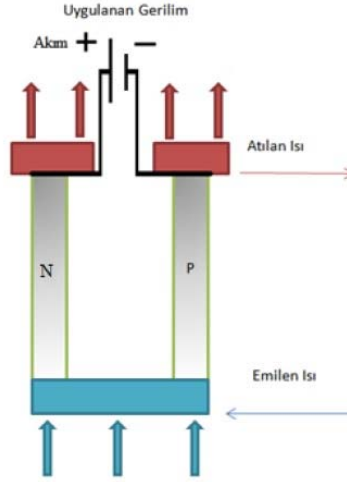
Peltier etkisindeki sıcaklık farkı;

$$Q_{peltier} = \pi_{AB} I \text{ } (AV) \text{ ile bulunabilir.}$$

$Q_{peltier}$ =Isı miktarı

$\pi_{AB}$ =Peltier katsayısı

$I$ =Verilen akım miktarı



Şekil 2. Peltier etkisi [3]

### 3. KULLANILAN YÖNTEM VE BULGULAR

#### 3.1. Yöntem

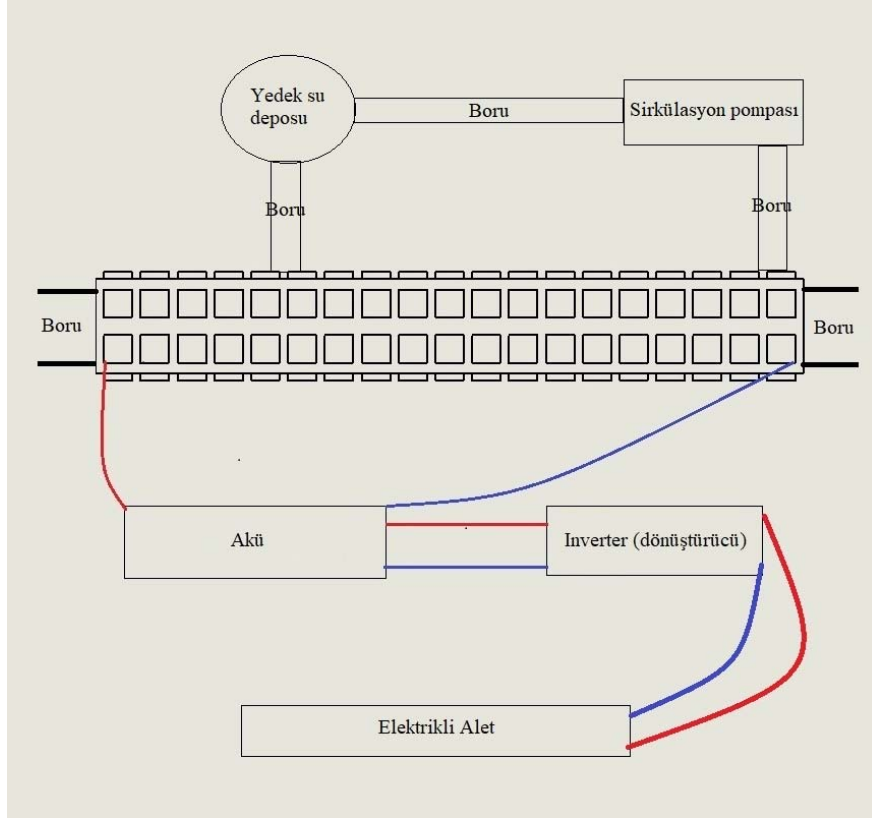
Tasarım yapılırken SolidWorks kullanılmış sonrasında tasarım Ansys (Swanson Analysis Systems Inc.) ortamına aktarılmıştır. Yöntem olarak, sonlu elemanlar tekniği ile çalışan Ansys kullanılmıştır. Ansys ile yapılan analiz sonucuna göre deney yapılarak gerçek veriler toplanmıştır.

Tekstil fabrikasında kaynar su boya kazanına taşımada çelik boru kullanılmaktadır. Boru yüzeylerin dairesel olması sebebiyle bakırdan imal edilecek bir ara katmanla yüzeyler düzleştirilerek Peltier montajına uygun hale getirilecektir. Aşağıdaki şekil 4. ve şekil 5.'de bakır katmanın tasarımı gösterilmiştir (tasarım DN100 boru standardı için).

Soğuk yüzey sıcaklığının artmaması için sirkülasyon pompası ve yedek su deposu gereklidir. Bu sistemin şeması şekil 3.'de verilmiştir. Bakır bloğa monte edilmiş sıcak yüzeyin, diğer yüzeyine monte edilecek olan borular vasıtasıyla soğuma işlemi gerçekleştirilecektir [9].

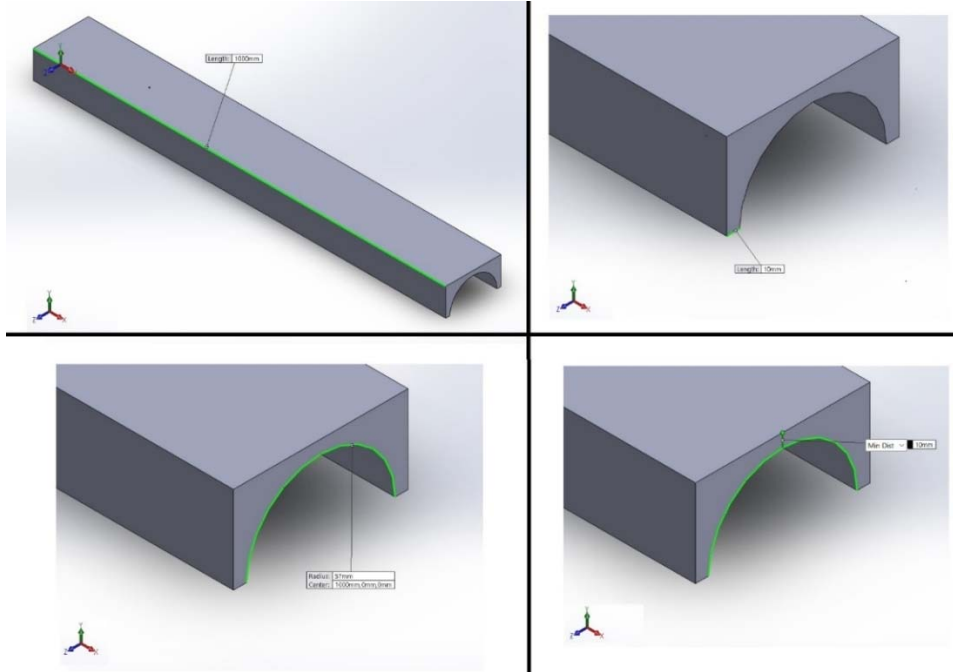
Ara katman yüzeyde bakır kullanılma sebebi bakırın ısı iletkenliğinin alüminyum, çelik, dökme demir gibi metallere göre daha yüksek olmasıdır [10].



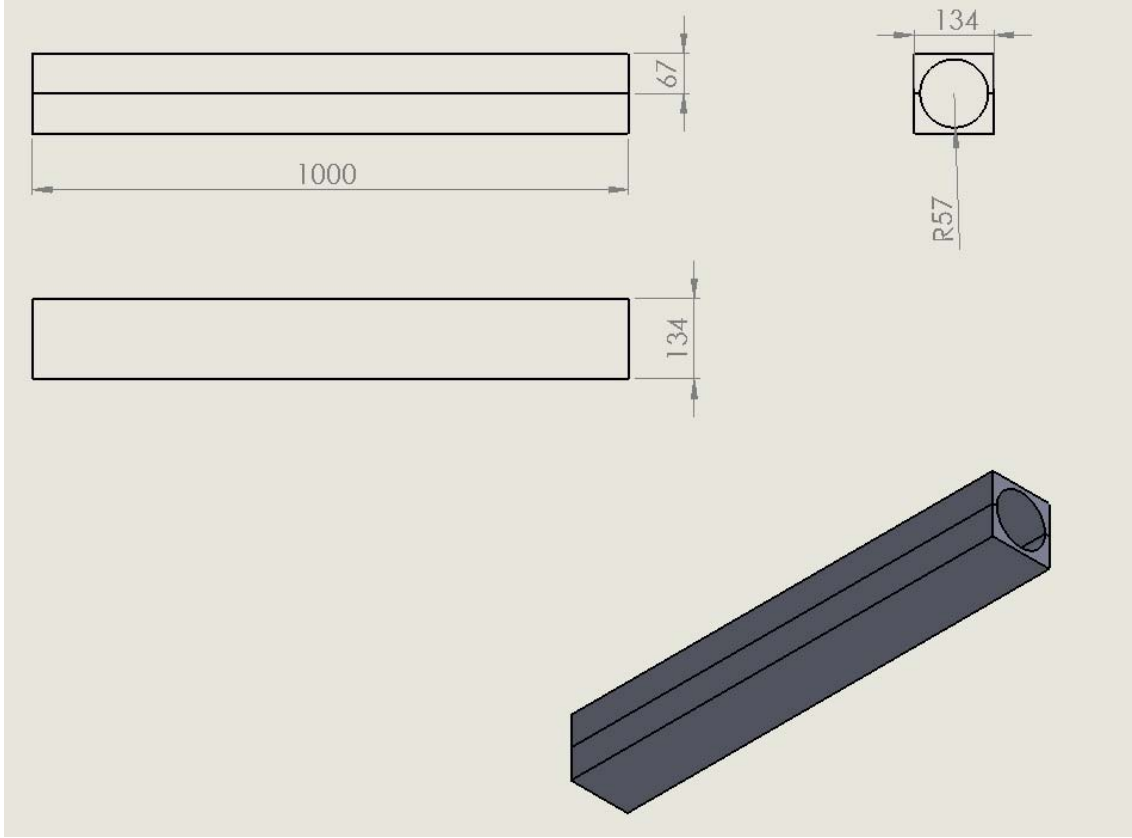


**Şekil 3.** Sistem Ekipmanlarının montajı yapılmış devre şeması

Aşağıdaki şekil 4.'de bakır katman tasarımının SolidWorks ortamında yapıldıktan sonraki görüntüsü verilmiştir. Tasarım DN100 boru için yapılmıştır.

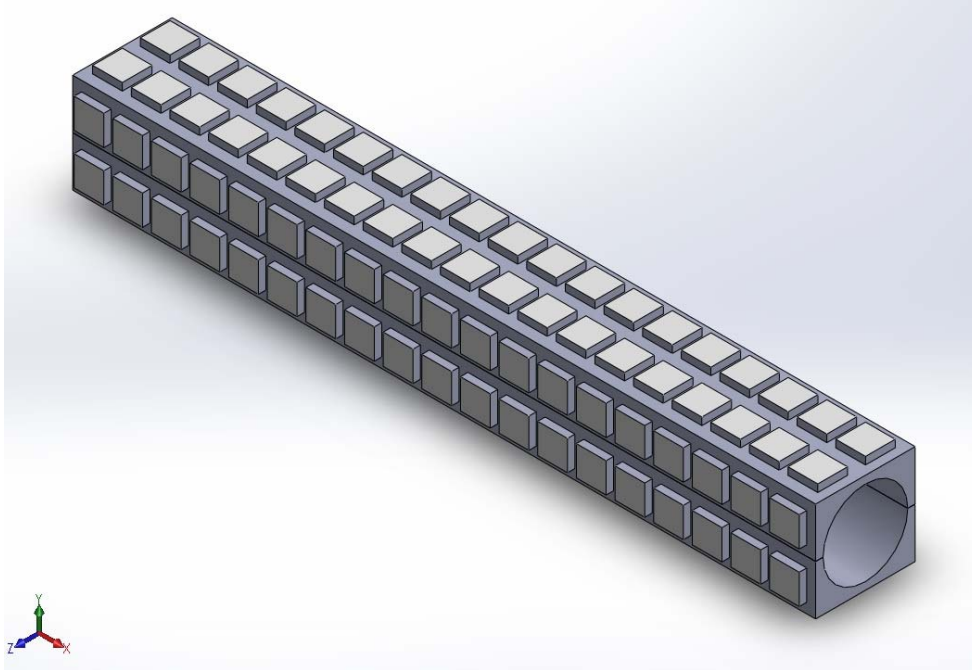


**Şekil 4.** Bakır katman tasarımı



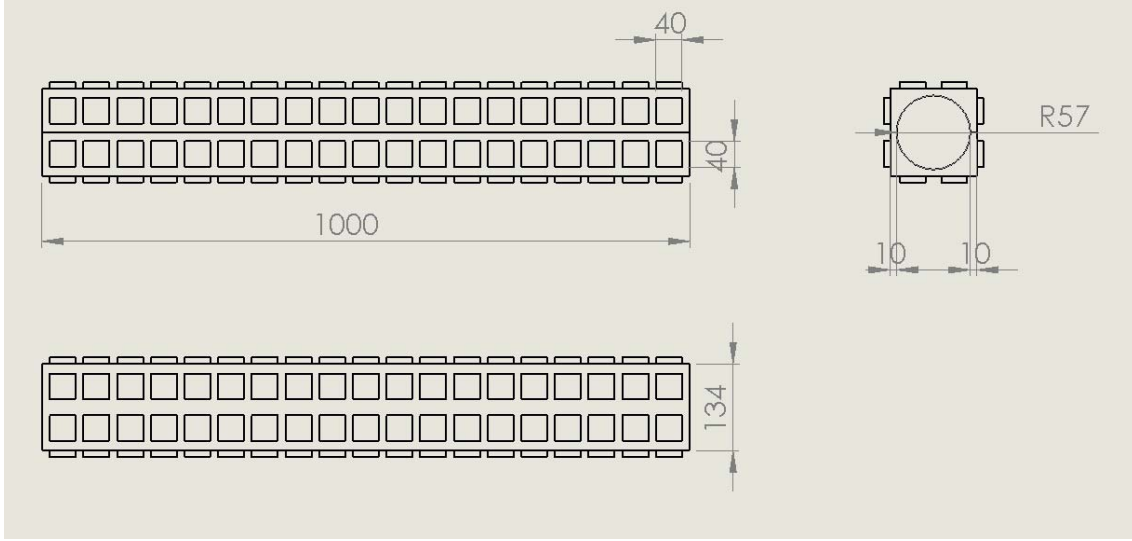
**Şekil 5.** Bakır katman teknik resmi

Aşağıdaki şekil 6.'da Peltier montajlanmış biçimde bakır katman gösterilmiştir. Bu katmanın ortasında boru geçecektir.



**Şekil 6.** Peltier montajlı bakır katman

Aşağıdaki şekil 7.'de Peltier montajlı bakır katmanın teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 7. Peltier montajlı bakır katman teknik resmi

### 3.1.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Elemanlar Yönteminin kullanılmaya başladığı yıllar 1950'li yıllardır. Bilgisayar ve işlemci teknolojisinin her geçen gün daha da gelişmesiyle beraber kullanımı artmıştır. Matematik, fizik gibi mühendisliğin her dalı için önemlidir ve yaygın olarak kullanılır.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, belirli sınır şartları altında bir parçanın veya montajın nasıl davrandığını tahmin etmek için kullanılan sayısal bir metottur. Isı, akışkan, piezoelektrik, elektrik alanlarında kullanıldığı söylenebilir. Ayrıca taşıtlarda ve inşaat sektöründe şekil değiştirme ve gerilmelerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Mühendisler, fiziksel prototiplerin ve deneylerin sayısını azaltmak ve daha iyi ve hızlı ürünler geliştirmek için ayrıca masraflardan tasarruf etmek için bileşenleri tasarım aşamalarında optimize etmek için kullanırlar. Kullanımda Sonlu Elemanlar Analizi, tasarımı Mesh elemanlarına ayırarak bir tasarım modelini matematik bir modeline çevirmede kullanılır. Sonlu elemanlar analizi kullanan programlara örnek olarak Ansys verilebilir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi; bir ürünün çalışma sırasında yapacağı davranışları önceden fark etmemizi sağlar, maliyet ve zamandan kazanım sağlar. İncelenecek olan parçadan doğru sonuçların alınabilmesi için Mesh atamasının doğru bir biçimde yapılması gerekir [11].

Sonlu Elemanlar Yönteminin bazı dezavantajları;

- Bulunan sonucun doğruluğu, sınır şartlarının doğruluğuna bağlıdır.
- Bir bilgisayara ihtiyaç vardır.
- Sonuç önceden tahmin edilerek inceleme yapılabilir çünkü işlem sırasında bazı adımlar yanlış gerçekleştirilmiş olabilir.

En doğru sonuçlar, daha fazla Mesh elemanı ile elde bulunabilir. Eleman boyutlarının küçüldükçe daha güçlü ve kaliteli bilgisayar hafızası, ekran kartı ve işlemci gerektirir.

### 3.1.2. Ansys Ortamında Analiz Gerçekleştirme Adımları

Ansys ortamında analiz yapmadan önce, ilk olarak analizin tipi belirlenmelidir. Ansys ortamında elektrik, statik, dinamik, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ya da termal analiz gibi çok çeşitli analiz türleri mevcuttur. Analiz türü kesinlikle doğru belirlenmelidir. Analiz türü belirlendikten sonra analizi gerçekleştirilecek tasarımın malzeme özellikleri belirlenmelidir. Malzeme özellikleri kütüphaneden seçilebileceği gibi özellikleri bilinen fakat malzeme kütüphanesinde bulunmayan malzemeler de

kullanılabilir. Malzeme belirlendikten sonraki adımda analizini gerçekleştirilecek olan tasarımın Ansys ortamında çizilmesi ya da Catia, SolidWorks gibi paket çizim programları kullanılarak çizilen geometrinin Ansys'e yüklenmesi gerekir Ansys dışı bir CAD ("Computer Aided Design", Bilgisayar Destekli Tasarım) programı ile çizilen geometri aktarımı sırasında bazen çeşitli problemler oluşabilir, Ansys'in tasarımı kabul etmemesi gibi problemler oluşabilir. Bu tip problemlerde kullanılan CAD programındaki çizim daha sade yani gereksiz çizgi ya da adımlardan arındırılması gerekebilir.). Tasarım da belirlendikten sonraki adım da Mesh atama işlemi yapılır. Mesh elemanlarının asıl amacı modeli basitleştirerek sonlu elemanlar metodunu kullanmak için ön hazırlık yapmaktır. Bu adım belki de en önemli adımlardan biridir. Mesh ataması hatalı olursa analiz yanlış veya çok farklı sonuçlar verebilir. Mesh atama işlemi kontrol etmenin çeşitli metotları mevcuttur. Mesh atama işlemi yapıldıktan sonra 'Quality' kısmından kontrol edilebilir.

