



t m m o b
m a k i n a
m ü h e n d i s l e r i
o d a s ı
i z m i r
ş u b e s i

KONUTLARDA İÇ HAVA KALİTESİ VE HAVALANDIRMA I



- Konutlarda İç Hava Kalitesi
- Doğada Havalandırma
- Konut Havalandırmasının Tarihi: Evrimsel Bir Bakış Ve Yelgeller
- Konutlarda Doğal Havalandırma
- Konutlarda Egzoz Havalandırma Sistemleri
- İngiltere'de Konut Havalandırması
- Amerika Birleşik Devletleri'nde Konut Havalandırması
- Konut Havalandırması Tasarım Esasları I:
Tasarım Kabulleri ve Tasarım Giriş Parametreleri

Editör: Ziya Haktan KARADENİZ

MMO/750

E-ISBN: 978-605-01-1617-5



t m m o b
m a k i n a
m ü h e n d i s l e r i
o d a s ı
i z m i r
ş u b e s i

KONUTLARDA İÇ HAVA KALİTESİ VE HAVALANDIRMA I



- Konutlarda İç Hava Kalitesi
- Doğada Havalandırma
- Konut Havalandırmasının Tarihi: Evrimsel Bir Bakış ve Yelgeller
- Konutlarda Doğal Havalandırma
- Konutlarda Egzoz Havalandırma Sistemleri
- İngiltere’de Konut Havalandırması
- Amerika Birleşik Devletleri’nde Konut Havalandırması
- Konut Havalandırması Tasarım Esasları I:
Tasarım Kabulleri ve Tasarım Giriş Parametreleri

Editör: Ziya Haktan KARADENİZ

MMO/750

E-ISBN: 978-605-01-1617-5

TMMOB
Makina Mühendisleri Odası
Meşrutiyet Mah. Meşrutiyet Cad. No: 19 Kat: 6-7 Kızılay / ANKARA
Tel: (0312) 425 21 41 Faks: (0312) 417 86 21
e-posta: mmo@mmo.org.tr <http://www.mmo.org.tr>

YAYIN NO: MMO/750
E-ISBN: 978-605-01-1617-5

Bu yapının yayın hakkı Makina Mühendisleri Odası'na aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nun izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak gösterilmek kaydı ile alıntı yapılabilir. Ocak 2024, İzmir

Ocak 2024, İzmir

Kapak Resimleri

Sol: Termit Yuvası. National Center for Biological Sciences, Bangalore, India. [<https://www.gsd.harvard.edu/project/coupling-thermal-mass-buoyancy-for-thermoregulation-and-ventilation-in-india/>] **Sağ üst:** Antoni Gaudi'nin eseri Sagrada de Familia - Barcelona [<https://historylists.org/architecture/list-of-top-10-antoni-gaudi-works.html>]. **Sağ alt:** 3DP öncüsü Enrico Dino'nun bir şehir tasarımı [<https://www.imeche.org/news/news-article/cities-rising-the-power-of-3d-printing-a-house-has-been>].

SUNUŞ

Makina Mühendisleri Odası olarak meslektaşlarımızın bilgi birikimine katkıda bulunmanın yanı sıra kamusal alanda can ve mal güvenliğinin sağlanması ile sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının oluşturulması için halkımızı bilinçlendirme amacıyla birçok çalışma yapmaktayız. Odamızın temel ilkelerinden hareketle toplumun sorunlarını meslektaş sorunlarından ayırmadan, meslek alanımızla ilişkili sorunlara çözüm bulma doğrultusunda da çalışmalarımıza devam etmekteyiz.

Sağlıklı ve konforlu yaşama alanlarının oluşması ancak Mühendis, Mimar ve Şehir Plancılarının eşgüdümlü ve verimli şekilde çalışması ile mümkündür. Ancak meslektaşlarımızın bileşen ve sistem tasarımı konusunda yaptıkları çalışmalar yanında, bu alandaki bilgi birikimine katkı sunmaları, standartları oluşturmaları ve geliştirmeleri de gereklidir.

Sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarının tasarlanabilmesi için Odamız tarafında geçmiş dönemlerde basılmış olan "Okullarda İç Çevre Kalitesi Rehberi" ve "Karbondioksit ve Sınıflar" isimli kitapların devamı olarak değerlendirilebilecek bu kitapta, öncekilerden farklı olarak, temel yaşam ortamlarımız olan konutların havalandırılması konusu ele alınmıştır. Ülkemizdeki hiçbir kentte konut havalandırma konusunda özel bir çalışma yoktur. Bu konu tamamen vatandaşlarımızın tercihine ve kontrolüne bırakılmıştır. Ancak, kentlerimizin dev bir *gecekondu* ve kontrolsüz bir şantiye ortamı olması nedeniyle, farkındalığı olanların bile evlerinde temiz havaya erişim sağlayamadığı bir çaresizlik hâkimdir. Bu nedenle, basitçe yabancı bir standart veya kitaptan alınmış yöntemlerin uygulanmaya çalışılması yerine çevresel etmenlerin, kentsel dinamiklerin, kültürel beklentilerin sonucu olan ihtiyaçlarımıza uygun ve uygulanabilir yerel standart ve yöntem önerilere ihtiyacımız vardır. Bu kitabı yerel bir standart önerilmesi çalışmasının ilk aşaması olarak hazırlayan MMO İzmir Şubesi, Konutlarda İç Hava Kalitesi ve Havalandırma Çalışma Grubu üyelerine Odamız adına çok teşekkür ederiz. Bu çalışmanın diğer şubelerimizin katkılarıyla ülkemize yayılması ve halkımızın sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarına erişebilmesi için verdiğimiz mücadelenin büyümesi umuduyla...

TMMOB Makina Mühendisleri Odası

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Önsöz	7
Bölüm 1. Konutlarda İç Hava Kalitesi	9
1. Giriş	9
2. İnorganik Gaz Kirleticiler	12
3. Organik Gaz Kirleticiler	17
4. Partikül Madde	20
5. Biyolojik Kirleticiler	22
6. Sonuç	23
Bölüm 2. Doğada Havalandırma	28
1. Giriş	28
2. Böceklerde Solunum	29
3. Termit Yuvaları Ve Havalandırma Sistemleri	30
4. Arı Kovanlarında Havalandırma	37
5. Mimaride Biyomimikri	40
6. Sonuç Ve Tartışma	44
Bölüm 3. Konut Havalandırmasının Tarihi: Evrimsel Bir Bakış Ve Yelgeller	48
1. Giriş	48
2. Biyolojik Havalandırma - Solunum Sistemleri'nin Evrimsel Gelişimi ve Yapay Havalandırmaya Geçiş	53
3. Antik Doğal Havalandırma Sistemleri: Yelgeller	60
4. Sonuç Ve Değerlendirme	78
Bölüm 4. Konutlarda Doğal Havalandırma	88
1. Giriş: Doğal Havalandırma	88
2. Doğal Havalandırma Yöntemleri	90
3. Doğal Havalandırmaya Etki Eden Faktörler	90
4. Standartlarda Doğal Havalandırma	93
5. Doğal Havalandırma Debisinin Belirlenmesi	95
6. Doğal Havalandırma Potansiyelinin Belirlenmesi	98
7. İzmir İli İçin İklimsel Doğal Havalandırma Potansiyeli	102
8. Sonuç	104
Bölüm 5. Konutlarda Egzoz Havalandırma Sistemleri	110
1. Konutlarda Egzoz Havalandırma	110
2. Egzoz Havalandırma Sistemleri İçin Standartlar	114
3. Egzoz Havalandırma Sistemlerinde Havalandırma Etkinliği	119
4. Egzoz Havalandırma Sistemlerinde Enerji Verimliliği	121
5. İzmir'de Egzoz Havalandırma Sistemlerinin Uygulanabilirliği	123
6. Sonuç	127
Bölüm 6. İngiltere'de Konut Havalandırması	130
1. Giriş	130
2. İngiltere'de Havalandırma Güncel Yasal Mevzuatı	133
3. Enerji Verimliliği İle İlişkili Kurallar	138
4. Güncel Tasarım Esasları Ve Uygulama	139
5. Sonuç	144
Bölüm 7. Amerika Birleşik Devletleri'nde Konut Havalandırması	146
1. Giriş	146
2. ABD'de Konut Havalandırma Standartları Ve Kodları	147
3. Güncel Standartlar Ve Kodlar	151
4. Sonuç	156
Bölüm 8. Konut Havalandırması Tasarım Esasları I: Tasarım Kabulleri ve Tasarım Giriş Parametreleri	160
1. Giriş	160
2. Türk Standartları Ve Yasal Mevzuatında, İç Hava Kalitesi, Havalandırma Ve Havalandırma Tasarımı	160
3. Konut Havalandırma Sistemlerinin Tasarım Adımları	161

4. Standartlarda Havalandırma Tasarımı Kabulleri Ve Tasarım Giriş Parametreleri	162
5. Tasarım Kabulleri Ve Tasarım Giriş Parametreleri Öneri Tablosu	165
6. Tasarım Grupları, Değerlendirme Ve Öneriler	166
7. Sonuç Ve Değerlendirme.....	177

ÖNSÖZ

Etkileşimimizi sorgulamadan içinde yaşadığımız akışkan, hava. Yaş, cinsiyet, fiziksel etkinlik seviyesi benzeri etmenlere bağlı olarak her gün binlerce litre havayı vücudumuza alıyoruz. Günlük su veya besin ihtiyacımız ile karşılaştırıldığında hayal gücümüzü zorlayan bir miktar. Haftalarca yemeksiz, günlerce susuz hayatta kalabiliriz ama havasız ancak birkaç dakika. Bu gerçeklere rağmen soluduğumuz havanın temizliği ile pek ilgilenmeyiz. Vücudumuzun savunma hatlarının havadan sorunlarla kolayca başa çıkabileceğini düşünürüz ancak kirli hava birçok anlık rahatsızlığa (koku, uyku hali, öksürük vb.) veya kalıcı hastalığa neden olur. Buna karşılık bir bahar günü, yağmur sonrası, ormanda yapılan bir yürüyüş sırasında soluduğumuz temiz hava hepimizde sadece fizyolojik değil duygudurumsal olarak da olumlu etkiler uyandırır.