### 3.2. Kullanılan Malzemeler

N tipi yarıiletken için Bizmut Tellür ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) kullanılır. P tipi yarıiletken için Antimon Tellür ( $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ) kullanılmaktadır. N tipi ve P tipi yarıiletkenlerin sabitlendiği bakır alaşım tabakası vardır. En dışta ise seramik plaka tarafından birden fazla termoelement birleştirilmiş durumdadır [12].

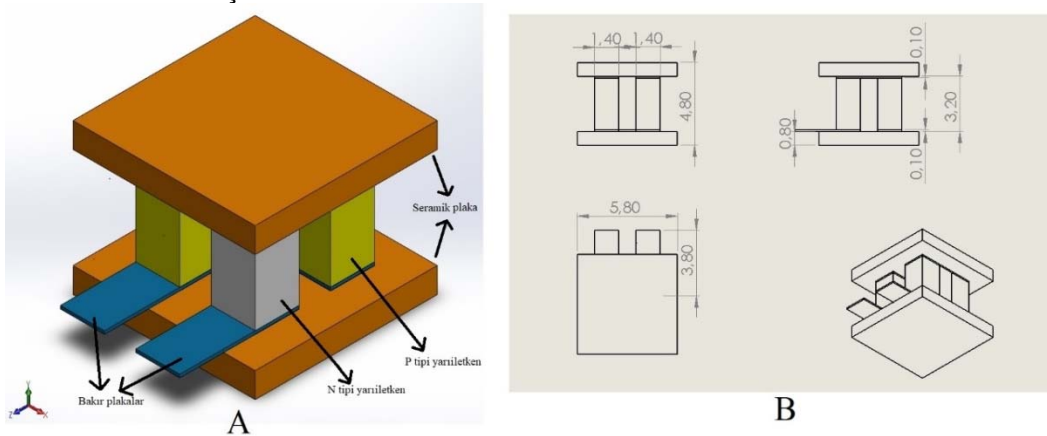
Kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki gibidir.

**Tablo 1.** Malzeme özellikleri [12]

Film	Seebeck coefficient ( $\mu\text{V}/\text{K}$ )	Electrical conductivity ( $\text{S}/\text{m}$ )	Thermal conductivity ( $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ )
$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-181.57	920.2	1.2
$\text{Sb}_2\text{Te}_3$	229.4	624	1.65
$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-192.75	699.5	1.2
$\text{Sb}_2\text{Te}_3$	228.2	540	1.65
$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-201.77	416	1.2
$\text{Sb}_2\text{Te}_3$	224	486	1.65
$\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-202.68	376.9	1.2
$\text{Sb}_2\text{Te}_3$	210.5	406	1.65

### 3.3. Analiz Aşaması

SolidWorks ortamında tasarımı gerçekleştirilen aşağıdaki şekil 8.'de analiz gerçekleştirilmek üzere Ansys ortamına aktarılmıştır.



**Şekil 8.** Şekil A montaj izometrik görüntüsü, şekil B montajın teknik resmi

Tasarım Ansys ortamına aktarıldıktan sonra ilk olarak malzeme ataması yapılması gerekir. Kullanılacak N tipi ve P tipi yarıiletkenlerin malzemesi kütüphanede olmadığı için tablo 1.'de verilen malzeme özellikleri kütüphaneye eklenir. Gerekli malzemeler tamamlandı için malzeme atamasına geçilir. Bakır ve seramik kısımlar kütüphaneden seçilir, P ve N tipi yarıiletkenler ise kütüphaneye eklenen malzemelerden alınarak gerekli kısımlara malzeme ataması yapılır.

Malzeme ataması yapıldıktan sonraki adım ise mesh ataması olacaktır. Aşağıdaki şekil 13.'de mesh ataması yapılmış termoelement görülebilir. Mesh atma işleminden sonra, atılan Mesh'in kalitesine bakmak için sol tarafta bulunan Quality sekmesinde bulunan Mesh Metric sekmesindeki parametrelerden yararlanılır. Mesh kalitesi ölçümü yapabileceğimiz çeşitli parametreler vardır bunlar; Warping Factor, Element Quality, Aspect Ratio, Jacobian Ratio, Parallel Deviation, Maximum Corner Angle, Characteristic Length, Skewness ve Orthogonal Quality parametreleridir. Bu çalışmada kullanılan mesh elemanlarının kalitesini öğrenebilmek için Orthogonal Quality ve Warping Factor parametrelerine bakılacaktır.

Skewness mesh metrics spectrum:



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

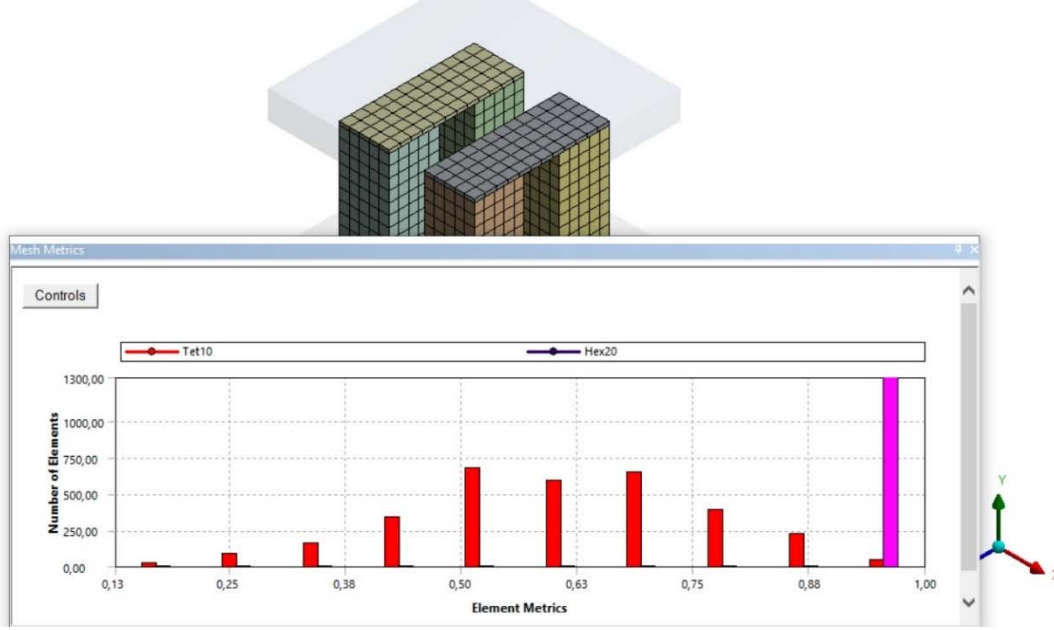
Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:



Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

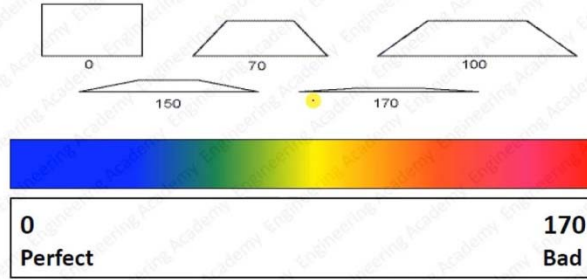
**Şekil 9.** Skewness ve Orthogonal Quality metrik spektrumu [13]

Yapılan mesh ataması sonucu, mesh elemanlarının orthogonal quality değerleri aşağıdaki şekil 10.'daki gibidir. Mesh elemanlarının büyük çoğunluğu 0,95 civarındadır. Mesh metric spectrum tablosu incelendiğinde mesh eleman kalitesinin çok iyi olduğu görülmektedir.



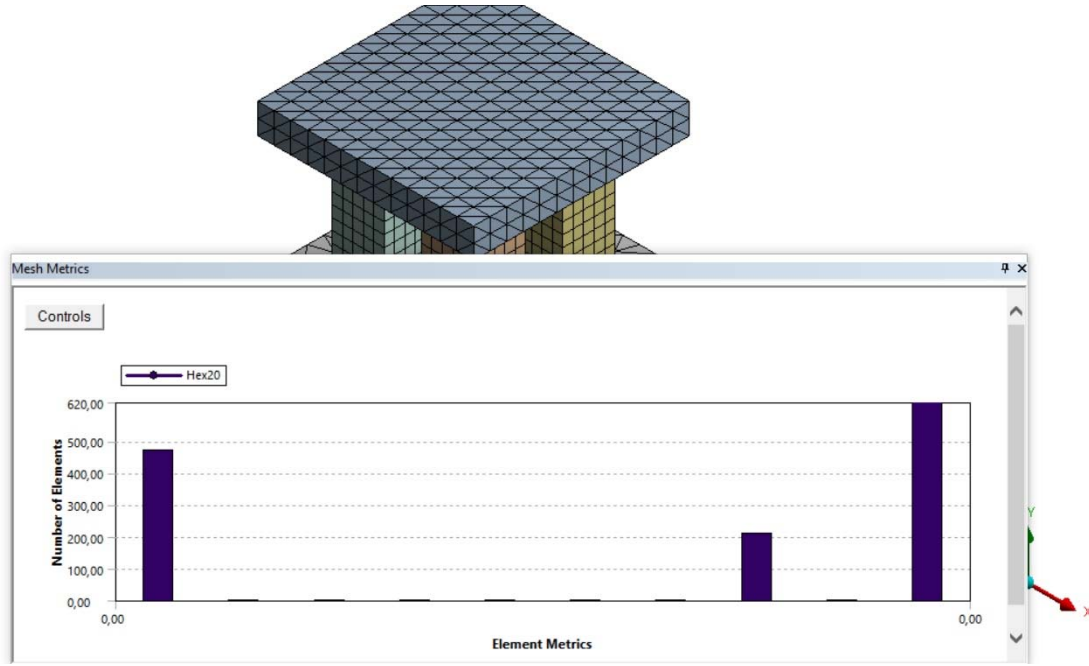
Şekil 10. Orthogonal Quality kalite grafiği

#### Parallel Deviation:

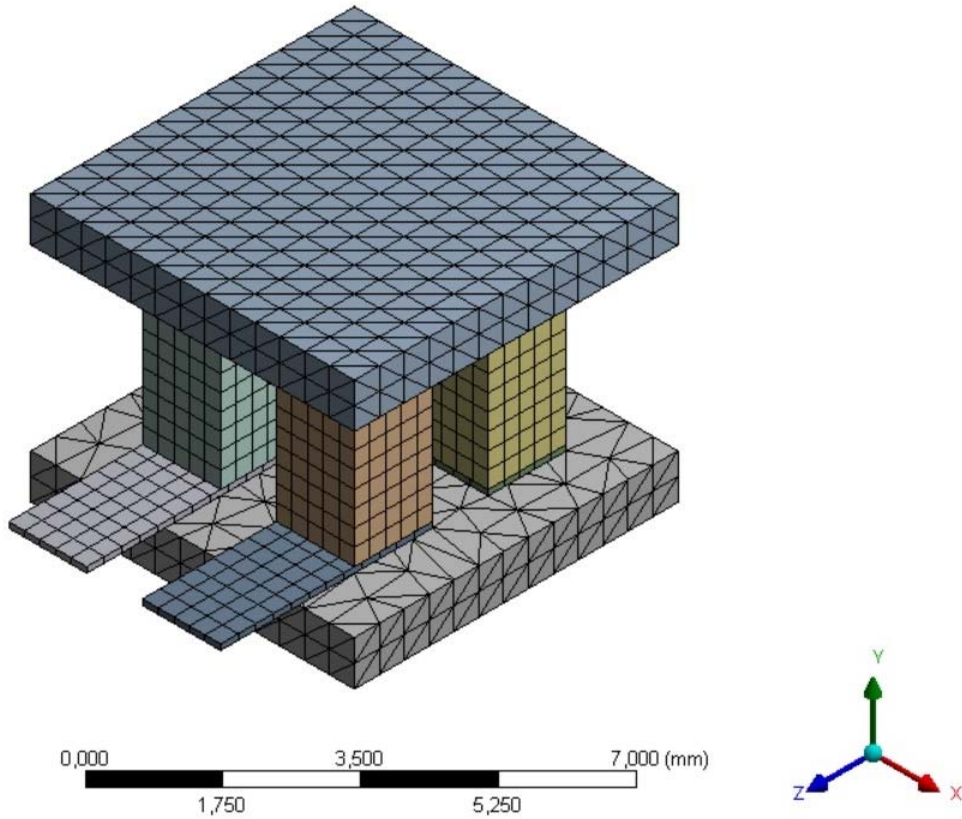


Şekil 11. Parallel Deviation metrik spektrumu [13]

Aşağıdaki şekil 12.'de ise Parallel Deviation kalite grafiği verilmiştir. Çıkan sonuçta bütün mesh elemanları 0 düzeyinde çıkmıştır, bu değer kalite grafiğinden incelendiğinde oldukça iyi mesh ataması yapıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 12. Parallel Deviation kalite grafiği

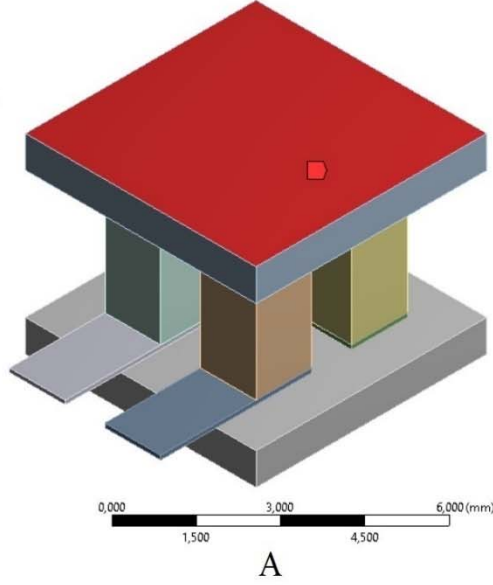


Şekil 13. Mesh ataması yapılmış termoelement

Mesh ataması yapıldıktan sonra uygun sınır şartları belirlenmelidir. Uygun sınır şartları fabrika koşullarında soğuk yüzey için  $30^{\circ}\text{C}$ , sıcak yüzey için ise  $120^{\circ}\text{C}$ 'dir. Aşağıdaki şekil 14.'de soğuk ve sıcak yüzeyler görülebilir.

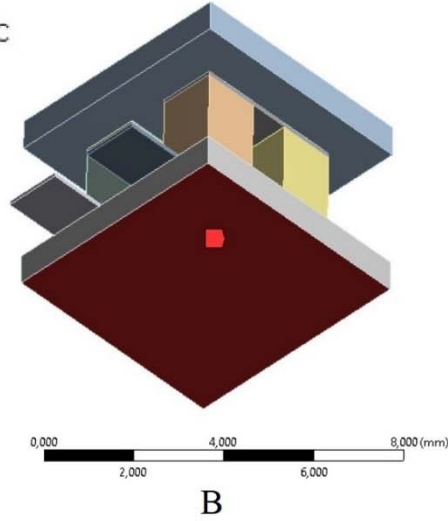
A: Thermal-Electric  
SICAK YÜZEY  
Time: 1, s  
6.01.2023 11:45

■ SICAK YÜZEY:  $120, ^{\circ}\text{C}$



A: Thermal-Electric  
SOĞUK YÜZEY  
Time: 1, s  
6.01.2023 11:45

■ SOĞUK YÜZEY:  $30, ^{\circ}\text{C}$



**Şekil 14.** Şekil A sıcak yüzey, şekil B soğuk yüzey

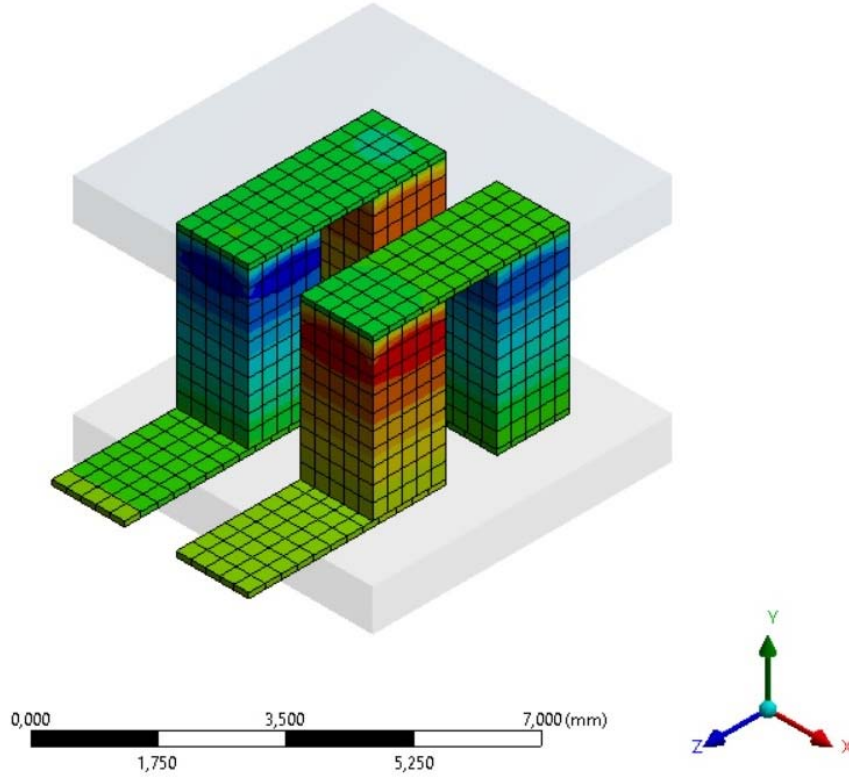
Yüzeyler belirlendikten sonra düşük voltaj ve yüksek voltaj çıkışları belirlenmelidir. Sıcak yüzey üstte soğuk yüzey altta olacak şekilde düşünüldüğünde sol taraf yüksek voltaj, sağ taraf ise düşük voltaj kısmı olmalıdır.

Sonrasında tasarımın konveksiyon katsayısı girilmelidir. Konveksiyon katsayısı havanın normal şartlarında yaklaşık  $20 \text{ W}/\text{m}^2\text{k}$  olduğu için analizde de bu değer kullanılacaktır [14].



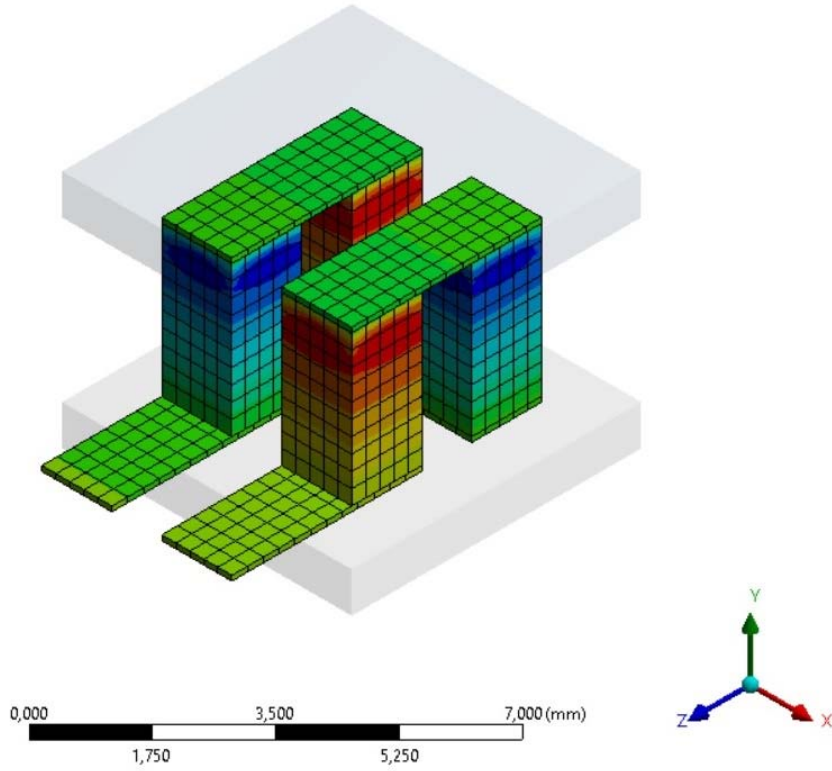
Konveksiyon değerinden sonra sonuçlar kısmından elektrik voltaj sonucu seçilmeli sonrasında analiz yapılabilir.

Aşağıdaki şekil 15. ve şekil 16.'da analizi tamamlanmış tasarım verilmiştir. Verilen tasarımlardan şekil 15.'da soğuk yüzey 20°C ve sıcak yüzey 120°C'dir, bu sınır şartları altında oluşan elektrik voltajı analiz sonuçlarının görselidir. Görselde yeşil olarak görünen yerlerde yaklaşık 0,022 mV elektrik enerjisi vardır. Kırmızı rengine doğru bu elektrik enerjisinin değeri azalmaktadır.



**Şekil 15.** Soğuk yüzey 20°C, sıcak yüzey 120°C sınır şartlarında analiz sonucu

Aşağıdaki şekil 16.'da soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C'dir, bu sınır şartları altında oluşan elektrik voltajı analiz sonuçlarının görselidir. Görselde yeşil olarak görünen yerlerde yaklaşık 0,021 mV elektrik enerjisi vardır. Kırmızı rengine doğru bu elektrik enerjisinin değeri azalmaktadır.



Şekil 16. Soğuk yüzey 30°C, sıcak yüzey 120°C sınır şartlarında analiz sonucu

### 3.4. Bulgular

Fabrika şartları, soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C sınır şartları için tablo 2.'de verilen sonuçlar bulunmuştur. Bulunan sonuçlar bir Peltier için verilmiştir. Sonuç incelendiğinde 90 derece sıcaklık farkı için 1,7415mV gerilim değeri bulunmuştur. Bulunan değer 40mm\*40mm ölçülerindeki bir adet Peltier kullanılmasında durumunda bulunan değerdir.

Tablo 2. Analiz sonuçları-1

SOĞUK YÜZEY (C°)	SICAK YÜZEY (C°)	SICAKLIK FARKI	BULUNAN MAKS. GERİLİM (mV)
30	120	90	1,7415

Bulunan bu değer, yaklaşık 50 metre uzunluğuna uygulanacak olan bakır plakanın 4 yüzeyine Peltier montajı sonucunda tablo 3.'deki gibi değişmektedir. Maksimum kullanılacak Peltier sayısı 7600 adettir. 7600 peltier kullanılması durumunda, soğuk yüzey ve sıcak yüzey arası sıcaklık farkının 90 derece olduğunda 13,2354V gerilim değeri bulunmuştur. Bu değer 12V'luk aküyü şarj edebilmek için yeterlidir. Akü kullanımı sonucu elektrik akımı sürekli olmasa bile ihtiyaç duyulduğunda elektrik enerjisi kullanılabilir. Aküden besleme yapıldığı için akü çıkışına inverter cihazı eklenecek ve gerilim değeri 220V'a çıkarılacaktır.

Tablo 3. Analiz sonuçları-2

SOĞUK YÜZEY (C°)	SICAK YÜZEY (C°)	SICAKLIK FARKI	BULUNAN MAKS. GERİLİM (V)
30	120	90	13,2354

Farklı sıcaklık farklarında bulunan değerler aşağıdaki şekil 17.'deki grafikten incelenebilir.



Şekil 17. Farklı sıcaklık farklarında bulunan değerler

Bu sistemde üretilen elektrik enerjisi 220V'a dönüştürülerek fabrika içerisinde kullanılacaktır. Sistemin fabrika kazancı hesaplamak için toplam akım yoğunluğu analizi de yapılır. Yapılan analiz sonucunda soğuk yüzey 30°C ve sıcak yüzey 120°C sınır şartları için toplam akım yoğunluğu 291,82 mA/mm<sup>2</sup> bulunmuştur. Peltierlerin kesit alanı 181,7 mm<sup>2</sup>'dir. Elektriksel güç hesaplanır ve gerekli birim dönüşümleri yapılarak bu sistemin 703,4W elektrik güç üretebileceği hesaplanmıştır. Bu güç, 3,2A'e kadar olan elektrikli aletleri çalıştırmaya yetecektir. Hesaplanan değer kullanılacak elektrikli alete, boyahananın günlük çalıştığı saate, sistemde kullanılan toplam kablo uzunluğu ve ortam sıcaklığı gibi çeşitli parametrelere bağlı olacaktır.

Grafik incelendiğinde ise, 90 derece sıcaklık farkına ulaşıncaya kadar 0,000197°'lik bir eğimle artış göstermiş, 90-100 derece sıcaklık farklarında 0,00009°'lik bir eğimle artış göstermiş ve 100-150 derece sıcaklık farklarında ise 0,00016°'lik eğimle artış göstermiştir. Grafikten de görülebileceği üzere sıcaklık farkı arttıkça genel olarak üretilen maksimum elektrik gerilim değeri artış göstermiştir. Fabrika koşullarında bulunacak olan 90 derece sıcaklık farkı ise en yüksek artış gösteren bölge içerisinde yer almaktadır.

Maksimum gerilim değeri 13,2354V bulunmuştur. Akünün şarj olabilmesi için 12V'luk enerji yeterli olduğu için devrede akü öncesi inverter kullanımına ihtiyaç duyulmamıştır. Akünün 13,2354V'luk enerji ile şarj olması esnasında akü dolduğunda enerjinin kesilebilmesi için akü üzerine akü şarj devresi montajı yapılacaktır. Aküden sonra inverter kullanılacaktır çünkü, aküden gelen 12V'luk enerji elektrikli aletlerin çalışabilmesi için yeterli değildir bu sebeple 220V'a dönüştürülerek kullanılacaktır [15,16,17].

## SONUÇ

Bulunan analiz sonuçları incelendiğinde; üretilebilecek enerjinin inverter kullanılarak fabrika içerisinde çeşitli yerlerde kullanımı için yeterli olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın yenilikçi yönü, yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde özellikle tekstil sektöründe ilk kez termoelektrik jeneratör sistemi kullanılması ve dairesel yüzeyi, düzlemsel yüzeye dönüştürebilmek için tasarlanmış olan bakır tabakadır. Bu bakır taba sayesinde peltierler yüzeysel temas sağlamakta, ayrıca sistem daha çok Peltier montajına uygun hale gelmektedir.

Proje tekstil fabrikası için gerçekleştirilmiştir. Projenin temel hedefi tekstil fabrikalarında kullanılan yüksek enerji tüketimini düşürmektir. Özellikle tekstil sektörü olmak üzere atıl ısı bulunan çeşitli

sektörleri kapsayabilir. Günümüzde kullanılan içten yanmalı motorlu araçların yaklaşık %35 verimle çalışarak yaygın olarak kullanıldığını düşünürsek termoelektrik jeneratör sistemi de yaygın olarak kullanılabilir. Termoelektrik jeneratör sisteminin kullanımının yaygınlaşması sonucu artan bilimsel çalışmalarla gelecekte daha yüksek verimle daha fazla elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://mc2haber.com/bp-dunya-enerjisi-2022-istatistiksel-incelemesini-yayimladi>.
- [2] [https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya\\_enerji\\_t%C3%BCketimi](https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya_enerji_t%C3%BCketimi).
- [3] Kayabaşı R. Ve Kaya M., “Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi,” Eur. J. Sci. Technol., no. 16, pp. 310–324, 2019.
- [4] Gürçan A. Ve Yakar G., “Farklı Dış Ortam Sıcaklıklarında Kullanılan Bir Termoelektrik Jeneratör Sisteminin Isı Alıcısının Optimizasyonu Optimization of the Heat Sink of a Thermoelectric Generator System Used at Different Outdoor Temperatures,” pp. 0–2, 2021.
- [5] Kayabaşı R. Ve Kaya M., “Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi,” Eur. J. Sci. Technol., no. 16, pp. 310–324, 2019.
- [6] Yağmur Y. Ve Taşdelen K., “Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik Üretimini Deneysel İncelenmesi Experimental Analysis of Producing Electrical Energy From The Radiator Using Thermoelectric Generator,” vol. 3, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [7] Termoelektrik Jeneratör.” [https://stringfixer.com/tr/Thermoelectric\\_generator](https://stringfixer.com/tr/Thermoelectric_generator)
- [8] Termoelektrik akım jeneratörünün yaratılmasının tarihi, 2021. <https://tr.topwar.ru/179970-istorija-sozdaniya-odnogo-maloizvestnogo-izdelija-prodolzhenie.html>
- [9] <https://argevetasarim.com/metallerin-metalik-elementlerin-ve-alasimlarin-isil-iletkenligi/>
- [10] <https://celikonline.movie.blog/hangi-metaller-isiyi-en-iyi-iletir/>
- [11] Masis, “Sonlu Elemanlar Analizi,” 2020. <https://marsisinovasyon.com/sonlu-elemanlar-yontemi/>
- [12] Shen H., Lee H. Ve Han S., “Optimization and fabrication of a planar thermoelectric generator for a high-performance solar thermoelectric generator,” Curr. Appl. Phys., vol. 22, no. November 2020, pp. 6–13, 2021.
- [13] <https://forum.ansys.com/discussion/12577/what-is-the-source-of-mesh-quality-spectrum>.
- [14] <https://www.analizansys.com/sonlu-elemanlar-analizi/>,» [Çevrimiçi].
- [15] [https://help.solidworks.com/2014/turkish/solidworks/Cworks/c\\_Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](https://help.solidworks.com/2014/turkish/solidworks/Cworks/c_Convection_Heat_Coefficient.htm)
- [16] Hazar H. Ve Öner C., “İÇTEN YANMALI MOTORLARDA SERAMİK KAPLAMANIN MOTOR PERFORMANSINA ETKİSİ”, Doğu Anadolu bölgesi araştırmaları, 2004.
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=pHgaqpP9lcg&t=388s>.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ömer Faruk DEMİRBAŞ

2000 yılında İstanbul’da doğdu. Aslen Orduludur. İlk öğrenimini Hasdal İlkokulu’nda aldı. Ortaöğrenimini Mevlana Ortaokulu’nda aldı. Sonrasında lise öğrenimini Kayaşehir Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2018 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2021 yaz dönemi sonunda Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2022 yılı Ocak ayında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında tezli yüksek lisans programını 1. olarak kazandı. Kasım 2021’den beri Aydın Tekstil firmasında Üretim Planlama Mühendisliği yapmaktadır. Mühendis beyinler sayfasında makaleler yayınlamaktadır.

### Mustafa Ali Ergün ERTÜRK

1965 yılı Afyonkarahisar’da dünyaya gelmiştir. İlk,orta, lise öğrenimlerini Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesinde tamamlamıştır. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Makine Eğitimi



bölümünden lisans derecesini aldı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 2012 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümünden Doktora derecesini aldı. 2018 yılı 11 haziranda Üniversitelerarası kurulundan Makine Mühendisliği Termodinamik- Enerji alanında Doçentlik derecesini almıştır. 1998-2019 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Balıkesir MYO iklimlendirme ve soğutma programında öğretim görevlisi, Yrd Doç Dr ve Doç Dr olarak çalışmıştır. 2019 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

Akademik olarak çok sayıda ulusal ve uluslararası yayın çalışmalarıyla birlikte bilimsel projelerde araştırmacı olarak görevler yapmıştır. Farklı enerji kaynaklı ısı pompaları, farklı faz akışkanlı ısı değiştiriciler, soğutma, havalandırma, iklimlendirme, yalıtım ve güneş enerjisi konularında çalışmaları vardır.

# HAVA SOĞUTMALI YAĞ SOĞUTUCU ISI EŞANJÖRÜNDE KULLANILAN BURGULU VE TEL TÜRBÜLATÖRLERİN ÜRÜN PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

*Experimental Investigation Of The Effect Of Twisted Tape And Wire Turbulators Used In Air-Cooled Oil Cooler Heat Exchanger On Product Performance*

**Mustafa Zabun**  
**Harun Denizli**

## ÖZET

Endüstriyel proseslerde sıklıkla kullanılan kanatlı borulu ısı eşanjörü, ısıtma/soğutma sistemlerinin en önemli bileşenlerindedir. Kanatlı borulu ısı eşanjörünün veriminin artırılması enerji tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Boru içerisinde kullanılacak türbülator verimi arttırmak adına kullanılan yaygın bir seçenektir. Türbülator, boru içerisinde ilave basınç kaybı oluşturması yanında boru içi ısı transferinin iyileşmesini sağladığından üründe birim metrekare başına alınan kapasite miktarını arttırmaktadır. Akışta türbülator kullanılmasıyla, akış bölgesindeki sınır tabakanın parçalanması, boru iç çevresinde ek türbülans oluşturulması, akışın olduğu çevrede ikincil akışların oluşması ve türbülator adımlarının farklılaşması neticesinde akış uzunluğunun artmasının gibi etkiler görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 150 kW kapasitede bir test sistemi kurulmuştur. Test sisteminde 10 x 15 kW ısıtıcı, toplam yağ hacmi 1,5 m<sup>3</sup>, 5-50 m<sup>3</sup>/h debi aralığında çalışabilen inventörlü özel bir pompa kullanılmıştır. Bu çalışmada, içerisinde ısı transfer yağı geçen 15 mm boru çaplı, 120 borulu 1400 mm lamel uzunluğu olan 2 ayrı yağ soğutucu üniteleri içerisine burgulu ve tel türbülator yerleştirilerek, 50°C ve 60 °C akışkan giriş sıcaklığında ve farklı debilerde, türbülatorlerin yağ soğutucuların basınç kayıplarına ve soğutma kapasitelerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kanatlı Borulu Eşanjör, Yağ soğutucu, Türbülator, Eşanjör Boru içi ısı transferi

## ABSTRACT

The finned tube heat exchanger, which is frequently used in industrial processes, is one of the most important components of heating/cooling systems. Increasing the efficiency of the finned tube heat exchanger is very important in terms of energy saving. The turbulator to be used in the pipe is a common option used to increase efficiency. The turbulator increases the amount of capacity per unit square meter in the product, since it provides additional pressure loss in the pipe and improves the heat transfer within the pipe. With the use of turbulator in the flow, effects such as the fragmentation of the boundary layer in the flow region, the creation of additional turbulence around the inner pipe, the formation of secondary flows in the flow environment and the increase in the flow length as a result of the differentiation of turbulator steps are observed.