İç ortam havasının temiz olmasının ön koşulu da dış ortam havasının temiz olmasıdır. Şehirleşme arttıkça bina yoğunluğu, trafik ve sanayileşme artar aynı zamanda bitki örtüsünün azalması da hava kirliliğini artırmaktadır. Tesisat Mühendisliği alanında çalışan mühendislerin ana uğraşlarından biri kapalı ortamlarda iç hava kalitesini iyileştirmek için cihazlar ve sistemler tasarlamaktır. Bunu yapabilmek için kabul görmüş ve doğrulanmış yöntemlere ve bu yöntemlerin yazılı olduğu standart, yönetmelik vb. belgelere ihtiyaç duyarlar. Dünya çapında standartlar incelendiğinde, insanların gün içinde birlikte daha çok vakit geçirdikleri iş yeri, alışveriş merkezi, otel, okul, hastane gibi kamusal alanların havalandırılmasına yönelik tasarım önerilerinin daha ayrıntılı olduğu kolayca görülebilir. Bu ortamlar için yapılan tasarım ve uygulamaların daha sıkı denetlendiğini de söylemek mümkündür. Günümüzün neredeyse yarısını geçirdiğimiz, ilerleyen yaşlarda ise daha fazla vakit geçirdiğimiz evlerimizin havalandırılması ise büyük ölçüde bireysel değerlendirme ve talebimize bırakılmıştır. Gelişmiş ülkelerde daha sıkı denetim ve zorunlu uygulamalar bulunsa da ülkemizde bu alanda tam bir başıboşluk bulunmaktadır. Avrupa Birliğinden devşirdiğimiz veya son zamanlarda mecburen aldığımız standartlar kâğıt üstünde kalmakta, hatta hiçbir zorunluluk ve denetim olmadığından meslektaşlarımız da dâhil olmak üzere neredeyse kimsenin farkına varmadığı elektronik belgeler olarak internette durmaktadır. Özellikle kentlerimizin yoğun ve çarpık yapılaşma durumu göz önüne alındığında, mevcut konutların bir havalandırılma sistemine sahip olması bir yana, temiz havaya ulaşabilmesi bile oldukça zor bir mühendislik problemidir.

Kitapta öncelikle, günümüzde konutlarda maruz kalma ihtimalimiz en çok olan kirleticilerin tanımı yapılarak, olası miktarları ve konut iç ortamını sağlıklı kabul edebilmemiz için izin verilebilecek en yüksek miktarları bilimsel veriler ışığında tanımlanmıştır. Daha sonra canlıların hava (oksijen) ile olan ilişkisini evrimsel bir bakış açısıyla incelenip, termit ve arıları topluluklarının geliştirdikleri barınakların havalandırma sistemlerinden başlayarak, insanların geliştirdikleri ilk konut havalandırma sistemlerini doğadan esinlenme ile nasıl tasarlandığı paylaşılmaktadır. Sonrasında günümüzde kullanılan uygulanması basit ama etkinliği daha düşük yöntemler olan doğal havalandırma ve egzoz havalandırma yaklaşımları için ulusal ve uluslararası standartlarda verilen tasarım yöntemlerini karşılaştırmalı olarak aktarılıp, İzmir ili özelinde bu yöntemlerin kullanılabilirliğini değerlendirilmektedir. Bunun yanında, ABD ve İngiltere özelinde standartların incelenmesi ile havalandırma mevzuatı konusunda gelişmiş iki ülkenin konuyu ele alış şeklini karşılaştırmalı ve eleştirel bir şekilde değerlendirilmiştir. Son bölümde ise ülkemizde yürürlükte olan, Avrupa Birliği'nden doğrudan uyarlanmış iki standardın konutların havalandırılması için önerdiği tasarım adımları, diğer standartlar ve uygulama pratiği göz önüne alınarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve bazı tasarım kabulleri ile tasarım giriş parametreleri için öneriler geliştirilmiştir.

Bu kitap; konutlar için kirleticiler limit değerlerinin tanımlandığı, konutların havalandırılmasının gerekliliğini ve tarihsel gelişimini açıklayan, uluslararası ve ulusal standartların ayrıntılı ve karşılaştırmalı şekilde değerlendirildiği, temel yöntemlerin kavramsal olarak ele alındığı ve uygulanması için hesaplama adımlarının açıklandığı, konut havalandırması için özgün bir yöntem önermenin ilk adımı olan tasarım kabullerinin ve tasarım giriş parametrelerinin paylaşıldığı ilk kaynak olması nedeniyle oldukça önemlidir. Ayrıca İzmir özelinde doğal havalandırma ve egzoz havalandırma yaklaşımlarının genel bir yöntem olarak uygulanmasının mümkün olmadığını ve daha gelişmiş mühendislik tasarımlarına ihtiyacımız olduğunun ortaya konulması da kitabın önemli bir çıktısıdır.

Kitabın ikinci cildinde konutların havalandırılmasında kullanılan, başta ısı geri kazanımlı havalandırma yöntemi olmak üzere, diğer havalandırma yöntemlerinin de hesaplama ve tasarım ayrıntılarının ele alınması planlanmaktadır. Ayrıca tasarım kabullerinin ve tasarım giriş parametrelerinin konutlarımız ve

şehirlerimize özgü bir yaklaşımla değerlendirilmesi ve bu çalışmanın konutların havalandırılması için bir standart önerisi ile tamamlanması hedeflenmektedir.

Kitabın yazılması için çalışma grubumuzun bir araya gelmesini sağlayan ve bize çalışma ortamı sağlayan MMO İzmir Şubesi yönetim kurulu ve çalışanlarına, kitabın yayımına sponsor olarak katkı sağlayan Doğu İklimlendirme A.Ş. firmasına teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Konutlarda İç Hava Kalitesi ve Havalandırma Çalışma Grubu MMO İzmir Şubesi



Sinan AKTAKKA -Seçkin Tuncer ERDOĞMUŞ – Güniz Ermin GACANER – Macit TOKSOY
Sait Cemil SOFUOĞLU – Zihni IŞIK – Orhan EKREN – Ziya Haktan KARADENİZ

BÖLÜM 1

KONUTLARDA İÇ HAVA KALİTESİ

Indoor Air Quality in Residences

Sait Cemil SOFUOĞLU¹

ÖZET

Kirleticilere maruziyeti belirleyen iki unsur vardır: Derişim (konsantrasyon) ve zaman. İnsanlar zamanlarının büyük kısmını iç mekanlarda geçirirler. Gün içinde buldukları yer düşünülduğünde, bu zamanın da en büyük kısmı evlerinde geçmektedir. Çeşitli iç kaynaklar dolayısıyla konutlarda bazı kirleticilerin derişimleri genel itibarla veya yapılan aktiviteye bağlı episodik olarak yüksek olabilir. Dolayısıyla, konutlarda iç hava kalitesi insan sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu bölümde konutlarda iç hava kalitesi, kirletici bazlı olarak bir derleme çalışması ile ele alınmıştır. Kirleticilerin kaynaklarından, derişim düzeylerinden ve mevcut standart ve rehber sınır değerlerinden bahsedilmiştir. Ana kirletici grupları inorganik ve organik gaz kirleticiler, partikül madde ve biyolojik iç hava kirleticileridir. İlk iki grup içinde karbondioksit, karbonmonoksit, azotdioksit, ozon, radon, aldehitler, uçucu organik bileşikler, yarı-uçucu organik bileşikler önemli görülmüştür. Son iki grup içinde ise PM_{2,5}, PM₁₀, bakteri ve mantar/küf biyoaerosoller öne çıkmıştır.