Within the scope of this study, a test system with a capacity of 150 kW was established. In the test system, a 10 x 15 kW heater, a total oil volume of 1.5 m<sup>3</sup>, a special pump with an inventor that can operate at a flow rate of 5-50 m<sup>3</sup>/h was used. In this study, screw and wire turbulators were placed in 2 separate oil cooler units with 15 mm pipe diameter, 120 pipes and 1400 mm fin length, passing Mobiltherm 605b fluid, at 50°C and 60 °C fluid inlet temperature and at different flow rates. The effects of losses and cooling capacities were investigated experimentally. The results were interpreted in line with the obtained data.

**Key Words:** Finned Tube Heat Exchanger, Oil Cooler, Turbulator, Heat Exchanger tube side heat transfer.

## 1. GİRİŞ

Ülkelerin toplumsal gelişimlerinin sürükleyici unsurlarının başında enerji kullanımı gelmektedir. Enerji kaynakları günlük yaşamımızın, enerji ve sanayi ürünleri ise üretimimizin en önemli yaşamsal girdileridir. Bu nedenle de ülkenin ve enerji alanının yönetimini üstlenenler, toplumun ve ekonominin gereksinim duyduğu enerjiyi kesintisiz, güvenilir, zamanında, temiz ve ucuz yollardan temin etmek ve gerek en uygun fiyatlarla sağlayabilmek, gerek enerji arz güvenliği açısından bu kaynakları çeşitlendirmek zorundadırlar.

Sanayide kullanılan bazı enerji tasarrufu yöntemleri şunlardır;

- Yanma Veriminin İyileştirilmesi
- Atık Sudan Isı Geri Kazanım
- Atık Baca Gazından Isı Geri Kazanım
- Havadan Havaya Isı Geri Kazanım
- Yalıtım (Vana) Ceketleri,
- Flaş Buhardan Isı Geri Kazanım
- Kompresör Kapasite Kontrolü
- Kireçtaşı Önleyiciler
- Soğutma Kulelerinde Enerji Tasarrufu

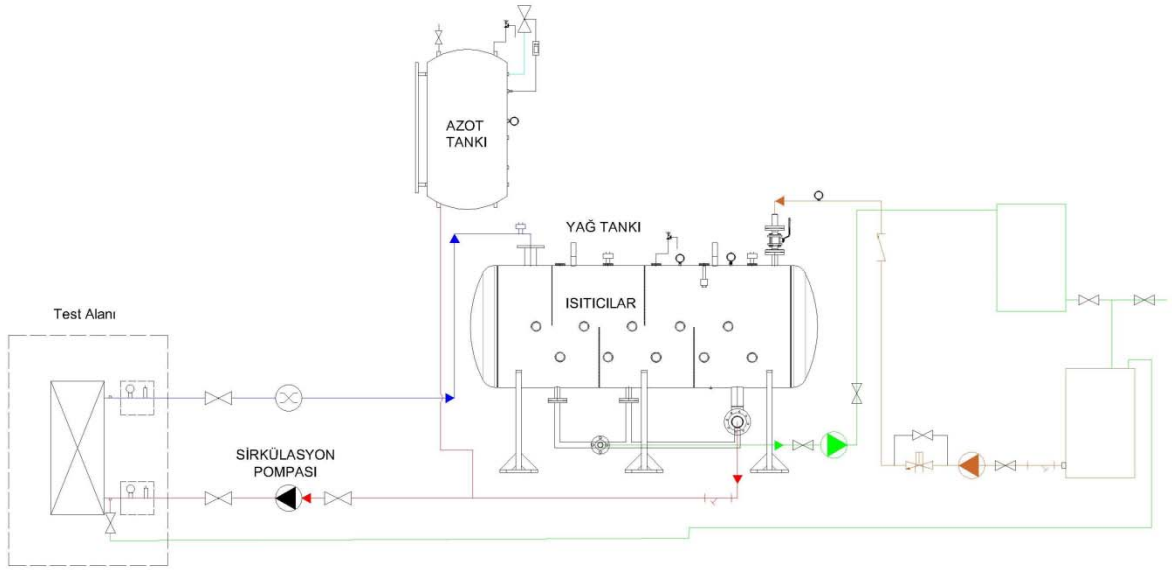
Soğutma ve ısıtma sistemlerinde ısı geçişinin sağlanabilmesi için yüzey alanının artırılması kullanılan yöntemlerden biridir. Endüstriyel tip kazanlarda, kalorifer tipi kazanlarda, nükleer tesisler verimin artırılması için türbülator kullanımı oldukça yaygındır. Enerji maliyetini düşürmesi açısından faydalı olan türbülatorlerin tasarımı konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Sparow ve arkadaşları [1], Bir boru içindeki ısı transferi ve türbülanslı hava akışındaki girdabın etkisi deneysel olarak incelemiş ve girdap olmayan boru akışındaki ısı transferi ile karşılaştırdıklarında girdap eleman içeren borulardaki ısı transferinin dikkate değer şekilde daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Mühendislik problemlerinde türbülator tipini belirlemek için hem deneysel hem de sayısal olarak çözümler yapılmaktadır. [2] Kahraman ve arkadaşları, [3] yaptıkları çalışmada iki farklı kanatçık yapısına sahip türbülatorü deneysel olarak incelemiş, ısı transferine olan etkisini incelemişlerdir. Nesrin ve arkadaşları [4], bir boru içerisinde yay ve kanatlı türbülatorleri nümerik olarak incelemiştir. Türbülans viskozite eğrisi kanatlı türbülatorünün sürekli arttığı ve yay türbülansının azaldığı bulunmuştur. Moria ve arkadaşları [5], bir boru içerisinde farklı burgu sayılarında burgulu türbülator basınç kaybını ve ısı transferini etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Elde edikleri sonuçlar doğrultusunda burgu sayısı arttıkça ısı transfer katsayısını arttığını gözlemlemişlerdir. Yadav [6], U-bükümlü çift borulu bir ısı eşanjöründe ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki yarı uzunlukta bükülmüş bant yerleştirmenin etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Düz ısı eşanjörüne kıyasla yarı uzunlukta burgulu türbülator ile ısı transfer katsayısının %40 arttığı bulunmuştur. Bedi ve arkadaşları [7], gövde-borulu ısı değiştiricisi içerisinde burgulu, kanatlı burgulu ve tel matris türbülator yerleştirerek basınç düşünü ve ısı transferini incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda, kanatlı burgulu ve tel matris türbülatorün, daha düşük Reynolds sayısında bükümlü banda kıyasla daha az ısı transfer katsayısı bulunmuştur. Selvam ve arkadaşları [8], tam gelişmiş bir türbülanslı akış için tel sargılı bobin matris türbülatorün bağlanmasının ve bağlanmasının ısı transferi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler, türbülatorün bağlanması olmadan 5, 10 ve 15 mm'lik farklı hatvelere sahip üç farklı tel sargılı bobin matris türbülatorü üzerinde gerçekleştirmiştir. Sonuçlar, ısı transfer hızının, bağlamalı tel sargılı bobin matris türbülatorün perdesi ile ters orantılı olarak arttığını göstermiştir.

Bu çalışmada endüstriyel soğutmada kullanılan bir yağ soğutucu ürün içerisinde farklı tipte türbülator konularak ürünün soğutma kapasitesine etkisi deneysel olarak incelenmiş ve mümkün olduğunca az basınç kaybında yüksek soğutma kapasitesi elde etmek amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Test Düzeneği

Sistemde bulunan tüm elemanların ve ölçme elemanlarının çalışır durumda olmasının test edildiği ve ölçüm elemanlarının kalibresinin yapıldığı deney düzeneği akışkanın ısıtıldığı bölümü ve test bölümü olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Sistemin P&ID şeması Şekil 1'de verilmiştir. Test düzeneği 150 kW kapasitededir. Test sisteminde 10 x 15 kW ısıtıcı, toplam yağ hacmi 1,5 m<sup>3</sup>, 5-50 m<sup>3</sup>/h debi aralığında çalışabilen inventörlü özel bir pompa kullanılmıştır.



Şekil 1: Yağ Soğutucu Test Düzeneği P&ID şeması

Yağ Soğutucu test düzeneğinde yağ soğutucu bir fan yardımıyla hava ile soğutulmaktadır. Test edilecek ürün laboratuvar dışına alınarak yağ izolasyonlu borular ile test ürününe taşınmaktadır.



Şekil 2: Yağ Isıtma Bölümü



Şekil 3: Test Alanı

#### 2.1.1 Yağ Isıtma Bölümü

Yağ ısıtma bölümü sabit sıcaklıkta girmesini sağlamak için tank içerisinde yağ ısıtılmaktadır. Bu deney düzeneğinde 1.5 m<sup>3</sup> hacimli tank da özel bir ısı transfer yağı kullanılmıştır. Yağın özellikleri tablo 1'de



verilmiştir. Test düzeneğinde bulunan 10 x15 kW ısıtıcılardan testler esnasında yalnızca 4 x15 kW ısıtıcı kullanmıştır.

**Tablo 1: Yağ Özellikleri**

Özellik	
Yoğunluk @ 15°C, kg/l, ASTM D1298	0,857
Parlama noktası, Cleveland Açık Kap, °C, ASTM D92	230
Kinematik Viskozite @ 100 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	5,4
Kinematik Viskozite @ 40 °C, mm <sup>2</sup> /s, ASTM D445	30,4

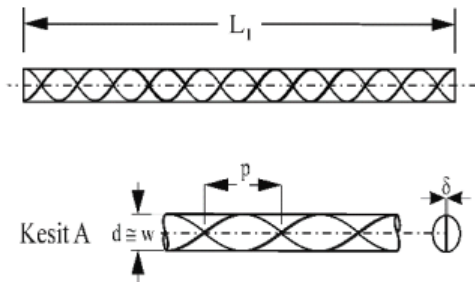
### 2.1.2 Test Bölümü

Bu deneylerde Tablo 2’de verilen tasarım özelliklerinde 3 adet Friterm-Yağ Soğutucu ünite kullanılmıştır. Birinci ürünün içerisine türbülötör konulmadan testler gerçekleştirilmiştir. İkinci ünitenin içerisine ise Tablo 3’de özellikleri verilen burgulu türbülötör, üçüncü üniteye ise tel türbülötör yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2 : Yağ Soğutucu Ünitesi Tasarım Özellikleri**

	Yağ Soğutucu
Geometri	F3833
Boru Çapı – Boru Et Kalınlığı (mm)	15 – 0,4-Bakır
Boru Sayısı	30
Sıra Sayısı	4
Devre Sayısı	30
Lamel İç Uzunluğu (mm)	1400
Lamel Kalınlığı (mm)	0,120
Lamel Tipi	Kaburgalı

Deneyde kullanılan burgulu türbülötör alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Yağ soğutucu ürün 4 sıra, 30 devre olduğundan dolayı toplamda 120 adet boru içermektedir. Ünite içerisine boru sayısı kadar türbülötör yerleştirilmiştir. Deneylerde toplamda 168 m türbülötör kullanılmıştır.

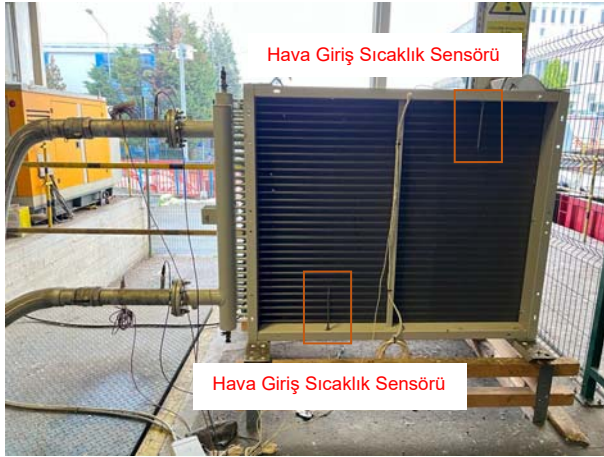
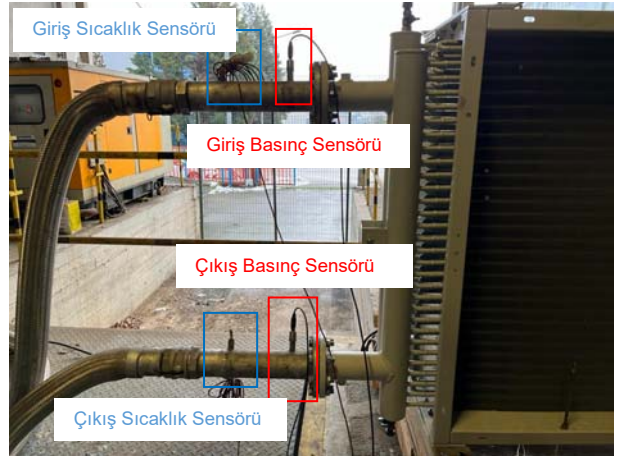
**Şekil 4 : Burgulu Türbülötör Boyutları****Tablo 3: Burgulu Türbülötöre Ait Boyutlar**

Test Borusu İç Çapı	d (mm)	15
Test Borusu Et Kalınlığı	t (mm)	0.4
Test Borusu Uzunluğu	L (mm)	1400
Türbülötör Uzunluğu	L1 (mm)	1400
Ortalama Hatve	p (mm)	55
Şerit Kalınlığı	δ (mm)	1

Deneyde kullanılan türbülötörlere ait görseller Şekil 5 ve Şekil 6 ‘da verilmiştir.

**Şekil 5:** Tel Türbülator**Şekil 6 :** Burgulu Türbülator

Yağ Soğutucu Test düzeneğinde tank içerisinde ısıtılan yağ inventörlü pompa yardımıyla sabit bir debide ve sabit bir giriş sıcaklığında test ünitesine gönderilmektedir. Giriş ve çıkış kolektör bağlantısından hemen önce alınan yağ giriş ve çıkış sıcaklık ve basınç değerleri ile ölçümler gerçekleştirilir. Bu sayede test ünitesini kapasitesi hesaplanır. Ek olarak, hava tarafı kapasite hesaplaması için üniteye giren ve çıkan havanın sıcaklıkları da ölçülmektedir. Akışkan giriş ve çıkış sıcaklığı için daldırma tip PT100 sensör kullanılmıştır. Sensörlerin konumları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmektedir. Yağ akışkan debisi türbin tip bir debimetre ile ölçüm yapılmıştır. Elde edilen veriler bir PLC yardımıyla toplanarak kayıt altına alınmıştır.

**Şekil 7:** Hava Giriş ve Çıkış Sensörleri**Şekil 8 :** Akışkan Giriş ve Çıkış Sensörleri

Deneylerde ölçümler, sistem sürekli rejime gelene kadar beklenmiş, sürekli rejime geldikten sonra nihai veriler elde edilmiştir.

## 2.2. Hesaplama Metodu

Deneyler boyunca kararlı koşullarda; akışkan giriş ( $T_g$ ), çıkış ( $T_ç$ ), akışkan kütleli debisi ( $\dot{m}$ ), basınç kaybı ( $dP$ ), DC güç kaynağı elektrik akımı ( $I$ ) ve potansiyel farkı ( $\Delta V$ ) kaydedilmiştir. Birim zamanda elektrikli ısıtıcıya ve akışkana aktarılan enerji sırasıyla denklem 1 ve 2 ile bulunur.

$$\dot{Q}_{ısıtıcı} = \Delta VI \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{yağ} = \dot{m}c_p(T_g - T_ç) \quad (\text{kW}) \quad (2)$$

Basınç kaybı, denklem 3 kullanılarak bulunur.

$$\Delta P = P_g - P_\varphi \quad (\text{bar}) \quad (3)$$

Burada  $\Delta T$  ifadesi test ünitesine giren havanın sıcaklığı ve test ünitesine giren yağın sıcaklığının farkıdır. Bu ifade, testler sırasında sabit tutulamayan hava sıcaklığından dolayı kullanılmaktadır.

$$\Delta T = T_{\text{Giriş,yağ}} - T_{\text{Giriş,Hava}} \quad (\text{K}) \quad (4)$$

Bu çalışmada Kind [9] basınç kaybı bağıntısı denklem 5 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta P_{\text{boru}} = \xi \rho_f \frac{V_{\text{boru}}^2}{2} \quad (\text{bar}) \quad (5)$$

### 2.3. Deneysel Belirsizliği

Bu çalışmada Moffat [10] temel alınarak belirsizlik tahmini yapılmıştır. Deneysel olarak hesaplanan sonuçtaki tek bir ölçümün belirsizliği denklem 6 kullanılarak bulunabilir. :

$$\partial R_{X_i} = \frac{\partial R}{\partial X_i} \delta X_i \quad (6)$$

R fonksiyonunda daha fazla bağımsız değişken kullanıldığında, tek tek terimler kök-toplam-kare yöntemiyle birleştirilir,

$$\partial R = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial R}{\partial X_i} \delta X_i \right)^2} \quad (7)$$

Denklem 6 ile gösterilen bireysel faktörlerdeki göreceli hataları dikkate almak için kullanılır.

$$w(m, c_p, \dots) = \sqrt{(x_1)^2 + (x_{21})^2 + \dots + (x_n)^2} \quad (8)$$

Soğutma kapasitesi belirsizlikleri, denklem (9) ve (10)'in kombinasyonları ile hesaplanabilir. Denklem (11), denklemleri birleştirdikten sonra ortaya çıkan denklemdir.

$$Q = \dot{m} c_p (T_g - T_\varphi) \quad (9)$$

$$w_Q = \sqrt{\left( \frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} w_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\partial Q}{\partial c_p} w_{c_p} \right)^2 + \left( \frac{\partial Q}{\partial T_g} w_{T_g} \right)^2 + \left( \frac{\partial Q}{\partial T_\varphi} w_{T_\varphi} \right)^2} \quad (10)$$

$$\frac{w_Q}{Q} = \sqrt{\left( \frac{w_{\dot{m}}}{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{w_{c_p}}{c_p} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_g}}{T_g} \right)^2 + \left( \frac{w_{T_\varphi}}{T_\varphi} \right)^2} \quad (11)$$

Benzer hesaplamalar ile basınç kaybı belirsizliği denklem 12 ile bulunur. ,

$$\frac{w_{\Delta P}}{\Delta P} = \sqrt{\left( \frac{w_{P_g}}{P_g} \right)^2 + \left( \frac{w_{P_\varphi}}{P_\varphi} \right)^2} \quad (12)$$

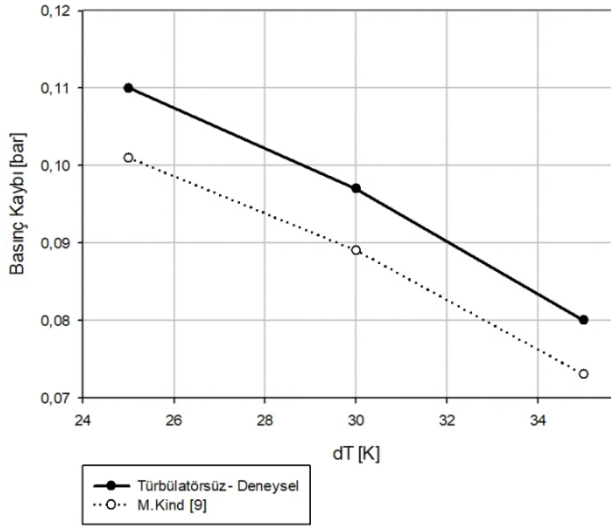
Ölçülen fiziksel özelliklerin her biri boyutsuz parametrelerden oluşur. Ölçülen fiziksel özelliklerin her biri için boyutsuz parametrelerin belirsizlikleri sekmede verilmiştir. Soğutma kapasitesi belirsizlik katsayı %5.18 basınç sensörlerinden gelen belirsizlik %2'dir.

### 3. BULGULAR

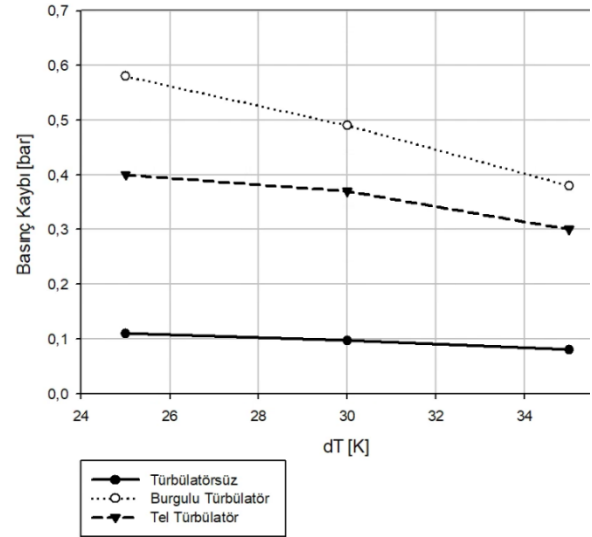
Bu bölümde deneysel çalışmalarda edilen araştırma bulguları değerlendirilmiş sonuçlar grafiksel ortamda hazırlanmıştır. Sonuçlar basınç kaybı ve soğutma kapasite açısından iki başlık altında incelenmiştir.

#### 3.1. Basınç Kaybı

Şekil 9' da yağ soğutucu ünite içerisinde oluşan deneysel basınç kaybı M. Kind [9] geliştirdiği bağıntı ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile bağıntı sonuçları arasında maksimum %8.25 sapma ile uyum gözükmemektedir. Şekil 10'da yağ soğutucu ünite içerisinde türbülatlörlere bağlı basınç kaybı grafiği verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda türbülatlörler arasında en az basınç kaybını tel türbülatlör vermektedir.



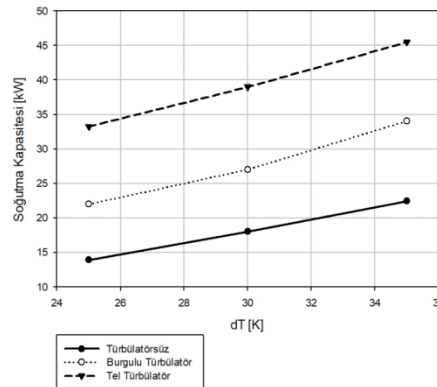
Şekil 9 : Sıcaklık farkına ( $\Delta T$ ) bağlı akışkan basınç kaybı değişimi



Şekil 10: Farklı Tip Türbülatlörlerin sıcaklık farkına ( $\Delta T$ ) bağlı basınç kaybı değişimi

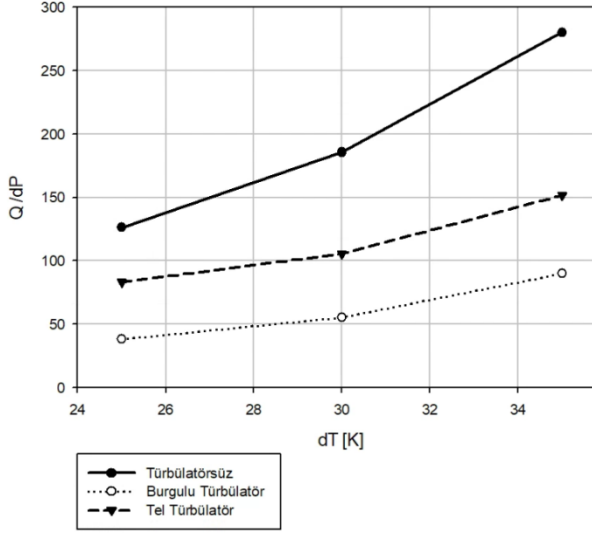
#### 3.2. Soğutma Kapasitesi

Şekil 11'de  $\Delta T$ 'ye bağlı olarak farklı tip türbülatlörlerin yağ soğutucu kapasitesine olan etkisi grafik olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde üç  $\Delta T$  şartında da en yüksek kapasiteyi tel türbülatlör vermektedir.

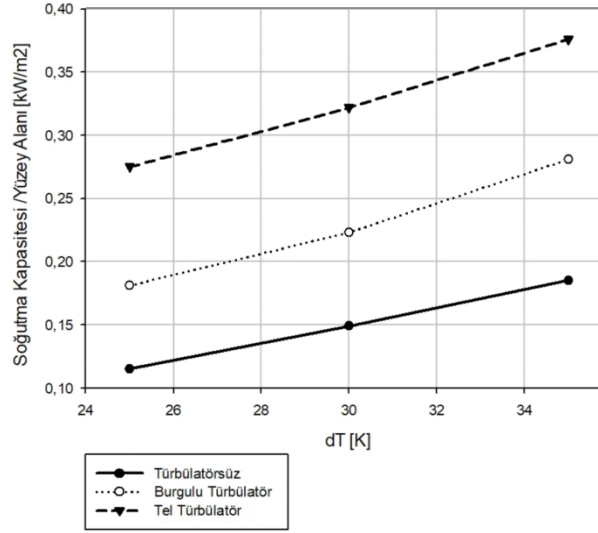


Şekil 11 :  $\Delta T$ 'ye bağlı olarak Türbülatlörlerin soğutma kapasitesine olan etkisi

Şekil 12’de yağ soğutucu test ünitesinde birim basınç kaybına karşılık gelen soğutma kapasitesi verilmiştir. Grafik birim basınç kaybına karşılık gelen soğutma kapasitesi türbülatsüz yağ soğutucuda yüksek çıkması beklenen bir durumdur. Fakat Şekil 13’de birim yüzey alanına düşen soğutma kapasitesi incelendiğinde bu durum tam tersi olarak görülmektedir. Birim yüzey alanına düşen soğutma kapasitesi en fazla tel türbülatsörde olduğu görülmektedir.



Şekil 12: Birim basınç kaybına düşen kapasite



Şekil 13: Birim yüzey alanına düşen kapasite

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, aynı tasarım özelliklerinde imal edilmiş, tel ve burgulu olmak üzere 2 tip türbülatsörün kullanıldığı yağ soğutucu ünitesi türbülatsüz ünite ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 3 farklı  $\Delta T$  koşulunda gerçekleşen testlerde en yüksek basınç kaybı @25  $\Delta T$  koşulunda burgulu tip türbülatsörde gözlemlenmiştir. Türbülatsüz test ünitesine oranla 5.3 kat daha fazladır. Bu oran  $\Delta T$ 'nin artmasıyla değişen yoğunluktan kaynaklı düşmektedir. En düşük basınç kaybı ise @25  $\Delta T$ 'de tel türbülatsörde görülmektedir. Türbülatsüz test ünitesine oranla 3.6 kat daha fazladır. Basınç kaybı açısından en ideal türbülatsör tel türbülatsör olarak görülmektedir.
- Soğutma kapasitesine bakıldığında en yüksek kapasite @35  $\Delta T$ 'de tel türbülatsörlü yağ soğutucusunda elde edilmiştir. Türbülatsüz yağ soğutucuya oranla tel türbülatsörde elde edilen kapasite 2.02 kat daha fazladır. Burgulu türbülatsör ise 1.52 kat daha fazla kapasite elde etmiştir.
- Birim basınç kaybı açısından baktığımızda en ideal durum türbülatsüz yağ soğutucu gibi görünse de birim yüzey alanına düşen kapasite en düşük türbülatsüz yağ soğutucuda elde edilmiştir. Birim yüzey alanına düşen en yüksek kapasite tel türbülatsörde elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan deneyler doğrultusunda hem basınç kaybı hem de soğutma kapasitesi açısından en verimli türbülatsör tel türbülatsör olarak öne çıkmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] E. M. Sparrow and A. Qhaboki, "Swirl-affected turbulent fluid flow and heat transfer in a circular tube," *J. Heat Transfer*, vol. 106, no. 4, pp. 766–773, 1984, doi: 10.1115/1.3246750.

- [2] Ş. KARAGÖZ, S. ÇILTAŞ, O. YILDIRIM, and S. ERDOĞAN, “Yatay Borularda Türbülatorlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması,” *Erzincan Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 12, no. 1, pp. 306–316, 2019, doi: 10.18185/erzifbed.459957.
- [3] N. Kahraman, U. Sekmen, B. Çeper, and S. Orhan AKANSU Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, “Borlçu Akışlarda Türbülatorlerin Isı Transferine Olan Etkisinin Sayısal İncelenmesi Numerical Investigation of Effect of Turbulator on Heat Transfer in Pipe Flows,” *J. Therm. Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 51–59, 2008, [Online]. Available: <http://tibtd.org.tr/2008-2/51-59.pdf>
- [4] N. ADIGÜZEL and A. GÜNDÜZ, “Paralel Akışlı Çift Borulu Isı Eşanjöründe Yeni Pervaneli Türbülator Tasarımının Teorik Analizi,” *Karadeniz Fen Bilim. Derg.*, vol. 12, no. 1, pp. 204–228, 2022, doi: 10.31466/kfbd.1014483.
- [5] H. Moria, “Compound usage of twisted tape turbulator and air injection for heat transfer augmentation in a vertical straight tube with upward stream,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 25, no. January, p. 100854, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.100854.
- [6] A. S. Yadav, “Effect of Half Length Twisted-Tape Turbulators on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics inside a Double Pipe U-Bend Heat,” *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–22, 2009.
- [7] R. Bedi, K. Kiran, A. M. Mulla, Manoj, and G. S. Hebbar, “Experimental Augmentation of Heat Transfer in a Shell and Tube Heat Exchanger using Twisted Tape with baffles and hiTrain Wire Matrix Inserts - A Comparative Study,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 376, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/376/1/012003.
- [8] S. Selvam, P. Thiyagarajan, and S. Suresh, “Effect of wire coiled coil matrix turbulators with and without bonding on the wall of the test section of concentric tube heat exchanger,” *Therm. Sci.*, vol. 16, no. 4, pp. 1151–1164, 2012, doi: 10.2298/TSCI110318117S.
- [9] M. Kind and H. Martin, *Verein Deutscher Ingenieure (VDI) - Heat Atlas*. 2010.
- [10] R. J. Moffat, “Describing the Uncertainties in Experimental Results,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 104–114, 2011, doi: 10.1007/s11708-011-0138-x.

## ÖZGEÇMİŞ

### Mustafa ZABUN

1993 yılı Malatya doğumludur. 2018 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2019 yılından beri Yeditepe Üniversitesi Makine Mühendisliği yüksek lisans programına devam etmektedir. 2018-2020 yılları arasında Bakım Mühendisi olarak görev almıştır. 2021 yılından beri Friterm A.Ş.'de Ar-Ge Test Laboratuvar Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Akışkanlar Mekaniği ve Isı transferi alanlarında makaleler yayınlamış ve bu alanlarda çalışmalarına devam etmektedir.

### Harun DENİZLİ

1997 yılı Kocaeli/Gebze doğumludur. 2020 yılında Samsun Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Üniversite kariyerinde insansız hava araçları ile ilgilenmiş ve bu konuda TÜBİTAK yarışmaları başta olmak üzere ödülleri bulunmaktadır. 2021 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Savunma Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı'na başlamıştır. 2021 yılında Friterm AŞ'de ARGE Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. Akışkanlar Dinamiği ve Isı transferi konularında çalışmaktadır.

# YENİ “Y” KANAT MODELİNİN ISI TRANSFERİ PERFORMANSININ SAYISAL VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

*Experimental and Numerical Investigation of the Heat Transfer Performance of a New Y-Shaped Fin Model*

**Oğuz Kılıç**  
**Ferhatcan Baş**  
**Hüseyin Onbaşıoğlu**

## ÖZET

Bu çalışmada, hava soğutmalı bir ısı değiştiricisinde yeni geliştirilen kanat modeli için taşınım ile ısı transferi, farklı hava akış hızlarında ve farklı sabit ısı akısı sınır koşullarında sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma için uygun kanat modeli geometrisini elde etmek amacıyla 1 Boyutlu parametrik analizler yapılmıştır. 1 boyutlu analiz ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel çalışma için eklemeli imalat teknolojisi yöntemi kullanılarak 10:1 ölçekli kanat modeli üretilmiştir. Deneysel çalışma, FRİTERM A.Ş'nin Ar-Ge Merkezi'nde bulunan açık çevrim rüzgâr (EIFFEL) tüneli ile yapılmıştır. Deneysel çalışma sırasında, sabit ısı akısı için plaka dirençli ısıtıcılarla temas halinde olan bakır plakaların yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Deney boyunca sabit ısı akısını sağlamak için deney odasının giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı da gözlenmiştir. Nümerik model için, test odası içindeki 10:1 ölçekli kanat modeli, ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı ANSYS-FLUENT® kullanılarak 3 boyutlu olarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümü yapılmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ağ bağımsızlığı açısından kontrol edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ile ticari HAD yazılımının çıktıları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen bu yeni kanat modelinin ısı transferi performansı, endüstri de çok sık kullanılan Offset kanat modeli ile karşılaştırılmıştır.

Farklı ısı akılarında ve farklı hava akış hızlarında yapılan bu çalışmamızda HAD sonuçları ve deneysel sonuçlar incelendiğinde “Y” kanat modelinin Offset Kanat modeli ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir ısı taşınım katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür. Isı akısının artması Y kanat modeli ve Offset kanat modeli arasındaki ısı taşınım katsayısı paralellliğini bozmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Soğutmalı Isı Değiştiricisi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Isı Transfer Katsayısı, Kanat Modeli, Rüzgâr Tüneli,

## ABSTRACT

In this study, convection heat transfer for a newly developed fin model of an air-cooled heat exchanger has been numerically and experimentally investigated at various airflow velocity and heat flux boundary conditions. 1-Dimensional parametric analyzes were carried out in order to obtain the optimum fin model geometry for the experimental study. A comparison was made between 1-Dimensional analysis and computational fluid dynamics analysis. For the experimental study, a 10:1 scale fin model was produced by using the additive manufacturing technology. The experimental study was carried out in an open loop wind (EIFFEL) tunnel loated in the R&D Center of FRİTERM A.Ş. During the experimental study, the surface temperatures of the copper plates which in contact with the heaters were measured. The temperature difference between the inlet and outlet of the test section was also observed to ensure the boundary condition of constant heat flux throughout the experiment. For the numerical model, the fin model in the test section which is the 10:1 scale was made a

numerical solution by using the commercial computational fluid dynamics software ANSYS-FLUENT®. Computational fluid dynamics was checked in terms of mesh independence. Results of the experimental studies were compared with the result of the commercial CFD software. The heat transfer performance of this newly developed fin model has been compared with the Offset fin model which is commonly used in industry.

When the CFD results and experimental results were compared which was carried out at different heat fluxes and different air flow rates in this study, it as been observed that the “Y” fin model had a higher heat transfer coefficient value when compared to that o the Offset Fin model.

**Key Words:** Air Cooled Heat Exchanger, Computational Fluid Dynamics, Heat Transfer Coefficient, Fin Model, Wind Tunnel,

## 1. GİRİŞ

Isı değiştiricileri, iki veya daha fazla ortam arasında ısı transferinin gerçekleşmesi için kullanılır ve farklı endüstriyel uygulamalar için çeşitli türleri vardır. Kompakt ısı değiştiricileri ve kanatlı borulu ısı değiştiricileri bu türlerden bazılarıdır. Kompakt ısı değiştiricilerinin avantajı, yüksek ısı transfer yüzey alanına sahip olmalarıdır. Bu nedenle hacim ve ağırlık azalır ve verim artar. [7] Isı değiştiricilerinin, kriyojen, mikrotürbin, otomotiv, kimyasal prosesler, denizcilik, havacılık, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme endüstrilerindeki gaz-gaz ve sıvı-gaz uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Geometrik olarak bu ısı değiştiricileri kanatlı borulu ve kanatlı plaka şeklinde dir. Isı değiştiricilerinde boru malzemesi olarak, yerine göre bakır, alüminyum, paslanmaz elik, titanyum kullanılırken kanat malzemesi olarak genellikle ortam şartlarına göre alüminyum, epoksi kaplı-alüminyum, paslanmaz elik, titanyum kullanılabilir. Isı değiştiricilerinde hava tarafı ısı transfer katsayısı sıvı tarafına göre çok daha küçük olduğu için, hava tarafındaki ısı taşınım katsayısının değişimi sıvı tarafında yapılacak değişime göre çok daha fazla etki edecektir. Bundan dolayı ısı transferini iyileştirmek için hava tarafında iyileştirme yapılması tercih edilir.