1. GİRİŞ

Çok sayıda potansiyel sebebe bağlanabilir ancak literatürde mevcut durum konutların halka açık binalara nazaran çok daha az incelenmiş olduğunu göstermektedir. Amerika ve Avrupa'da 1990'larda başlayan çalışmalar daha sonra Asya ülkelerine de genişlemiştir. Bu çalışmaları derleyen ve konutları özel olarak ele alan derlemeler de 2000'lerin ortalarından itibaren yayınlanmış, yeşil ve akıllı binalar ile iklim değişikliği ve salgınlar gibi gelişmeler ile birlikte yayıncılıkta açık erişim dergilerin hızla çoğalması ve derlemelere yönelmeleriyle son yıllarda sıklıkları artmıştır. Bu gelişim, halka açık binalara ilgiye göre geride kalmakla birlikte 1970'lerde ortaya çıkan enerji sorununu takiben ortaya çıkan, sağlıksız binaların sakinleri üzerinde yarattığı sağlık etkilerinin tetiklediği iç hava kalitesi (İHK) biliminin gelişimi ile uyumludur. İklim değişikliğine sebep olarak görülen karbondioksit (CO₂) salımına hatırı sayılır katkısı sebebiyle binaların enerjiyi daha verimli kullanır ve iklim değişikliğinin getirdiği insanları zorlayıcı şartlara karşı dirençli hale getirilmesi ihtiyacı doğmuştur. COVID-19 ve öncesindeki hava yoluyla yayılan mikroorganizmaların yarattığı daha küçük ölçekli küresel salgınlar binaların dirençli hale gelmesi gereken ikinci bir unsur olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, endüstri çağında giderek artan oranlarda insanlar vakitlerini iç ortamlarda geçirmekte, dolayısıyla bu ortamlardaki İHK sağlıkları açısından kritik önem taşımaktadır. Bu ortamlar arasında konutlar doğal olarak günün en uzun kısmını geçirmemiz sebebiyle öne çıkmaktadır.

Ayrıca, konutlardaki iç hava, kullanılan bina malzemeleri ve mefruşat, yemek pişirmek ve temizlik yapmak gibi bazı aktivitelerin doğası, sıklığı, süresi ve şiddeti, genellikle pencereler yoluyla doğal havalandırılması, hobi malzemeleri, tütün içilmesi ve mum/tütsü yakma vb. özel bazı kirletici kaynakların bulunması gibi sebeplerle bazı kirleticiler açısından kirli olabilmektedir. Kokulu ve klor içeren ev ve temizlik ürünlerinin kullanımı ozonun da rol aldığı iç hava ve yüzey kimyası tepkimeleri için elverişli ortam oluşturabilmekte, ikincil aerosol ve bileşiklerin oluşumu yüksek düzeyde olabilmektedir. Dolayısıyla, evlerimizdeki iç hava kalitesinin sağlığımız, özellikle hassas popülasyon alt gruplarından olan bebek/çocuklar ve yaşlıların, üzerinde olumsuz etkileri olması kaçınılmazdır. İlave olarak, bir sonraki güne hazırlığımız olan uyku kalitesini etkileyebilmekte, dolayısıyla üretkenlik – iş/okul performans kaybına da yol açabilmektedir.

¹ Sait Cemil SOFUOĞLU, Prof.Dr., İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Müh. Bölümü. cemilsofuoğlu@iyte.edu.tr ve saitemil@iit.edu

Ülkemizde konut İHK çalışmaları çok sınırlı olup bunlar henüz bir derlemeye konu olmamıştır. Ekonomik olarak gelişmiş ülkeler için de yukarıda açıklanan ilgili bilimsel literatürün halka açık binalara göre daha zayıf olması durumunu Karakitsios vd. [1] Avrupa için verilerin daha çok “gri literatürde” yani yönetimler ve sivil toplum kuruluşları (STK) için hazırlanan raporlarda olmasına bağlamıştır. Fakat bu argüman ülkemiz için geçerli olmayıp her iki tarafın da uzun yıllardır dış hava kalitesi ile ilgilenmiş olmalarına rağmen COVID-19 dolayısıyla doğan ilgi hariç henüz insanların hava kirleticilerine bırakın evleri, genel olarak iç çevrelerde maruziyetlerini ele almamışlardır. İlk ilgi grubumuzun da içinde yer aldığı okullardaki iç çevre kalitesine yönelik, Makina Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, Okullarda İç Çevre Kalitesi Çalışma Grubunun bir farkındalık oluşturma projesi ile başlamıştır. Bu projenin bir ürünü olan internet sitesinde² diğer ürünleri olan rehber dokümanlar, broşürler, sunumlar, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi içinde düzenlenen İç Çevre Kalitesi Semineri ve İç Hava Kalitesi sempozyumu bildirilerine ve sınıflarda CO₂ düzeyi modelleme aracına ulaşılabilmektedir. COVID-19 ile ortaya çıkan ilginin bir sonucu olarak Kurulan Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, İklimlendirme Meclisi, İç Hava Kalitesi Komitesi'nin bir Limit Değerler Çalışma Grubu kurarak yaptırdığı geniş çalışma okullardaki iç hava kalitesini derinlemesine ele almış ve incelediği 19 kirletici veya kirletici grubundan 11 kirletici/grup için ülkemizde okullar için uygulanabilecek iç hava sınır değer önerisi yapmıştır [2]. Bunlar, CO₂, CO, NO₂, O₃, radon, uçucu organik bileşikler, formaldehit, trihalometanlar, partikül madde (PM_{2,5} ve PM₁₀), bakteriler ve mantarlardır.

Konut iç hava kalitesi, sakinlerinin kültürel farklılıkları, buldukları yerlerin coğrafi ve iklim farklılıkları, inşaat ve mimari farklılıklar, dış hava kalitesi vb. sebeplerle ülkeler arasında geniş değişkenlik göstermekte bu sebeple bazı derlemeler yaşam tarzı benzerliği gösteren ülkelere odaklanmaktadır; örneğin Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa ülkeleri. Logue vd. [3], ABD ve benzer yaşam tarzına sahip ülkelerdeki konutlar üzerinde yapılan 77 adet çalışmayı inceleyerek 267 kirleticinin kronik etkilerini düşünerek orta ve üst seviye derişim (konsantrasyon) değerlerini, akut etkilerini düşünerek insan aktiviteleri ile ilintili beş kirleticinin en yüksek derişim değerlerini hesaplamıştır. Bu kirleticilerden 97'si için karşılaştırılabilecek kronik ve akut sağlık bazlı standart bulunmasını da dikkate alarak 9 kirleticiyi “öncelikli tehlikeliler” olarak belirlemiştir: asetaldehit, akrolein, benzen, 1,3-bütadien, 1,4-diklorobenzen, formaldehit, naftalin, NO₂ ve PM_{2,5}. İnsan aktivitesi kaynaklı salımların potansiyel akut etki tehlikeleri olarak da PM_{2,5}, formaldehit, CO, kloroform ve NO₂ belirlenmiştir. Aynı çalışmada [3] konutlarda çoğunlukla tespit edilen 15 kirletici arasında 9 öncelikli kirletici ve karbon tetraklorür bulunmaktadır. Bu kirleticilerin ortak özelliği kronik ve yaşam boyu maruziyet sonucu oluşabilecek kronik-toksik ve/veya kanserojenik etkilerinin bulunmasıdır. Karşılaştırılabilecek sağlık-temelli standart değer olmayan fakat son zamanlarda literatürde etkileri mekanistik veya epidemiyolojik açılardan gösterilen ultra ince partiküller (PM_{0,1}) ve yarı-uçucu organik bileşiklerin çeşitli faktörler dolayısıyla önem arz ettikleri ve araştırılmaları gereksinimi bildirilmiştir. Son yıllarda çalışmaların PM üzerine yoğunlaştığı görülmekte olup bunlardan biri olan, yine ABD ve yüksek geliri olan ülkelerin konutlarının ele alındığı yeni bir derlemede [4] hem PM_{2,5} hem de PM₁₀ derişimlerinin iç ortamda katı yakıt kullanımı bile olmadan arka plan değerlerinden 100-1000 katı yüksek seviyelere (mg/m³) çıkabildiği bildirilmiştir. Bu derlemede bildirilen uç değerleri dışarıda bırakan 10. – 90. yüzdelik aralığı esas alındığında PM_{2,5} için Kuzey Amerika (7,7–29,5 µg/m³) ile Uzak Doğu (20–112 µg/m³) arasındaki fark açık bir şekilde görülmektedir. Liu vd. [5] de ABD – Asya ülkeleri konutlarındaki günlük ortalama PM_{2,5} derişimi farkını 17 – 69 µg/m³ olarak bildirmiş; Çin'de düzeylerin müstakil evlere göre apartman binalarında, sigara içilenlerde, yemek pişirilenlerde, doğal havalandırılanlarda, kışın, soğuk iklim bölgelerinde ve dış havası kirli yerlerdeki konutlarda daha yüksek olduğunu değerlendirmişlerdir.