Hava tarafındaki ısı transferi temel olarak iki farklı şekilde iyileştirilebilir. Bunlardan birincisi, ısı transferinin gerçekleşeceği ıslak yüzey alanını arttırmaktadır. Borunun dış yüzeyine dairesel veya plaka tipi kanatçıklar eklenerek ıslak yüzey alanını arttırılabilir. Eklenen kanatçıkların verimi de ısı transferinin performansı için önemlidir. Isı transferini arttırmak için ikinci yöntem, hava hızını arttırmaktır. Hava hızı ise doğrudan ısı taşınım katsayısını etkileyeceği için, ısı taşınım katsayısı da artar. [4] Ancak hava hızının, belirli durumlar için bazı değerleri aşmaması istenir. Hava hızı arttığında hava tarafındaki basınç kaybı değeri de artacaktır. Bu durumda ısı değiştiricisinden alınacak verim dūřecek ve yoğuşma durumunda su sürüklenerek ısı transfer performansını dūřürecektir. Bundan dolayı hava hızının belirli durumlarda literatürde ona uygun olarak verilmiş hız değerlerine uyulması gerekmektedir. Hava hızındaki artış kanat verimini de arttıracaktır.

Termal sistemlerin optimizasyonu, ısı transferinin iyileştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Kanatlı borulu ısı değiştiricilerinde ısı transferi performansı, kanat tipi ve akışkan özelliklerinin yanı sıra geometrik parametreler, boru çapı, boru yerleşimi, kanat kalınlığı, kanat hatvesi, boru sayısı, gibi birçok parametreye bağlıdır.

Çalışmanın amacı kanatlı borulu ısı değiştiriciler için yeni geliştirilen bir kanatçık modelini incelemektir. Yeni geliştirilen “Y” kanat modelinin, geometrik açıdan, diğer kanat modellerinden farkı ; aynı hacim içerisinde daha fazla yüzey alanına sahip olmasıdır. Daha fazla ıslak yüzey alanı ise ısı transferi performansında iyileştirme sağlayabilmektedir. Yeni geliştirilen “Y” Kanat modelinin deneysel, analitik hem de nümerik olarak çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar, ısı değiştiricilerinde çok sık kullanılan Offset kanat modeli ile karşılaştırılmıştır. Offset kanat modeli için de deneysel, analitik ve nümerik çalışma yapılmıştır. Bu aşamalarda ilk olarak geliştirilmek istenilen model için geometrik optimizasyonlar yapılmıştır. 1-B geometrik optimizasyonlarda MathCAD® yazılımı kullanılmıştır. 1-B geometrik optimizasyonların amacı, geliştirilmek istenilen “Y” kanat modeli için en uygun geometrinin bulunmasıdır. Deneysel alışma için optimize edilmiş “Y” kanat modelinin 10:1 ölçüde katmanlı imalat



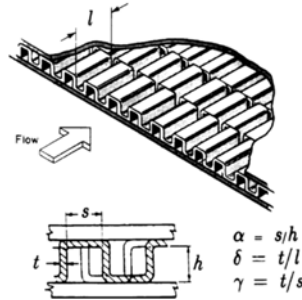
ile üretimi yapılmıştır. 1-B analitik olarak yapılan çalışmada termal tasarım hesaplamalarında Gnielinski korelasyonu [1] kullanılmıştır. Gnielinski korelasyonu denklem 1'de gösterilmiştir. Dittus-Bolter [8] ve benzeri korelasyonlar da literatürde mevcuttur. Ancak karmaşık geometrilerde Reynolds sayısı arttığında Dittus-Bolter korelasyonundaki sapma artmaktadır. Bu nedenle karmaşık geometriler için daha uygun olan ve yüksek Reynolds sayılarında da gösterge olarak geçen Gnielinski Korelasyonu, 1-Boyutlu termal tasarımı temsil etmektedir. Offset kanat modeli değerleri de 1-B analitik çalışma yapılmıştır. Burada sadece korelasyon değiştirilmiştir. Offset kanat modeli için ise Gnielinski modeli yerine Manglik korelasyonu [9] tercih edilmiştir. Manglik korelasyonu denklem 2'de gösterilmiştir. 1-B çalışmada verilen girdi değerleri, deneysel çalışma için verilen girdi değerleridir. Bu değerler nümerik çalışma için de geçerlidir. Deneysel çalışma, FRİTERM A.Ş'nin Ar-Ge Merkezi'nde bulunan açık çevrim rüzgâr (EIFFEL) tüneli ile yapılmıştır. Yapılan Deneysel çalışma koşulları ticari hesaplamalı akışkanlar mekaniği yazılımına entegre edilerek çözüm yapılmıştır. Burada HAD çözümünün kanat modelinin kendi içerisinde deneysel, analitik ve nümerik olarak karşılaştırılmasının yanı sıra Offset kanat modeli ile de performans karşılaştırılması yapılmıştır.

- **Gnielinski Korelasyonu**

$$Nu_{Dh} = \frac{(f/8)(Re_{Dh} - 1000)Pr}{1 + 12.7\sqrt{f/8}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (1)$$

- **Manglik Korelasyonu**

Manglik korelasyonu olarak adlandırdığımız korelasyon Raj M. Manglik ve Arthur E. Bergles tarafından yazılmıştır. Kompakt ısı değiştiricilerinde dikdörtgen offset kanat yapılarında kullanılır. Kanat hatvesi, kanat genişliği, kanat uzunluğu, kanat kalınlığı ve kanat yüksekliği temel parametrelerdir. Bu temel parametreler kullanılarak bazı katsayılar elde edilir. Bu katsayılar daha sonra korelasyon içerisinde kullanılır.



**Şekil 1:** Offset Kanat Geometrisinin Tanımlanması

Hem Laminar hem de Türbülanslı akışkanlar için kullanılan Manglik Korelasyonu;

$$f = 9.6243Re^{-0.7422}\alpha^{-0.1856}\delta^{0.3053}\gamma^{-0.2659} * [1 + 7.669 * 10^{-8}Re^{4.429}\alpha^{0.920}\delta^{3.767}\gamma^{0.236}]^{0.1} \quad (2)$$

$$j = 0.6522Re^{-0.5403}\alpha^{-0.1541}\delta^{0.1499}\gamma^{-0.0678} * [1 + 5.269 * 10^{-5}Re^{1.340}\alpha^{0.504}\delta^{0.456}\gamma^{-1.055}]^{0.1} \quad (3)$$

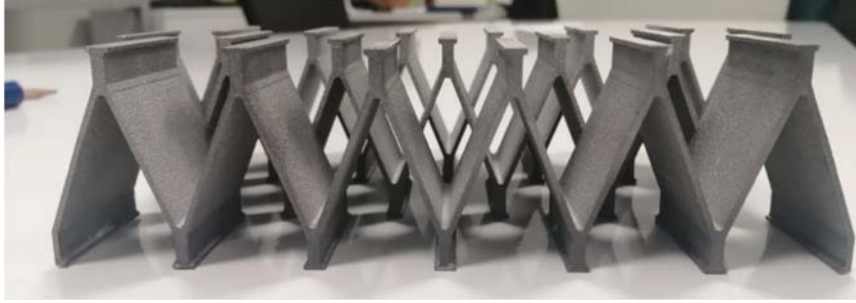
Manglik korelasyonu olarak adlandırdığımız korelasyonda da Hidrolik çap hesaplaması Gnielinski korelasyonundan farklı olarak hesaplanabilir. [9]

$$D_h = \frac{4A_c}{A/l} = \frac{4shl}{2(sl + hl + th) + ts} \quad (4)$$

Bu çalışmada, yeni geliştirilen “Y” kanat modelinin ısı transfer katsayısının farklı sınır koşullarında (hava hızı, ısı akısı) deneysel, analitik ve sayısal olarak incelenmesi ve Offset kanat modeli ile performans karşılaştırılması amaçlanmıştır.

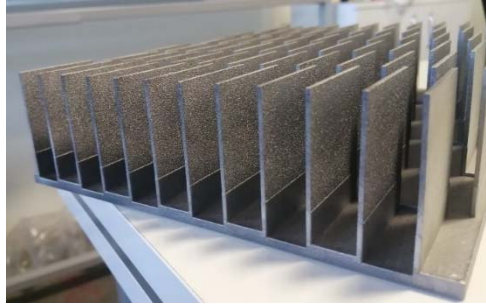
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

1-B Termal tasarım sonucundan optimize edilmiş olan “Y” kanat modeli sonucu elde edilir. Bu “Y” kanat modeli ise 10:1 ölçek ile eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiştir.



**Şekil 2:** Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretilmiş “Y” Kanat Modeli

Offset kanat modelinin de testlerinin yapılması için benzer üretim tekniği ile yapılmasıyla testler yapılmıştır.



**Şekil 3:** Eklemeli İmalat Yöntemi İle Üretilmiş “Offset” Kanat Modeli

Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen iki farklı kanat modelinin farklı hava hızlarında ve farklı ısı akılarında deneysel çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, FRİTERM Ar-Ge merkezinde yer alan rüzgâr tüneline yapılmıştır. FRİTERM Ar-Ge Merkezi'ndeki rüzgâr Tüneli, açık çevrim veya kapalı çevrim olarak kullanılabilir. Bu çalışmada yapılacak testler için açık çevrim rüzgâr tüneli kullanılmıştır.



(a)



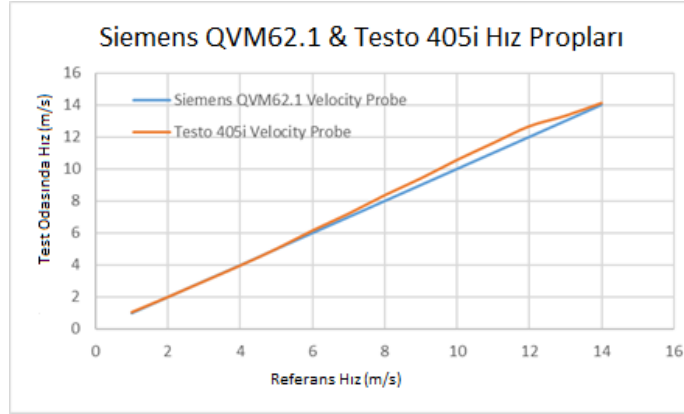
(b)

**Şekil 4:** (a) FRİTERM Ar-Ge Merkezi Açık Rüzgâr Tüneli Sol Görünüm, (b) FRİTERM Ar-Ge Merkezi Açık Rüzgâr Tüneli Sağ Görünüm

## 2.1 Deney Parametrelerinin Değerlendirilmesi

“Y” kanat modeli ve Offset kanat modelinin testleri yapılmadan önce iki deneysel çalışma içinde test yapılmadan önce yapılması gereken ortak çalışma ve değerlendirme parametreleri vardır.

Rüzgâr Tüneli'nde hız tespiti için Siemens® QVB62.1 Hız sensörü kullanılmıştır. Siemens Hız sensörü, Testo 405i kalibre edilmiş hız sensörü ile doğrulanmıştır. Bu iki sensörün karşılaştırma eğrisi grafik 4.'te verilmiştir.



**Grafik 1:** Siemens QVB6.2 ve Test 405i Hız Sensörü

Kanat modelleri üzerindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için çeşitli noktalarda sıcaklığı ölçmek için 19 adet T tipi termokupl kullanılmıştır. Termokupl ve hız sensörünün belirsizlikleri hesaplanarak Tablo 1'de gösterildi. Termokupl alınan değerler Agilent Datalogger 34970A veri toplama cihazı ile kaydedilmiştir. Sabit bir ısı akısı sağlamak için test düzeneği içerisinde plakalı ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Plakalı ısıtıcılar, hem üst hem de alt yüzeyde alt ve üst ısıtıcı olarak adlandırılmış ve 500 Watt güç sağlayacak şekilde imal edilmiştir. Isıtıcıların güç kontrolü için 0-10 V ENDA Erva1(SSR) ısıtıcı kontrolü kullanılmıştır.

**Tablo 1:** Belirsizlik Değer Tablosu

Ölçüm	Ölçüm Cihazı	Ölçüm Aralığı	Belirsizlik(%)
Sıcaklık	Type T Termokupl	-200°C to 200 °C	0.75
Hız	<b>Siemens Hız Sensörü</b>	0-20 m/s	3
Veri	<b>Agilent Datalogger 34970A</b>	-	0.008
Isıl Kapasite	-	-	3.092
Isı Taşınım Katsayısı	-	-	3.181

## 2.2 Deney Yönteminin Anlatımı

Yeni “Y” kanat modeli ve Offset kanat modeli için aynı deneysel yöntem incelenmiştir. Kanat modelleri rüzgâr tüneli içerisinde yer alan test odasına yerleştirilmiştir. Kanat modelinin üstünde ve altında olmak üzere 5mm kalınlığıyla 2 adet bakır plaka yerleştirilmiştir. Test odasındaki yerleşim simetrik. Üst bakır plakanın üzerine ısıtıcı plaka yerleştirilmiştir. Alt bakır plakanın ise altına ısıtıcı plaka yerleştirilmiştir. Isıtıcı plaka üstüne ve altına ise yalıtım malzemesi olan 10 mm kalınlığında seramik levha yerleştirilmiştir. Isı kaybını önlemek amacıyla da Seramik levhaların üstüne köpük yerleştirilmiştir. Kanat modeli üstünde ve altında yer alan ısıtıcı plakalarından her biri 500 Watt gücündedir. Deney çalışmasında karşılaştırma parametresi olan ısı taşınım katsayısı değeri, bakır plakaların farklı hava hızı ve farklı ısı akılarındaki yüzey sıcaklığı değerinin ölçülmesi sonucunda elde edilen veriler ile hesaplanmıştır. Bu deneysel metot iki kanat modeli içinde geçerlidir.

Hava akışının kanat modeline girdiği sırada üniform akış sağlamak için test odası girişinden kanat modeline kadar olan mesafede daralan bir nozül yapılmıştır. Nozülün büyük kesit alanı, test odası girişini küçük kesit alanı ise kanat modeli kesit alanını temsil etmektedir. Test odası girişindeki hız sensörü frekans ölçeklidir. Daralan Nozülün geometrik yapısı gereği nozül giriş ve çıkış hava hızları aynı olmayacaktır. Test odasına girilen hız, manuel olarak rüzgâr tüneline girilmektedir. Nozül çıkış hava hızı/Kanat modeline hava giriş hızı ise süreklilik denkleminde hesaplanır. Nozül kayıplar ihmal edildiğinde ve nozül giriş-çıkış hava sıcaklığı sabit kabul edildiğinde termodinamik özellikler de sabit kabul edilecektir. Süreklilik denklemi aşağıdaki denkleme indirgenbilir.

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (5)$$

Kanat modelinin kesit alanı bilindiğine göre kanat modeline giren havanın hız değeri bulunur. Bu doğrultuda iki farklı hız sensörü ile yapılmıştır.

İki farklı kanat modeli içinde deneysel çalışma, 400 Watt, 600 Watt ve 800 Watt toplam sabit ısı akısı değerleri için yapılmıştır. Yalıtım katmanları sebebiyle test odası içerisindeki basınç kaybı değeri çok yüksektir. Bu durumda varsayılan hız değerinden daha düşük hızlarda testler yapılmıştır. Test odasının çevresi pleksi-glass levhalardan oluşmaktadır. Bu malzemenin dayanımı için test odasındaki hava sıcaklığının 50 °C'yi geçmemesi önerilmektedir. Bu sebepten ısı akısı değeri 800 Watt ile sınırlandırılmıştır.

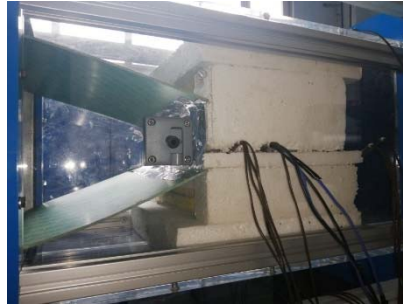
Deneysel çalışmada doğrulanması gereken bir diğer parametre ise ısı akısıdır. Isıtıcılardan geçen ısıның doğruluğunu tespit etmek için en temel denklemlerden biri olan denklem 6 [2] kullanılır.

$$Q = m C_p \Delta T \quad (6)$$

( $C_p$  değeri hava sıcaklığı değişimi az olduğundan dolayı 1006 J/kgK olarak sabit kabul edilmiştir.)

$$m = \rho A_k V_g \quad (7)$$

$\Delta T$  değeri ise test odası hava giriş ve test odasındaki hava çıkış sıcaklıkları arasındaki farktır. Kütleli debi test odası boyunca sabittir. Girişteki kütleli debi havanın yoğunluğu ve test odası kesit alanından hesaplanır. Hız değeri ise rüzgâr tüneline manuel olarak girilir. Kütleli debisi, Özgül ısı ve sıcaklık farkı bilinen bir durumda ısı kapasite hesaplanabilir.