Avrupa ülkelerindeki değişkenlik ele alındığında Kuzey ile Güney ülkeleri arasında iç hava kalitesinin, dolayısıyla ilişkili potansiyel sağlık risklerinin farklı karakterde olduğu bildirilmiştir [1]. Bu durum yapılan iç hava kalitesi çalışmalarının sayısından da anlaşılmaktadır; çünkü çoğunluğu İskandinav ülkeleri, Birleşik Krallık, Almanya ve Hollanda'da yapılanlar oluşturmuştur. Güney ülkelerinde ılıman iklim kaynaklı, daha yüksek doğal havalandırma ilişkili CO ve benzen gibi dış hava kirleticilerine maruziyetin yarattığı riskler öne çıkarken Almanya, Finlandiya, İsveç gibi Kuzey ülkelerinde bina malzemeleri ve mefruşat gibi kuvvetli iç kaynaklar ve düşük havalandırma hızları sonucu kirleticilerin iç havada birikimiyle derişimleri yüksek düzeylere ulaşan formaldehit gibi [1] kirleticilerin yarattığı sağlık riskleri öne çıkmaktadır. Ek olarak, insanların davranışlarında ve tercihlerindeki farklılıklar sebebiyle farklar görülmektedir. Örneğin İtalya ve Yunanistan'da görece yüksek naftalin derişimleri ve ilişkili sağlık riskleri bildirilmiştir. Ülkemizde de konutlar için veri üretilmemiş olsa da okullar gibi iç ortamlar ve dış havada [6] kuzey ülkelerinde görülmeyen naftalin tespit edilmiştir. Ülkelerin yönetsel farklılıklarının iç hava

² iccevrekalitesi.net

kalitesine yansması çeşitli kirleticilerdeki farklılıklarda görülebilmektedir. Örneğin, yangın ile ilgili sıkı düzenlemeleri sebebiyle alev geciktirici kimyasallar ABD'ye benzer şekilde Birleşik Krallık'ta yüksek iç hava düzeylerine sebep olmaktadır [7]. Alev geciktirici bileşiklerin dahil olduğu Yarı-Uçucu Organik Bileşikler grubundaki kirleticiler sadece havanın solunumu sonucu değil PM ve ev tozuna dağılımları sebebiyle iç ortamlarda deri ve özellikle bebek/çocukların ellerini ağızlarına götürme davranışları sebebiyle ağız/sindirim yoluyla maruziyetin de dikkate alınması gerekliliğini ve temizlik yapma pratiği ve sıklığının etkisini ortaya çıkarmaktadır [1].

CO₂ derişimi iç ortamlarda, kişi sayısı – ortam hacmi ilişkisine bağlı olarak, havalandırma yeterliliği için gösterge olarak kullanılmaktadır. CO₂ derişiminin görece yüksek, yani havalandırmanın yetersiz olduğu iç ortamlarda kirleticilerin içeride birikimi söz konusu olacağından kirlilik ile ilişkili şikayetler ve sağlık etkileri görülmesi muhtemeldir. Konutlar genel itibarla doğal havalandırıldığından, özel dikkat edilmediği taktirde bu durumun görülmesi en muhtemel iç ortamlardır. Daha çok halka açık binaların araştırılmış olması sebebiyle konutlarda havalandırma hızı ile sağlık etkileri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmaların 2015 öncesinde kısıtlı olduğu bildirim; sonrasında yapılan çalışmaların çocuk ve yaşlılar için saatte hava derişimi sayısının <0,5 olduğu konutlarda sağlık etkileri ile ilişkilendirildiği, dolayısıyla bu hız değerinin bir eşik değer olarak nitelendirildiği aktarılmıştır [8]. Avrupa'da yapılan çalışmalar çoğu konutta, ABD'de ise yaklaşık yarısında havalandırma hızının 0,5 sa⁻¹ değerinden düşük olduğunu göstermiştir [8-9]. Düşük havalandırma hızları içeride kaynağı olan kirleticilerin iç hava derişimlerinin yükselmesine dolayısıyla sağlık etkilerine yol açarken iç hava ve yüzeylerde gerçekleşmesi muhtemel tepkimelerin sürmesi için zaman tanımakta, dolayısıyla ikincil aerosol ve çeşitli bileşiklerin oluşmasına imkan tanımaktadır [9]. Ek olarak, su hasarı veya nemlilik sorunu olan konutlarda mikroorganizmaların (bakteri ve küflerin) üremesi sorununun boyutu katlanmakta, bu biyoaerosoller, ürettikleri toksinler ve mikrobiyolojik uçucu organik bileşikler ile ilişkili sağlık etkileri, özellikle alerjik etkiler ortaya çıkabilmektedir [10]. Bu durum ana kaynağı dış hava olan kirleticiler için ise tersine dönmekte olup özellikle kentlerde ve kuvvetli kaynakların yakınındaki mahallerde havalandırma hızının artmasıyla beraber örneğin trafik kaynaklı kirleticilerin iç hava derişimleri yükselmektedir. Bu nedenle klima kullanımının yaygın olduğu şehirlerde, olmayan şehirlere göre PM derişiminin yüksek olduğu günlerde hastanelere kalp-damar hastalıkları, KOAH ve zatürre hastalıklarından yatış oranının düşük olduğu [10], split klima gibi havalandırma içermeyen sade hava şartlandırmanın iç hava günlük ortalama ve en yüksek PM_{2,5} derişimini sırasıyla %28-60 ve %48-62 oranında düşürdüğü bildirilmiştir. Bu durum, özellikle şehirlerde havalandırmanın tek başına yeterli bir çözüm sunmadığını, dışarıdan alınan havanın temizlenerek iç ortama verilmesi gereğini de göstermektedir. Çok sayıda kirletici/kirletici grubunun incelendiği geniş ölçekli çalışmalarda (örneğin, Avrupa için EXPOLIS, ABD için RIOPA) bazı kirleticiler için dış hava katkısının oranı hedeflenmiş olup 7 Avrupa şehri ortalamasının PM_{2,5} için %64 düzeyinde olduğu 3 ABD şehrinde PM_{2,5} için %64 (ortanca), metil tert-bütül eter için %100 olarak belirlendiği, iç kaynakları kuvvetli kirleticiler için ise <%50 olduğu (*d*-limonen %13, formaldehit %19, β -pinen ve kloroform %20, α -pinen %31) olduğu aktarılmıştır [9]. Konut iç havasında sıklıkla tespit edilen bir diğer kirletici olan karbontetraklorür tamamen dış hava kaynaklı olarak değerlendirilmiş [3,9] olmakla birlikte ülkemizde yapılan [11-12] ve sonrasında takip eden çalışmalar klorlu ağartıcı içeren temizlik ürünü kullanımının o zamana kadar dikkate alınmamış bir iç kloroform ve karbon tetraklorür kaynağı olduğunu ortaya çıkarmıştır; ki bu husus ülkemiz gibi çamaşır suyu kullanımının yaygın olduğu ülkeler için önem arz etmekte olup özellikle ev hanımları için bazı tür temizlik ürünlerinin kullanımı durumunda yarattığı sağlık riski ciddi boyutlara ulaşabilmektedir [12].

Avrupa ülkeleri arasında görülen farklılıkların, dış hava kalitesinin, dolayısıyla havalandırma hızının, sosyoekonomik faktörler ile ilişkili olarak bina malzemeleri, mefruşat, kullanılan ev, temizlik ve kişisel ürünler gibi çeşitli farklılıklardan kaynaklanmakta olduğunu, dolayısıyla ülkeye özgü iç hava kalitesi yönetimi yaklaşımları ve hukuki düzenlemeleri gerektiğine işaret etmektedir. Konutlarda farklı amaçlarla kullanılan odalarda farklı kirlilik seviyeleri görülebilmekte, bu sebeple hepsinin ayrı ayrı değerlendirilerek genel bir iç hava kalitesi yönetimi pratiği oluşturulabilmesi için toplumsal farkındalık oluşturulması gerekmektedir.

2. İNORGANİK GAZ KİRLETİCİLER

2.1. Karbondioksit

İç mekanlarda ana CO₂ kaynağının insanlar olması sebebiyle düzeylerinin incelenmesi genel itibarla kalabalık, birim alana düşen kişi sayısının yüksek olduğu sınıflar gibi iç ortamlarda tercih edilmiş olup konutlar için araştırma sayısı kısıtlı kalmıştır. Örneğin Karakitsios vd. (2015) literatür derlemesinde iki çalışmaya rastladıklarını bildirmiş Hollanda'da (69 ev) ölçülen ortalama derişimi 659 ppm olarak aktarmıştır. İsveç'te (88 ev) ise iki ayrı grup evde yapılan ölçümler sonucunda geceleri göğüste baskı hissi yaşayanların evlerinde (1020 ppm) yaşamayanlara göre (850 ppm) daha yüksek ortalama değerlerle (850 ppm) karşılaşmışlardır. Bu değerler hem oturma hem de yatak odalarında yapılan ölçümleri içermektedir. Gece kapısının kapatılması ve odanın hacmine bağlı olarak havalandırılmayan yatak odalarında CO₂ derişiminun gece boyu yükseleceği çıkarımı kolayca yapılabilir. Toksoy, Tuğrul ve Sofuoğlu [13] tarafından yapılan bir derlemede yetişkin yatak odalarında derişimin 3000 ppm düzeyine ulaştığı, havalandırma yapılması durumunda ise 500 – 800 ppm aralığında kaldığı bildirilmiştir. Bebek yatak odalarında ise özel bir durum ile karşılaşılabilenkte olup Ani Bebek Ölümü Sendromu ile beşik içerisinde bebeğin yatış yeri ve şekli dolayısıyla nefes aldığı mikro alanda CO₂ kümelenmesi ile birikimi sonucu oksijensizlikten boğulma arasında bir ilişki bildirilmektedir [13].

İç hava kalitesinin, dolaylı göstergesi olan CO₂ düzeylerinin ile uyku kalitesi ve ertesi gün performansı arasında ilişki bildirilen çalışmalar bulunmakta olup bunların derlendiği çalışmalar sonunda 750-800 ppm düzeyinden itibaren uyku kalitesinin etkilenme ihtimalinin oluştuğu, CO₂ düzeyi 2600 ppm'den fazla ise bu etkinin yanına ertesi gün performansının eklenebildiği sonucuna ulaşılmaktadır (Tablo 1); ki 800 ppm değeri Danimarka'da yatak odası havalandırması için sınır değerdir [13]. EN 16798-1:2019 konutlarda havalandırma standardında en düşük kategorilerde (III ve IV) 950 ppm standart değer olarak listelenmiştir.

Toksoy, Tuğrul ve Sofuoğlu [13] literatür verileri ışığında uyku mahallerinde CO₂ derişiminun 1000 ppm düzeyinden düşük olması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Bebek odaları için ise beşik içinde CO₂ birikimine mahal vermeyecek ölü alanlar oluşmayacak şekilde bir havalandırma gereksinimi vurgulanmıştır.

Tablo 1. CO₂ derişiminun uyku kalitesini ve ertesi gün performansını etkileme seviyeleri [13].

CO ₂ (ppm)	Değerlendirme
< 750	Uyku kalitesinin etkilenmediği aralık
750 – 1150	Uyku kalitesinin muhtemelen etkilendiği aralık
1150 – 2600	Uyku kalitesinin etkilendiği aralık
<2600	Uyku kalitesinin ve muhtemelen ertesi gün performansının da etkilendiği aralık.

2.2. Karbonmonoksit

Yakıtların tam yakılamaması sonucu havaya çok çeşitli kaynaklardan salınabilen CO'in konutlarda iç hem de dış kaynakları bulunmaktadır. Dolayısıyla, kuvvetli iç kaynakları bulunması durumunda veya konutun kuvvetli dış kaynaklara yakın konumlanmış olması durumunda konutlarda iç hava derişimleri önemli düzeylerde görülebilmektedir. Literatür derlemeleri herhangi güçlü bir iç kaynağın bulunmadığı durumlarda düzeylerin 1 ppm [1] ve 1 mg/m³ [14] değerlerinin altında kaldığını, içeride özellikle bacasız cihazlar (şömine, gaz sobaları, vb.) ile yakma işleminin yapıldığı durumlarda, tütün kullanılan evlerde, mutfaklarda çok daha yüksek seviyelerin episodik³ olarak oluştuğu aktarılmıştır [3,14]. Episodik durumlarda derişimin 100 mg/m³ (bacasız şömine) ve 20 ppm (sigara kullanımı) düzeylerine ulaşabildiği bildirilmiş, dış havanın etkisi altında 6 ppm düzeyini geçen düzeyler görülmüş, %50'sinde 2,5 ppm düzeyleri ile karşılaşıldığı bildirilmiştir [1,3]; ki, 2,5 ppm düzeyi gazlı ocak kullanılan mutfaklarda karşılaşılan 8 saatlik ortalama derişim olarak da bildirilmiştir [14].

³ Bir süre boyunca derişimlerinin yüksek seyretmesi durumu.

Kanda hemoglobine (Hb) bağlanması sebebiyle oksijensiz kalma sonucu boğulmaya yol açtığı, uygunsuz meteorolojik şartlarda uygunsuz soba kullanımı sonucu konutlarda ölümlerle sonuçlanan ve karbonmonoksit zehirlenmesi olarak bilinen olaylar sebebiyle iyi bilinmektedir. Bu durum kanda CO-Hb düzeyinin %50'yi geçmesinden sonra ortaya çıkar. Ağır tütün kullanıcılarında, yoğun trafik araç sürücülerinde bu oran %10 düzeyine ulaşabilirken düzenli tütün kullanıcılarında %3-8 aralığında görülmektedir. Çevresel derişim düzeylerinde kısa ve uzun süreli maruziyetler kardiyovasküler, sinir sistemi, solunum yolu semptomları ve hastalıkları ile ilişkilendirilmiştir [15]. Dolayısıyla, ülkemiz de dahil olmak üzere tüm dünyada dış hava sınır değerleri bulunmakta olup, genel itibarla 8 saatlik ortalama 10 mg/m³ (9 ppm) değerinde bir ortak uygulama söz konusu iken 1 saatlik ortalama için 23 – 40 mg/m³ arasında farklı değerler uygulanmakta olup Dünya Sağlık Örgütü rehber değeri 35 mg/m³tür.

2.3. Kükürtdioksit

Kaynağı yanma olan SO₂ için belirleyici değişken yakıtın kükürt içeriği olmaktadır. Kükürt açısından zengin yakıtların elektrik üretimi, sanayi, ulaşım ve evsel ısınmada kullanılmaları sonucu aralarında SO₂'in de bulunduğu birçok kirleticinin dış hava derişimleri çok yüksek düzeylere ulaşmış, dolayısıyla, bunun yarattığı sağlık etkilerini azaltmak üzere çeşitli tedbirler devreye alınmıştır. Bunlar arasında en etkili çözüm salım (emisyon) potansiyeli düşük yakıtlara geçiş olmakla birlikte SO₂ için ek etkili çözüm desülfürizasyon olmuştur. Böylece en hızlı ve keskin düşüşler ABD ve AB olmak üzere tüm dünyada atmosferik SO₂ derişimlerinde düşüş elde edilmiştir. USEPA⁴ verilerine göre ABD'de günlük en yüksek bir saatlik ortalama derişimin ulusal 99. yüzdelik değeri 1980'den 2015'e %84'lük, EEA⁵ verilerine göre AB'de yıllık ortalamaların ortanca değerleri 2000'den 2017'ye %70-85'lik bir azalma görülmüştür. Ülkemizde ise aksi bir eğilim Çevre ve Şehircilik Bakanlığı⁶ tarafından SO₂ salımları için bildirilmiş olmakla birlikte düşük salımlı yakıtlara geçişin sağlandığı kentlerde, örneğin İstanbul'da derişimlerin azalma eğilimi gösterdiğini bildiren çalışmalar da bulunmaktadır [16].

İç kaynaklar açısından değerlendirildiğinde kükürt içeriği olan yakıtların soba, açık ocak gibi yerlerde ısınma, yemek pişirme gibi amaçlarla yakılması ve tütün dumanı ana kaynak olarak düşünülebilir. Benzer şekilde tütsü [17] ve mum [18] yakılması diğer iç kaynaklar olarak düşünülebilir. Ancak, hem ısınma hem de pişirme için düşük salımlı yakıtlara geçiş ve diğer kaynakların (tütün dumanı hariç) kullanım sıklığının düşük olduğu değerlendirilirse SO₂ için ana kaynak dış hava olarak isimlendirilebilir. Bununla birlikte bu durumun kentsel ve yarı-kentsel yerleşimlerdeki konutlar için geçerli olup kırsalda hem ısınma hem de pişirme amacıyla katı yakıtların çeşitli etmenlere bağlı olarak kullanımda olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Nitekim, Çin'de yapılan çalışmalar özellikle tezek gibi organik katı yakıt ile bacasız yakma işleminin kırsalda yaygın olmasından dolayı tütün kullanım oranı erkeklerle göre düşük olmasına rağmen kadınlarda akciğer kanseri ve göğüs hastalıklarının erkeklerle benzer yaygınlıkta olmasını yanma dumanına ev içinde kronik maruziyet olduğunu ortaya koymuşlardır (örn. [19]).