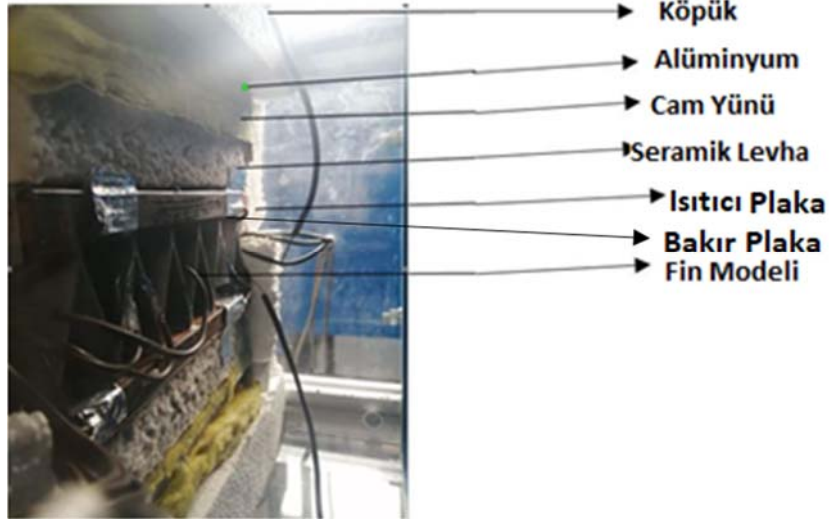


**Şekil 5:** Test Odası Yandan Görünümü

Farklı hava hızı ve farklı ısı akılarında yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı değişkenlik göstermektedir. Test sırasında verilen hız değeri kütleli debi değerini bulmak için kullanılır. Test sırasında hesaplanan sıcaklık değerleri ve ıslak yüzey alanı değeri ile doğrulanmış ısı kapasite sonucunda deneysel ısı taşıma katsayısı değeri hesaplanır.

$$Q = h A_y \Delta T_{lm} \quad (8)$$

### 2.3 “Y” Kanat Modeli Deneysel Çalışması



Şekil 6: Test Modeli

Tablo 2: 400 Watt Test Sonuçları

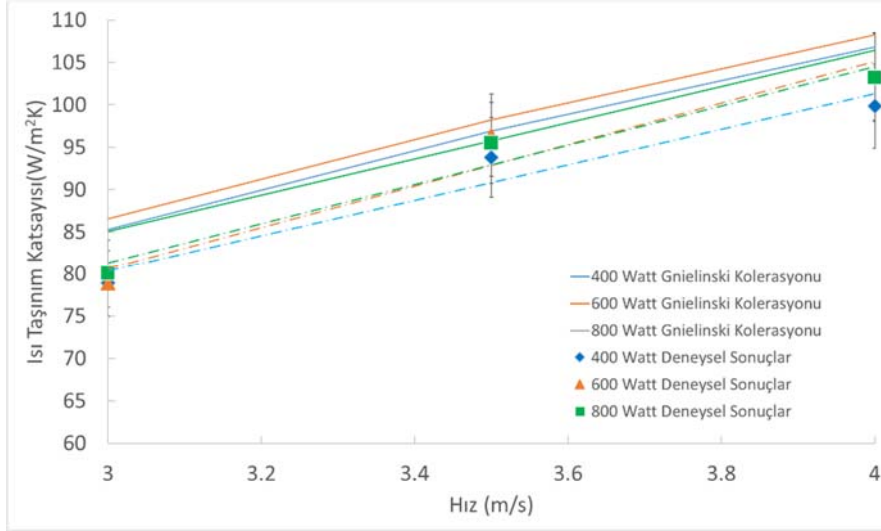
Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	85.32	78.88	398.59
3.5	6960	96.91	93.78	385.042
4	7980	106.82	99.84	392.47

Tablo 3: 600 Watt Test Sonuçları

Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	85.30	72.85	562.63
3.5	6960	96.80	96.44	594.06
4	7980	106.65	103.35	587.23

Tablo 4: 800 Watt Test Sonuçları

Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	85.53	80.05	798.69
3.5	6960	96.23	95.50	777.42
4	7980	106.97	103.20	775.66

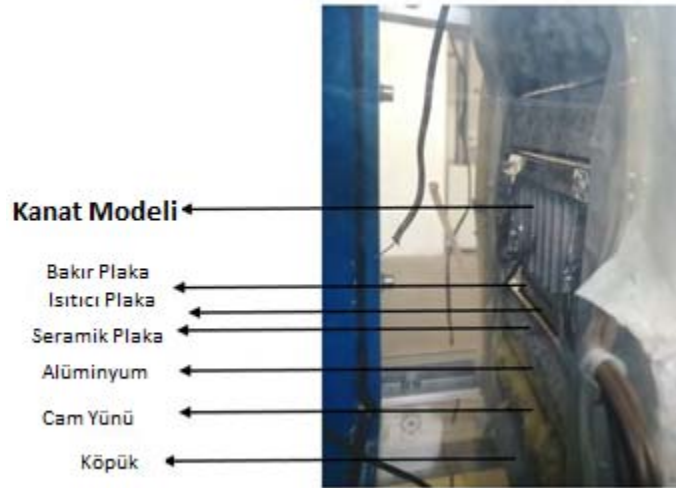


**Grafik 2:** Y Kanat Modeli Deneysel ve Yazılım Sonuçları Karşılaştırması

Test odasına gönderilen havanın hız değeri arttıkça kanal içerisindeki akışkanın Reynolds değerinin de artması sebebiyle boyutsuz bir sayı olan ve Reynolds sayısına bağlı olan Nusselt sayısının değeri artacaktır. Nusselt sayısının değerinin artması ile ısı taşınım katsayısının artması beklenmektedir. Farklı hızlara yapılan testlerde kanal içerisindeki hız değeri arttıkça, ısı taşınım katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Farklı ısı yüklerinde aynı hızlarda yapılan testler karşılaştırıldığında ise, verilen sabit ısı akısının ısı taşınım katsayısında ihmal edilebilecek bir düzeyde (0.32%) değişiklik yaptığı incelenmiştir. Bu durumda ısı taşınım katsayısının sisteme verilen ısı yükten bağımsız olduğu teyit edilmiştir.

## 2.4 Offset Kanat Modeli Deneysel Çalışması



**Şekil 7:** Test Modeli

**Tablo 5:** 400 Watt Test Sonuçları

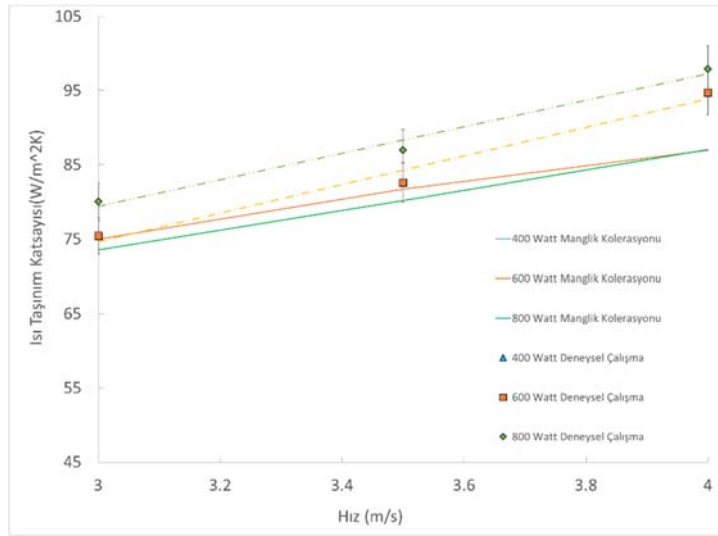
Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	74.19	68.32	398.59
3.5	6960	80.89	73.85	385.042
4	7980	87.77	88.08	392.47

**Tablo 6:** 600 Watt Test Sonuçları

Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	74.21	75.43	562.63
3.5	6960	80.9	82.6	594.06
4	7980	87.81	94.74	587.23

**Tablo 7:** 800 Watt Test Sonuçları

Hız (m/s)	Reynolds Sayısı	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (MathCAD)	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K) (Deneysel)	Hesaplanan Isı Kapasitesi (Watt)
3	6000	74.26	80.07	798.69
3.5	6960	80.99	86.99	777.42
4	7980	87.91	97.91	775.66

**Grafik 3:** Offset Kanat Modeli Deney ve Yazılım Sonuçları Karşılaştırması

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Offset Kanat modelinin yazılım değerleri ile olan karşılaştırmaları yukarıdaki grafiklerde verilmiştir. Yapılan testlerin belirsizlik hataları eklendiğinde yazılımla paralel olduğu gözükmemektedir. Bu sonuçlar bize yapılan 1-B termal olarak hesaplanan ısı taşınım katsayısının verileri test sonuçları ile benzerlik göstermiştir.

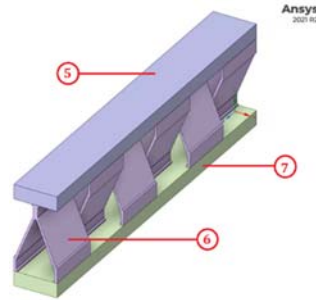
### 3. SAYISAL ÇALIŞMA

HAD çalışmaları 3 aşamalı olarak ilerletilmiştir. 1. Aşamada doğru çözüm model kurulumu ve ağ belirsizlik aşamalarını kapsamaktadır. 2. Aşama ise doğru ağ sayısı ile deney setlerinin analiz aşamasını kapsamaktadır. 3. Aşama ise yapılan tüm analizlerin değerlendirilmesi ve Test sonuçları ile karşılaştırılması aşamasıdır. Bu üç aşamalı durum her iki kanat modeli analizi için kullanılmıştır.

#### 3.1 “Y” Kanat Modeli Sayısal Çalışma

##### 3.1.1 Ağ Belirsizlik Analizleri Ve Doğru Model Kurulumu

Bu aşamada test tüneli içerisinde bulunan geometri bilgisayar fiziksel özelliklerinin izin verdiği ölçüde modellenerek indirgenmiştir. Bu aşamalar sonucunda ise şekil 8 de ki gibi ilerletilmiştir.

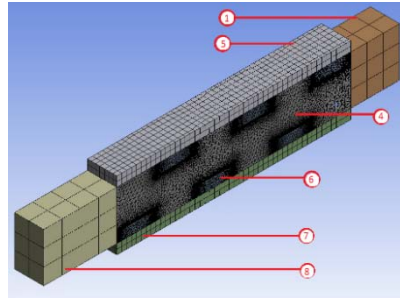


**Şekil 8:** Y Kanat Modelinin 3B Tasarımı

Model üzerinde bulunan numaralar tablo 8 de açıklanmıştır.

ANSYS-FLUENT® in bir özelliği olan Simetri atama özelliği kullanılarak, çözüm alanının sağdan ve soldan tekrar edecek şekilde modellenmiştir.

Yapılan ağ belirsizlik analizlerinde öncelikle çarpıklık değerine bağlı olarak 65 Milyon ağ den 14 Milyon ağ sayısına indirilmiştir. İkinci durumda ise 14 Milyon ağ yapısından 2.6 Milyon ağ yapısına  $\Delta T$  ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak indirgenmiştir. Optimum ağ yapısı şekil 9 da belirtilmiştir.



**Şekil 9:** Y Kanat İçin Optimum Ağ Yapısı

**Tablo 8:** Numaraların Açıklamaları

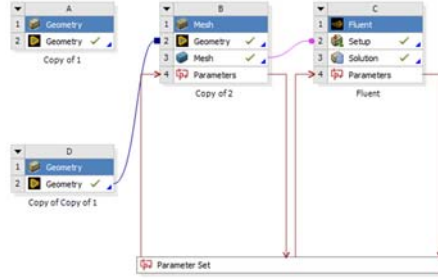
1	Giriş
2	Çıkış
3	Özelleştirilmiş Hava Giriş Alanı
4	Özelleştirilmiş İç Alan
5	Üst Bakır Plaka
6	Kanatlar
7	Alt Bakır Plaka
8	Özelleştirilmiş Hava Çıkış Alanı



### 3.1.2. Sınır Şartlarının Analizi

Belirlenen ağ sayısından sonra analizler tünelde yapılan testlere benzeyecek şekilde kurgulanmıştır. Bu aşamada Bakır plakaların üzerine sabit ısı akısı tanımlanmıştır.

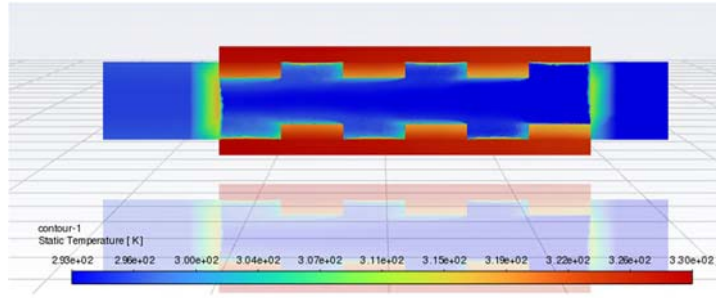
Kurgulanan analiz şemasının görseli aşağıda bulunmaktadır.



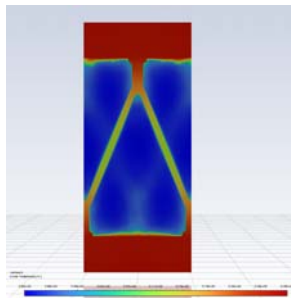
Şekil 10: Analiz Kurgusu

### 3.1.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

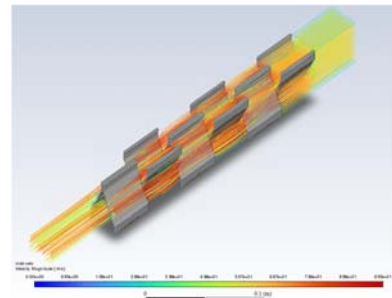
Şekil 11'de sıcaklık profili ve hız profilleri görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11: (a) Orta Düzlemden Alınan Sıcaklık Profili, (b) Ön Düzlemden Alınan Hız Dağılımı, (c) Hız Dağılım Profili

Tüm bu çözümlerden sonra çıkan sonuçlar aşağıda bulunan tablo 9 da ifade edilmiştir.

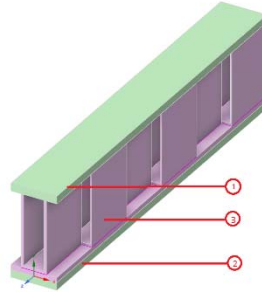
**Tablo 9:** HAD Sonuçları

400 Watt	3	3.5	4	Hız (m/s)
	77.67	86.03	97.74	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
600 Watt	3	3.5	4	Hız (m/s)
	76.99	86.05	97.73	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
800 Watt	3	3.5	4	Hız (m/s)
	77.66	86.05	97.73	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)

### 3.2 Offset Kanat Modeli Sayısal Çalışma

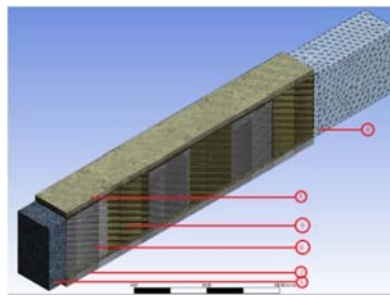
#### 3.2.1 Ağ Belirsizlik Analizleri Ve Doğru Model Kurulumu

Bu aşamada test tüneli içerisinde bulunan geometri bilgisayar fiziksel özelliklerinin izin verdiği ölçüde modellenerek indirgenmiştir. Bu aşamalar sonucunda ise Şekil 14 de ki gibi ilerletilmiştir

**Şekil 12:** Offset Kanat Modelinin Bilgisayar Ortamında Çizimi

ANSYS-FLUENT®'in bir özelliği olan Simetri atama özelliği kullanılarak, çözüm alanı sağdan ve soldan tekrar edecek şekilde modellenmiştir.

Çarpıklık, ağ kalitesi ve açıklık oranı değerine göre 1,5 Milyon ağ sayısına indirilmiştir. Optimum ağ yapısı Şekil 13'de belirtilmiştir.

**Şekil 13:** Offset Kanat İçin Optimum Ağ Yapısı**Tablo 10:** Numaraların Açıklamaları

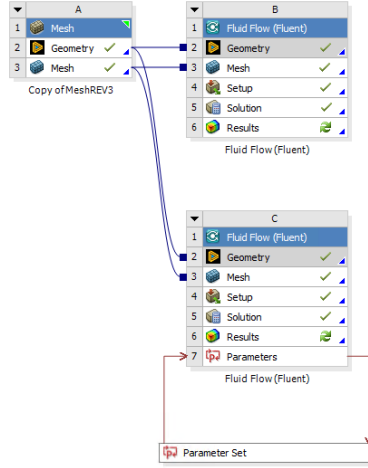
1	Üst Bakır Plaka
2	Alt Bakır Plaka
3	Kanatlar
4	Özelleştirilmiş Hava Giriş Alanı
5	Özelleştirilmiş Hava Çıkış Alanı
6	Özelleştirilmiş İç Alan

### 3.2.2. Sınır Şartlarının Analizi

Önce akış çözdürülerek akış çizgilerinin doğrusalılığı incelenmiştir. Akış hacmi çözdürüldükten sonra ısı transferi modeline geçilmiştir.

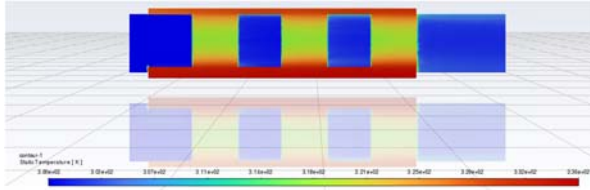
Bu aşamada Bakır plakaların üzerine sabit ısı akısı tanımlanmıştır.

Kurgulanan analiz şemasının görseli aşağıda bulunmaktadır.