Dolayısıyla, iç hava incelemelerinde SO₂ ölçülecek kirleticiler arasına sadece Hindistan, Çin gibi ülkelerde alınmakta, genel olarak yaygınlıkla ölçülmemektedir. Nitekim, DSÖ'nün 2010 yılında yayınladığı iç hava kalitesi rehber değerler raporu için seçilen kirleticiler arasında yer almamıştır [20]. Çin'de [21] 24 sa ortalama derişimler mg/m³ düzeyinde (ort. ~2 mg/m³) olup DSÖ rehber değerinin (40 µg/m³) kat kat üzerinde iken endüstriyel hava kirliliğinin üst düzeyde olduğu bilinen Kocaeli'nde 15 evin mutfak, oturma ve yatak odalarında ve evin dışında ölçülen ortalama düzeyler içerde <10 µg/m³ dışarıda <25 µg/m³ olarak bildirilmiştir [22]. İç havada yazın ölçülen değerler kışın ölçülenlerin %70-80 düzeylerinde bildirilmiştir. Sonuç olarak, kırsaldaki evlerin ayrı düşünülmesi gerektiği belirtilerek ülkemiz için kentlerde SO₂ açısından hava kirliliğinin üst düzeyde olmadığı değerlendirilmesi, yapılabilir. Ülkemiz (300 µg/m³ sa. ort. ve 125 µg/m³ 24 sa. ort.) ve ABD (212 µg/m³ sa. ort.) dış hava standart değerleri DSÖ rehber değerine göre 3-8 kat daha yüksektir.

2.4. Azotdioksit

Dış havada azotoksit (NO) ve azotdioksit (NO₂) birlikte değerlendirilmekte ve toplam derişimleri NO_x olarak ifade edilmektedir. Bunun sebebi yanma sırasında havadaki ve yakıttaki azotun oksitlenmesi

⁴ https://19january2017snapshot.epa.gov/air-trends/sulfur-dioxide-trends_.html (Ziyaret Tarihi 25/12/23)

⁵ Air Quality Trends in Europe: 2000-2017, Report No - ETC/ATNI 2019/16, European Environment Agency

⁶ Turkey's Informative Inventory Report 2021. AMD/AQAD Technical Report No. 2021001-1, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

sonucu oluşan NO kısa bir süre için oksitlenerek NO₂ oluşmaktadır [23]. Ancak, diğer yanma kaynaklı gaz kirleticilere benzer şekilde iç ortamda ısınma, pişirme, mum-tütsü yakma, tütün kullanımı gibi yanma işleminin yer aldığı faaliyetler bulunmadığı sürece dışarıdan içeriye ulaşan bileşik NO₂ olmakta ve ana kaynağı dış hava olarak değerlendirilmektedir. Seinfeld ve Pandis'in [24] atfı yaptığı bir çalışmaya göre dış hava için salımların %77 oranında beşeri (antropojenik), %23 oranında doğal kaynaklardan gelmektedir. Dış hava derişimlerini belirleyen güçlü beşeri kaynaklar sanayi, evsel ısınma, motorlu taşıtlar olarak düşünülebilir. Bu kaynaklardan herhangi birisine yakınlık o kaynağı belirleyici kılabilenekte olup kentsel veya yarı-kentsel alanlardaki konutlar için kaynak olarak trafiğin yoğun olduğu yollara yakınlık durumunda motorlu taşıt salımlarını öne çıkarmaktadır [25]. Bununla birlikte şehirlerde, özellikle doğal gazın yakıt olarak kullanıldığı yerlerde diğer bir önemli NO₂ kaynağı evsel ısınmadır [26]; ki, bu da doğal gaz kombilerini ve mutfak ocaklarını potansiyel bir kaynak haline getirmekte, yemek pişirmeyi evlerimizde önemli bir iç kaynak olarak ortaya çıkarmaktadır. İster doğal gaz ister LPG yakıt olarak kullanılsın, mutfağın işlevsel olarak kullanılması durumunda ve kombilerin iç ortamda bulunması durumunda NO₂ önemli bir iç kaynak olarak değerlendirilmektedir. Isınma için kömür sobası, bacalı/bacasız diğer fosil yakıtların kullanıldığı sobalar kullanılıyor olması durumunda konutta bir diğer önemli kaynak bulunmaktadır.

NO_x dış havada uçucu organik bileşikler ve güneş ışığının varlığında kimyasal tepkimelerde yer almakta troposferik ozon oluşumuna yol açmaktadır. İç mekanlarda ise hem gaz faz hem de yüzey tepkimelerinde yer almakta, hem ozon ile tepkimeye girmekte hem de ozonun başlattığı terpenler gibi organik bileşiklerin tepkimelerinde yer almakta dolayısıyla ikincil aerosol vd. ürünlerin oluşumunda rol oynamakta, yüzey tepkimelerinde de yer alarak nitröz asit (HONO) oluşumuna yol açmaktadır [27].

Güçlü salım kaynaklarının bulunması atmosferde genel itibarla her zaman karşılaşılan ve görece yüksek derişimlerde bulunan bir hava kirleticisi olarak değerlendirilmesine yön vermiş ve dış hava standartlarında yer verilmiştir. Bunun nedeni, sebep veya ilişkili olduğu sağlık etkileri hakkında geniş bir bilgi dağarcığının oluşmuş olmasıdır. Standart derişimler bu literatürün bir panel tarafından taranarak değerlendirilmesi yöntemiyle sebep oldukları kritik bir sağlık etkisi baz alınarak halk sağlığını korumak üzere yürürlüğe alınmaktadır. ABD'de USEPA belirli aralıklarla yeni üretilen bilgileri dikkate alarak mevcut değerlerde değişikliğe ihtiyaç olup olmadığını değerlendirmektedir. En son 2016 yılında yapılan tekrar değerlendirme sonucunda 1971 yılından beri uygulanmakta olan yıllık ortalama ve 2010 yılında uygulamaya alınmış olan saatlik ortalama standart değerlerde değişikliğe gitmemiştir [28]. Buna göre kısa süreli NO₂ maruziyeti ile solunum yolu etkileri arasında sebep-sonuç ilişkisi var olduğu değerlendirilirken uzun süreli maruziyet için bu etkiler muhtemel olarak nitelendirilmiştir. Kısa süreli maruziyet ile kardiyovasküler etkiler ve toplam mortalite arasında, uzun süreli maruziyet ile kardiyovasküler etkiler ve diyabet, doğum ile ilgili etkiler, toplam mortalite ve kanser arasında sebep-sonuç ilişkisi olabileceğine işaret eden bazı kanıtlar var olduğu ancak belirsizlikler sebebiyle yetersiz bulunduğu değerlendirilmiştir. NO₂ maruziyeti ile astım atağı tetiklenmesi arasında sebep-sonuç ilişkisi olduğu, kısa süreli maruziyet ile kronik obstruktif akciğer hastalığı (KOAH), solunum yolları enfeksiyonu, sağlıklı popülasyonlarda solunum yollarına etkiler, solunum yolları ile alakalı mortalite arasında da ilişki olduğu değerlendirilmiş olmakla birlikte bunun diğer trafik kaynaklı kirleticilerden ayrıştırılabilirliği açısından belirsizlik olduğu değerlendirilmiştir.

USEPA dış hava için saatlik ve yıllık ortalama sırasıyla 100 ppb (188 µg/m³) ve 53 ppb (100 µg/m³) değerlerini standart olarak uygulamaktadır.⁷ Ülkemizde ise saatlik ve 24 sa. ortalama standartları bulunmaktadır: 200 µg/m³ ve 40 µg/m³ [29]. DSÖ'nün 2010 yılında yayınladığı iç hava kalitesi rehber değerler raporu için seçilen kirleticiler arasında NO₂ yer almış ve saatlik ve yıllık ortalama sırasıyla 200 µg/m³ ve 40 µg/m³ değerleri belirtilmiş olmakla birlikte DSÖ günümüzde dış hava rehber değerlerinin iç hava için de geçerli olduğunu bildirmektedir: 24 sa. ve yıllık ortalama sırasıyla 25 µg/m³ ve 10 µg/m³ [30]; ki bu değerler epey düşük derişimler olup bu noktaya ulaşabilmek üzere öncelikle ara hedefler uygun bulmuştur: 24 sa. ort. için 40, 30 ve 20 µg/m³, yıllık ort. için 120 ve 50 µg/m³.

Kocaeli'nde 15 evin mutfak, oturma ve yatak odalarında ve evin dışında ölçülen ortalama düzeyler içeride 32-79 µg/m³ dışarıda 28-64 µg/m³ olarak bildirilmiştir [22]. İç havada yazın ölçülen değerlerin kışın ölçülenlerin %72-77'si düzeylerinde olduğu bildirilmiştir. Karakitsios vd. [1] tarafından yapılan derleme çalışmasına göre Avrupa'da konutların mutfak ve çeşitli odalarında yapılan ölçümlerde derişimlerin 1-46 µg/m³ aralığında olduğu ülkeleri temsil eden ortalama değerlerinde <10 µg/m³ (Danimarka-İsveç) ile 33 µg/m³ (Belçika) aralığında değişim gösterdiği bildirilmiş bu değerlerin de göğüs

⁷ <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

hastalıklarına yol açma düzeyinin %30'undan daha düşük olduğu hesaplanmıştır. NO₂, Logue vd. [3] tarafından yapılan değerlendirme sonucunda konutlar için incelenen 267 kirletici arasından seçilen 9 öncelikli kirletici arasında yer almıştır.

2.5. Ozon

İnsan aktiviteleri kaynaklı sebeplerle stratosferik ozon konsantrasyonunun azalması, halk arasında ozon deliği olarak adlandırılan olayın ortaya çıkmasına yol açmış, uzun süredir sürdürülen çabalarla durumun iyileştirilmesinde başarı elde edilmiştir. Atmosferin 15-30 km katmanında doğal olarak bulunan ve insan sağlığına zararlı güneş kaynaklı UV ışınlarını filtreleyen ozon, atmosferin içinde yaşadığımız yer tabakasında, yani troposferde ise istenmeyen bir gazdır. Bunun sebebi çok kuvvetli bir oksitleyici olması dolayısıyla canlılara ve malzemelere zarar vermesidir. Ozon troposferde güneş ışığındaki UV ışınlarının varlığında azotoksitler ve hidrokarbonların tepkimeleri sonucu, yani atmosferik kimyasal tepkimeler sonucu oluşur; ki bu sebeple ikincil bir kirleticidir, yani doğrudan bir kaynaktan salınmaz [24]. Troposferik ozon derişimlerinin yazın, azotoksitler ve hidrokarbonlar, şehir havasında trafik salımları sebebiyle, özellikle sabah ve akşam işe gidiş ve dönüş saatlerinde artar. Güneş ışınımının varlığı durumunda gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucu gün içinde ozon oluşumu sebebiyle konsantrasyonu yükselir. Ozon oluşumunun hava kütlelerinin hareketi sırasında devam etmesi sonucu şehirlerin rüzgar yönündeki yarı-kentsel ve kırsal alanlarında da bazı şartlara bağlı olarak yükselen derişimler görülmektedir. Bu sebeple, dış hava önemli bir O₃ kaynağı olmakla birlikte, reaksiyonlarda yer alabilecek bileşiklerin bulunduğu kendine has kirlilik kompozisyonu bulunan iç mekanlarda güneş ışınımı varlığında iç hava kimyası ozon oluşumuna yol açmaktadır [27]. İç ortamlarda ikincil ozon oluşumu önemli bir kaynak olmakla birlikte çeşitli iç kaynakları da bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri ozon jeneratörleri, fotokopi makinaları, yazıcılar ve ikincil ozon oluşumuna sebep olan cihazlar, örn. hava temizleme cihazları, olarak sayılabilir. Bu kaynaklardan konutlar ile ilişkilendirilebilecek olanları ozon jeneratörleri ve hava temizleme cihazlarıdır. COVID-19 salgını ile birlikte artmış olmakla birlikte, bunların ülkemizde yaygın olarak kullanıldıkları düşünülmemektedir. Bir iç kaynak bulunmaması yani ana ozon kaynağının dış hava olması durumunda iç hava derişimlerinin dış havanın % 30'u ila % 70'ine tekabül edeceği hesaplanmıştır; belirleyici değişkenlerin, iç hava kimyasal tepkimelerine ve yüzeylere bağlı olarak ozonun yok olma hızı ve havalandırma hızı olduğu bildirilmiştir [31]. Dış hava düzeylerinin belirleyicileri ozon öncülleri ve çevresel şartların (ışınım, sıcaklık, vb.) belirlediği troposferik kimyasal oluşum hızıdır. Doğal olarak bu yersel ve zaman ile kuvvetli değişkenlik göstereceğinden troposferik ozon derişimlerinde zamana bağlı (gün-içi, mevsimsel, yıllık) ve yersel kuvvetli değişkenlik görülmektedir. Salonen vd. [31] tarafından aktarıldığına göre iklim değişikliği dolayısıyla çevresel şartlarda değişim beklenmekte ve model sonuçlarına göre yer seviyesi ozon derişimlerinde artış olacağı tahmin edilmektedir.

Ozonun troposferde genellikle karşılaşılan ve görece yüksek derişimlerde bulunabilen bir hava kirleticisi olması dış hava standartlarında yer verilmesini sağlamıştır. Aynı zamanda, sebep veya ilişkili olduğu sağlık etkileri hakkında geniş bir bilgi dağarcığı da bulunmaktadır. Sınır değerler bu literatürün bir panel tarafından taranarak değerlendirilmesi yöntemiyle sebep oldukları kritik bir sağlık etkisi baz alınarak halk sağlığını korumak üzere yürürlüğe alınmaktadır. ABD'de USEPA belirli aralıklarla yeni üretilen bilgileri dikkate alarak mevcut değerlerde değişikliğe ihtiyaç olup olmadığını değerlendirmektedir. En son 2020 yılında yapılan değerlendirme tekrarı sonucunda ozonun sınır değerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu değerlendirmeye göre ozon, solunum yollarında iç yüzeyleri kaplayan sıvıdaki lipid, protein ve antioksidanlar ile tepkimeye girip ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumuna, dolayısıyla kısa süreli \square 70 ppb O₃ maruziyeti solunum fonksiyonunda azalmaya, inflamasyona ve çeşitli semptomlara yol açmaktadır [32]. Ek olarak epidemiyolojik çalışmalarda ozon derişimi ile astım alevlenmesi, KOAH alevlenmesi, solunum yolları enfeksiyonu ve tüm bunlar için hastane yatışı ile acil servis başvurusu arasında ilişki olduğu; uzun süreli maruziyet ile yeni astım başlangıcı, astımlı çocuklarda solunum semptomları ve mortalite arasında ilişki olduğu belirtilmiştir.

Ozon dış hava sınır/rehber değerleri ABD, Türkiye ve DSÖ tarafından 8 saatlik ortalama olarak sırasıyla 70 ppb (137 μ g/m³), 120 μ g/m³ ve 100 μ g/m³'tür. ABD'nin Kaliforniya eyaletinde ayrıca 1 saatlik ortalama 90 ppb (180 μ g/m³) sınır değeri de uygulamadadır. Kocaeli'nde 15 evin mutfak, oturma ve yatak odalarında ve evin dışında ölçülen ortalama düzeyler içeride hem yaz hem kış mevsiminde <10 μ g/m³ iken dışarıda yazın 37 μ g/m³, kışın 7 μ g/m³ olarak bildirilmiştir [22]. Yaz kış oranları ele alındığında içeride 1,5-2,2 aralığında dışarıda ise 8,5 olmuştur. Ozon, Logue vd. [3] tarafından yapılan

değerlendirme sonucunda konutlar için incelenen 267 kirlетici arasından seçilen 9 öncelikli kirlетici arasında yer almamıştır.

2.6. Radon

Bir dış hava kirlетicisi olarak sınıflandırılmamakla birlikte radon jeolojik formasyonlara bağlı olarak toprak kaynaklı doğal bir gaz olması sebebiyle binalara genel itibarla toprak ile temas halindeki yüzeylerden sızarak girmesi ve yeraltı sularında karşılaşılan bir kirlетici olması sebebiyle hakkında geniş bir literatür mevcuttur. Bir soy gaz olan radon renksiz ve kokusuz olup başka maddelerle tepkimeye girmez [25]. Ancak, gerek oluşumu gerekse yok olması Uranyum-238'den başlayıp Kurşun-210 ile son bulan radyoaktif parçalanma sırasında gerçekleşmektedir. Radyum-226'nin parçalanmasıyla oluşan radon (222) gazının yarılanma ömrü 3,8 gün olup, parçalanması sonucu sırasıyla polonium (218) kurşun (214), bizmut (214), polonium (214) ve kurşun (210) oluşmakta, ilk iki adımda alfa partikül ve gama ışını, sonraki iki adımda beta partikül ve gama ışını, son adımda da yine alfa partikül ve gama ışını salımı olmaktadır. Radondan sonraki ara ürünlerin yarı-ömürleri dakika ve saniye mertebesinde olup toplamı 50 dakikanın altında kalmaktadır. Kurşun (210) ise 19,4 yıl yarı ömre sahip olup son ürün olarak kurşun (206) oluşmaktadır. Radon parçalanma ürünleri elektrik yüklenmiş (alfa partikülleri pozitif yüklü ve ağır olup görece kısa süre içinde çöklerler) olduklarından havada uçuşan toz zerreciklerine (partiküllere) ve diğer yüzeylere tutunarak havadan uzaklaşırlar (plate-out mekanizması).

Kaynağı toprak olması sebebiyle genel itibarla bina içinde negatif basınç veya bina çevresinde toprağa uygulanmakta olan basıncın artmasına sebep olan durumlar (ısıtma (baca etkisi), şiddetli yağmurlar yağması, kuvvetli rüzgarlar, kuraklık) topraktan içeriye radon taşınımını hızlandırmakta iç hava derişimlerinin yükselmesi ile sonuçlanmaktadır. Konutta kontamine yeraltı suyu kullanımı radon gazının sudan havaya geçmesine yol açmakta iç hava derişiminde artışa sebep olabilmektedir.