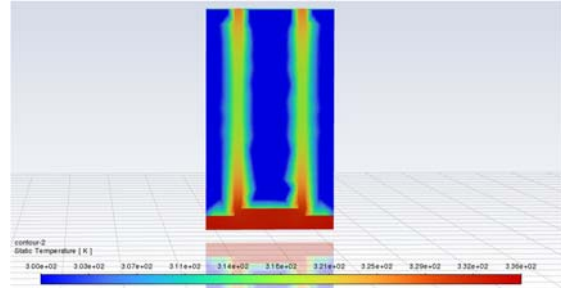


Şekil 14: Offset Kanat İçin Kurgulanan Analiz Şeması

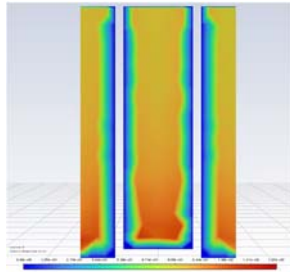
### 3.2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi



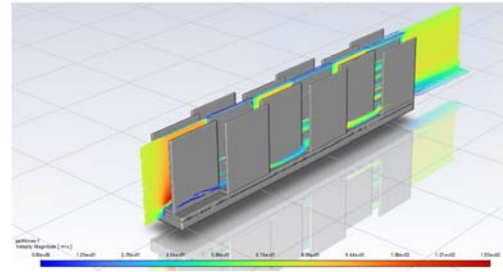
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 15: (a) Offset Kanat İçin Orta Düzlemde Alınan Sıcaklık Profili, (b) Ön Düzlemde Alınan Sıcaklık Profili, (c) Ön Düzlemde Alınan Hız Dağılımı, (d) Hız Dağılım Profili

**Tablo 11: Offset Kanat İçin HAD Sonuçları**

400 Watt	4	3.5	3	Hız (m/s)
	88,96	79,19	69,83	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
600 Watt	4	3.5	3	Hız (m/s)
	88,95	79,19	69,83	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
800 Watt	4	3.5	3	Hız (m/s)
	88,95	79,19	69,83	Isı Taşınım Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)

### 3.3. Sayısal Analizlerin Doğruluğu

Yapılan analizlerin sonuçları iki şekilde doğrulanmıştır. Doğrulama yöntemlerinden ilki matematiksel ve fiziksel olarak değerlendirilmesidir. İkinci değerlendirme şekli ise rüzgâr tüneline yapılan test sonuçlarıdır.

#### 3.3.1. Matematiksel Ve Fiziksel Olarak Değerlendirme

Yapılan analiz sonuçlarının çıktıları Sıcaklık değişimi ve ısı taşınım katsayısı olacak şekilde kurgulanmıştır.

$Q = \dot{m} C \Delta T$  ile hesap yapıldığında 400 Watt için değerleri karşıladığı görülmüştür. Aynı şekilde ısı taşınım katsayısı hesaplama ile ilgili yazılmış makalelerde ısı taşınım katsayısının nasıl hesaplanacağı da yazılmıştır. Bu hesaplar çerçevesinde diğer Watt değerleri ile tekrar edilen HAD çalışmalarının beklenen değerlere yakın sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir.

Fiziksel olarak kontrol aşamasında ise hız vektörleri sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Yukarıda bulunan sıcaklık faktörünü incelediğimizde bakır plakaların kanatlara temas eden kısımlarında sıcaklık değişimini görmemiz gerekmektedir. Aynı şekilde kanatların aralarından geçen akışkanın da sonuna doğru ısınması gerekmektedir.

Bütün bunları değerlendirdiğimizde çözümün doğru kurgulandığı düşünülebilir.

Ayrıca ısı transferinin temel taşlarından biri olan farklı Watt değerlerinde aynı debilerde tekrarlanan analizlerde ısı taşınım katsayısının değişmemesi gerekir olgusunu da sağlamaktadır.

#### 3.3.2. Rüzgâr Tüneli Test Sonuçları İle Karşılaştırma

HAD Analizleri ile birlikte üretilen sonuçlar gerçek test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Rüzgâr tüneline testlerinde elde edilen değerler HAD sonuçlarını doğrulamak için kullanılmıştır. Bu raporun ilgili kısımlarında da daha detaylı olarak açıklanan deney sonuçları ile HAD sonuçları arasında kabul edilebilir seviyede farkların olduğu fark edilmiştir.

Bu kabul edilebilir fark ise şu şekilde tanımlanmıştır. Deneyler sonucunda üretilen ısı taşınım katsayıları ve yazılımın ürettiği ısı taşınım katsayısı ile HAD sonucunda üretilen ısı taşınım katsayısının mutlak farkın yüzdesi yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu fark değerinin her birisi için %15'i geçmeyecek şekilde belirlenmiştir. Ortalama hata hesabında ise %10'u geçmeyecek şekilde belirlenmiştir.

HAD üzerinden ısı taşınım katsayısı iki farklı şekilde okunmuştur. İlk yöntem rüzgâr tüneline içerisinde kullanılan düzeneğin üzerine yerleştirilen sensörlerin olduğu yerlere nokta atandı. Bu noktalar ile sıcaklık değerleri okundu. Bu sıcaklık değerleri ile matematiksel formüller kullanılarak ısı taşınım katsayısı hesaplandı. Bu yöntem teorik hesaplama denildi.

İkinci yöntem ise HAD hesaplama programı içerisinde yer alan ilgili formüller kullanılarak programın bir çıktısı olarak değerler okunmuştur. Bu yöntem ise HAD Hesaplaması ismi verildi.

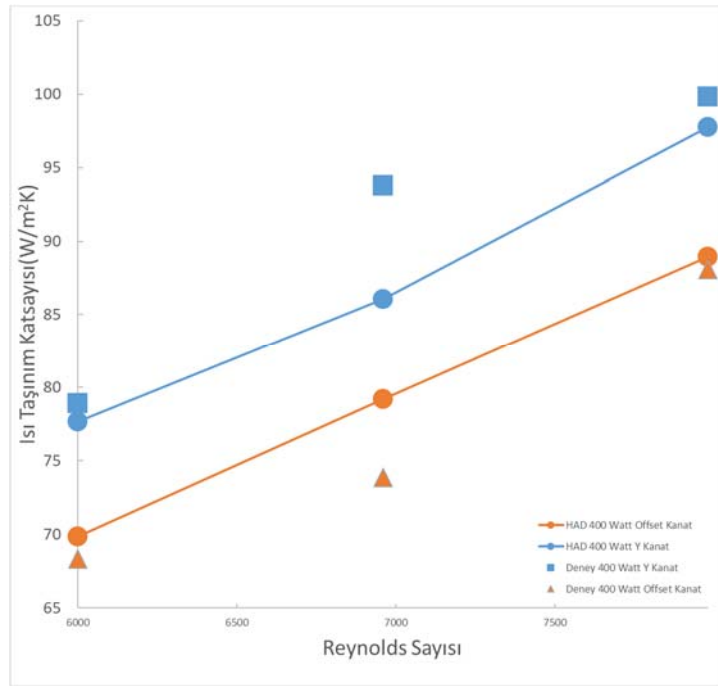
HAD programı içerisinde iki farklı şekilde okunan bu değerler karşılaştırıldığında ortalama %2'lik sapma en fazla ise %10'luk bir sapma olduğu görülmüştür.

Deney ile HAD hesabı karşılaştırıldığında ortalama %2 en fazla %8'lik sapma olduğu görülmüştür.

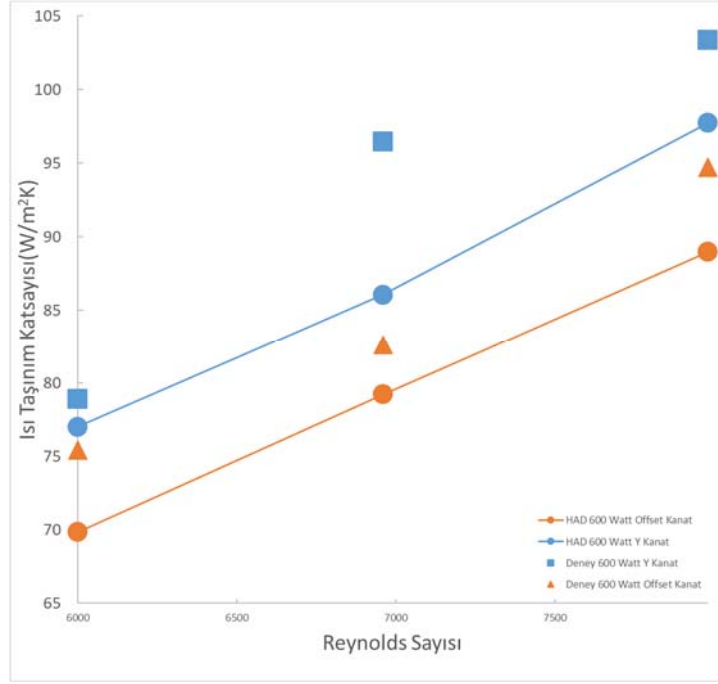
#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada Y kanat modeli ve Offset kanat modelinin deneysel ve HAD sonuçları değerlendirilmiştir. Üç farklı hız değerleri için yapılan deneysel çalışmalarda Y kanat modelinde ısı taşınım katsayısının Offset kanat modeline göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerlendirme bütün sabit ısı akısı değerleri için aynı sonucu vermektedir. Y kanat modelindeki ısı taşınım katsayısının Offset kanat modelinden daha yüksek olması durumu ısı akısından bağımsız olduğu görülmüştür. Isı akısı değeri yükseldikçe Y kanat modelinin ısı taşınım katsayısı Offset kanat modeline göre yüksek olsa da arasındaki ısı taşınım katsayısı farkı azalmaktadır. Y kanat modelinde düşük sabit ısı akılarında Y kanat modelinin daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

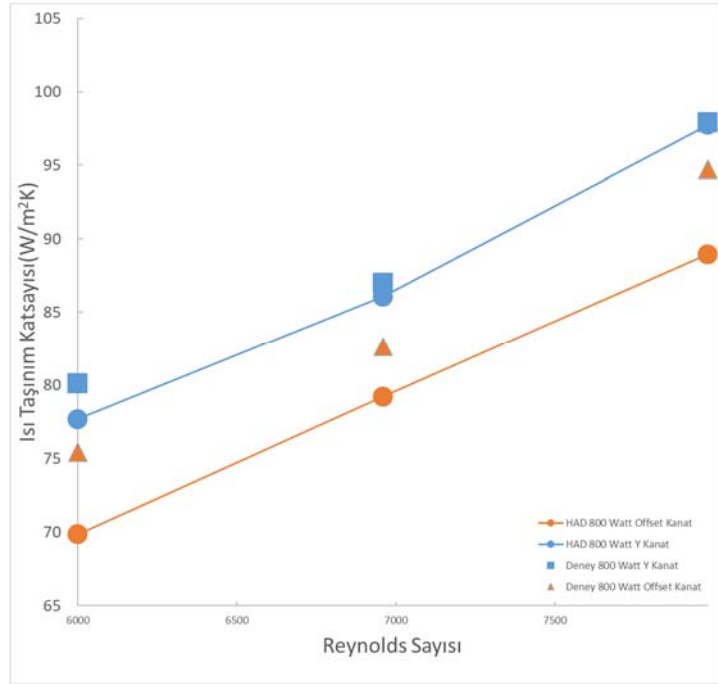
HAD çalışmasının sonuçlarının ise deneysel çalışmalar ile benzerlik gösterdiği incelenmiştir. HAD çalışmalarında üç farklı hız ve üç farklı sabit ısı akısı değerlerinde Y kanat modelinin ısı taşınım katsayısının Offset kanat modelinden yüksek olduğu görülmüştür.



**Grafik 4:** 400 Watt İçin Offset-Y Kanat HAD ve Deney Sonucu



**Grafik 5:** 600 Watt İçin Offset-Y Kanat HAD ve Deney Sonucu



**Grafik 6:** 800 Watt İçin Offset-Y Kanat HAD ve Deney Sonucu



## TERİMLER

- $A$  – alan,  $m^2$   
 $v$  – Hız,  $m/s$   
 $m$ - Kütleli Debi  $kg/s$   
 $C_p$ - sabit basınçta özgül ısıma ısı,  $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ,  $J/(kg \cdot K)$   
 $D_h$  – hidrolik çap,  $m$   
 $\rho$  – öz kütle,  $kg/m^3$   
 $k$  – termal iletim katsayısı,  $W/(m \cdot ^\circ C)$ ,  $W/(m \cdot K)$   
 $L, l$  – uzunluk,  $m$   
 $Nu$  – Nusselt sayısı, boyutsuz  
 $t$  – ısı değiştiricisi kanalları arası duvar kalınlığı,  $m$   
 $Q$  – ısı geçişi,  $W$   
 $q$  – ısı akısı,  $W/m^2$   
 $T$  – sıcaklık,  $^\circ C$ ,  $K$   
 $Re$ - Reynolds Sayısı, boyutsuz  
 $l$  – kanat uzunluğu  
 $s$  – kanat hatvesi  
 $t$  – kanat et kalınlığı  
 $h$  – kanat yüksekliği  
 $\alpha$  – ortalama termal geçirgenlik katsayısı, boyutsuz

## ALT İNDİS

- $g$ - giriş  
 $k$ - kesit alanı  
 $y$ - yüzey alanı  
 $lm$ - logaritmik sıcaklık

## KAYNAKLAR

- [1] V. Gnielinski, On heat transfer in tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer
- [2] Incropera, F., DeWitt, D. (2002): Introduction to Heat Transfer, 4th ed., Wiley, NewYork.
- [3] Sahiti, N. Durst, F. and Dewan, A. (2005a): Heat Transfer Enhancement by Pin Elements, Int. J. Heat Mass Transfer, pp. 4738-4747.
- [4] Ya-Ling He, Song-Zhen Tang, Wen-Quan Tao, Ming-Jia Li, Fei- Wang (2019): A general and rapid method for performance evaluation of enhanced heat transfer techniques, Int. J. Heat Mass Transfer, 145 118780.
- [5] Hannes Fugmann, Eric Laurenz and Lena Schnabel (2019), Multi-Dimensional Performance Evaluation of Heat Exchanger Surface Enhancements, Energies 2019, 12, 1406; doi:10.3390/en12071406
- [6] Francesco Nicolò Ponzio, Alessandro Tamburini, Andrea Cipollina, Giorgio Micale, Michele Ciofalo, Experimental and computational investigation of heat transfer in channels filled by woven spacers, International Journal of Heat and Mass Transfer 104 (2017) 163–177
- [7] Okbaz, Abdulkemim & Onbaşıoğlu, Huseyin & Olcay, Ali & Pinarbasi, Ali. (2017). Investigation of Louvered Fin Heat Exchangers Performance via Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach. Engineer and Machinery. 58. 41-55
- [8] Cengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. 5th ed., McGraw-Hill Professional, 2014.
- [9] Raj M. Manglik, Arthur E. Bergles, Heat transfer and pressure drop correlations for the rectangular offset strip fin compact heat exchanger

## ÖZGEÇMİŞ

### Oğuz KILIÇ

2020 yılında, Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesini almıştır. 2021 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı-Akış Programında yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir. Eylül 2021 yılından itibaren Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş. firmasında Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmaktadır. Isıtma, soğutma, iklimlendirme, ısı değiştiricileri, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve termodinamik alanında çalışmalar yapmaktadır.

### Ferhatcan BAŞ

Ferhatcan BAŞ 1998 yılında Trabzon'da doğdu. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandı, 2021 yılında mezun oldu. 2019 yılında THY Teknik A.Ş. de yaz stajını yaptı. 4. Sınıfta CFD Stajyer Mühendisi olarak çalışma hayatına başladı. Ekim 2021 den itibaren Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş. de AR-GE Mühendisi olarak çalışmaktadır. CFD, FSI ve FEA analiz projelerinde görev almaktadır. Isı değiştiricileri, ısı transferi, akışkanlar mekaniği gibi alanlarda çalışmalarına devam etmektedir.

### Hüseyin ONBAŞIOĞLU

1990 yılında, İTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezuniyeti ardından, 1993 yılında yüksek lisans ve 1999 yılında da doktora derecelerini almış; ardından 1999 yılında A.B.D. Urbana-Champaign kentinde, University of Illinois bünyesindeki ACRC Laboratuvarlarında 9 ay süre ile misafir araştırmacı statüsünde post-doktora çalışması yapmıştır. Onbaşıoğlu, 1992 yılında, İTÜ Makine Fakültesinde akademisyen olarak başladığı iş hayatına, 2002- 2010 yılları arasında Panel Sistem Soğutma Sanayi firmasında Ar-Ge Müdürü pozisyonunda devam etmiştir. Mühendislik alanındaki değişik konularda İstanbul, İzmir, Bursa, Carsege-Fransa, Pforzheim Almanya, Contanza-Romanya, Nürnberg-Almanya, Hannover-Almanya kentlerinde birçok seminer, eğitim ve çalışmalara katılmıştır. Isıtma, soğutma, güneş enerjisi sistemleri, v.b. konularda yurtdışı ve yurtiçi dergilerde 10'u aşkın yayın, makale ve bildirileri bulunan ONBAŞIOĞLU, Eylül 2010 Aralık 2014 tarihlerinde İZODER- Isı Su ses Yangın Yalıtımcıları Derneği bünyesinde Proje Yöneticisi olarak, birçok yurtiçi ve AB destekli proje yürütmüş, ortak olarak görev almıştır. Ocak 2015 yılında Friterm Termik Cihazlar San. ve Tic. A.Ş.'de Ar-Ge Bölüm Müdürü olarak göreve başlayan Onbaşıoğlu halen bu görevine devam etmektedir. Yabancı dil olarak çok iyi derecede İngilizce bilmektedir.