Radonun kaynağı olan radyum, uranyum zengin, fosfat kayaçlarının, granit, gnays ve şist gibi metamorfik minerallerin ve daha az oranda kireçtaşı gibi yaygın minerallerin olduğu yerlerde bulunabilmektedir. Dolayısıyla, radon jeolojiye bağlı yersel değişkenliğin yüksek olduğu bölgesel bir kirlетicidir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) konutlardaki iç hava düzeylerini ülke çapında (81 il, 153 yerleşim birimi, toplam 7293 evin yatak ve oturma odalarında) incelemiş, tehdidin yüksek olduğu yerleri belirlemiştir [33]. Dünya aritmetik ortalaması 40 Bq/m³, ülkemiz için aritmetik ve geometrik ortalama değerleri 81 ve 57 Bq/m³ olarak belirlendiği bildirilmiştir. İl bazında derişimler Çanakkale ve Isparta için ~165 Bq/m³ ile Giresun (Şebinkarahisar) için 312 Bq/m³ Edirne, Nevşehir, Mardin, Ardahan illerinde çeşitli yerlerde yüksek bulunmuştur. Bazı deprem bölgelerinde şiddetli depremler sonrasında derişimlerde yükseliş belirlenmiştir. Yersel değişkenliğe ek olarak mevsimsel değişiklik de görülmektedir. Kış döneminde ölçülen ortalama değer (93 Bq/m³) yaz dönemi ortalamasına (65 Bq/m³) göre %43 daha büyüktür. Raporda sunulan değerlendirmeye göre evlerin % 20,7'si (1509 ev) DSÖ rehber değeri olan 100 Bq/m³, % 7.2'si (525 ev) 200 Bq/m³, % 1'i (75 ev) ise TAEK Radyasyon Güvenliği Yönetmeliğinde radon için izin verilen yıllık ortalama derişim değeri olan 400 Bq/m³ değerinin üzerinde kalmıştır [33].

Gerek dünya çapında (DSÖ verilerine göre) gerekse ülkemizde (Sağlık Bakanlığı verilerine göre) akciğer kanserinin başat sebepleri arasında radon maruziyeti kaynaklı kanserler tütün takiben ikinci sırada gelmekte olup ülkemizdeki akciğer kanserlerinin %3-15'i ve yıllık >2300 ölüm radon ile ilişkilidir [34-35]. Uzun süreli ortalama radon derişimindeki her 100 Bq/m³ artış akciğer kanseri riskinde % 16 oranında artış ile sonuçlanmakta iken riskin tütün kullananlarda 25 kat yüksek olduğu bildirilmiştir [34]. Ancak, bu durum tütün kullananlar ile sınırlı olmayıp radonun bulunduğu iç ortamlarda ikincil tütün dumanına veya benzer PM maruziyeti bulunanlarda, radyoaktif parçalanma sırasında salınan parçacıklarının PM'ye tutunması ve solunum yollarında çökelmeleri sonrasında gama ışımalarının devam etmesi sebebiyle daha yüksek olduğu bilinmektedir [25]. Dolayısıyla, konutun bulunduğu yere göre radon iç hava derişimleri yüksek olabilmekte konut sakinlerinin alışkanlık ve davranış biçimlerine göre de maruziyetler çok ciddi sağlık riskleri oluşturabilmektedir.

3. ORGANİK GAZ KİRLETİCİLER

Organik bileşikler buhar basınçları veya kaynama noktalarına göre sınıflandırılabilirler. Bunlardan ikincisi esas alınırsa genel tabirle oda sıcaklıklarında buharlaşan bileşikler Uçucu Organik Bileşikler (UOB) grubu olarak sınıflandırılmaktadır. Genelgeçer sınıflandırma [25] organik bileşikleri dört gruba ayırmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Organik bileşiklerin kaynama sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

Bileşik Grubu	Kaynama Sıcaklığı Aralığı (°C)	
Çok Uçucu Organik Bileşikler	<0	50–100
Uçucu Organik Bileşikler	50–100	240–260
Yarı Uçucu Organik Bileşikler	240–260	380–400
Katı Organik Maddeler	>380	

Bu bölümün alt başlıkları altında iç hava kalitesi baz alındığında en sık ve ciddi seviyelerde karşılaşılan UOB, aldehitler ve Yarı Uçucu Organik Bileşikler (YUOB) ele alınacaktır. Aldehitler de esasen UOB olmakla birlikte bazı özellikleri, kaynakları, örnekleme/ölçme yöntemleri vb. açılarından farklılıklar sebebiyle ayrılmaktadır. Sadece UOB olarak sınıflanan yüzlerce bileşikten bahsedilebilir.

3.1. Uçucu Organik Bileşikler

Dış hava için ana kaynakları yanma, özellikle motorlu araç egzozları, endüstri ve araba tamircileri, marangozhaneler, vb. birçok küçük sanayi işletmeleri ve depolarından kaçak salımlar olarak belirtilebilir. Endüstriyel kaçak salımlar için rafineriler, ham petrol işleyerek tümü UOB'den oluşan veya içeren çeşitli rafinelikte ürün ve yakıtlar üretmeleri sebebiyle spesifik endüstriyel kaynak olarak örnek verilebilir. Sonuç olarak, dış hava için tekil büyük kaynaklar yanında çok sayıda küçük kaynakları da bulunur; ki, bu sebeple dış havada sıklıkla karşılaşırlar. İç mekanlar için ise rafinerilerde üretilen ürünlerin, yani solventler vb. kimyasal ürünlerin ve kullanıldığı iç hava ile ilişkili her türlü malzeme ve ürün birer kaynaktır. Bunlar arasında bina malzeme ve ürünleri, mefruşat, elektrikli cihazlar, temizlik ve kişisel bakım ürünleri, hobi malzemeleri vs. çok sayıda malzeme/ürün sınıfı sayılabilir. Ek olarak, iç yanma kaynakları (örn., mutfak ocakları ve yakıtlı su ve oda ısıtıcıları, tütün kullanımı, mum, tütsü vb.), kimyasal dezenfekte edilmiş çeşme suyu, iç hava kimyasal tepkimeleri gibi diğer önemli kaynaklar da sayılabilir. Sonuç olarak, iç ortamlarda da mutlaka karşılaşılan çok çeşitli kaynakları bulunmaktadır. Bu durum, UOB'leri iç hava için yaygın kirleticiler haline getirmekte, kaynak çeşitliliği sebebiyle derişim profili (hangi bileşiklerin yüksek hangilerinin düşük derişimlerde bulunduğu, kompozisyon) kaynak şiddetine ve diğer etkili değişkenlere göre ortaya çıkmakta olup geniş bir değişkenlik söz konusu olduğu vurgulanabilir.

Hem dış hem de iç hava da sıklıkla karşılaşılan ve ölçülen benzen, toluen, ksilen ve etilbenzen (BTEX) gibi UOB bulunmaktadır. Bununla birlikte bu bileşiklerin derişimleri kaynak şiddetlerine bağlı olarak içeride veya dışarıda daha yüksek olabilir. Diğer taraftan, kloroform, karbon tetraklorür, p-dikloro benzen gibi sadece kuvvetli iç kaynakları olan bileşiklerde vardır. Gelişmiş ülkelerde yapılmış çok sayıda çalışma ile evlerde UOB karakterizasyonu yapılmıştır. Bu ülkeler, ABD, Avrupa ülkeleri, Avustralya ve Singapur olarak sıralanabilir. Son zamanlarda Çin de aralarına katılmıştır. Karakitsios ve arkadaşlarının [1] Avrupa ülkelerinde yapılmış araştırmaları derledikleri çalışmasına göre mg/m³ düzeyine ulaşan BTEX derişimleri ölçüldüğü ancak genel itibarla 100 µg/m³ düzeyinin altında oldukları, toplam UOB (TUOB) dikkate alındığında ise >3 mg/m³ düzeylerinin ölçülmüş olduğu bildirilmiştir. Logue vd. [3] 2011 yılında literatürde bildirilen konstrasyon düzeylerini sağlık temelli sınır değerlerle karşılaştırmak yoluyla yaptıkları tehlikelilik değerlendirmesinde 267 kirleticiyi inceleyip bunlardan 15'inin konutların çoğunluğunda karşılaşılan olduğunu belirlemiş ve bunlardan 9'unun Amerikan konutları için öncelik olarak değerlendirilmişlerdir. Bu 9 kirleticinin 4'ü UOB grubundadır (benzen, 1,3-butadien, 1,4-diklorobenzen ve naftalin). Onuncu sıradaki karbontetraklorür de bir UOB'dir fakat iç kaynakları bulunmadığı değerlendirilerek öncelikli kirleticiler listesine alınmamıştır. Halbuki, Odabasi [11] ve Odabasi vd. [12] ev temizlik ürünlerinde dezenfektan özelliği sebebiyle klorlu ağartıcı bulunması halinde üründe bulunabilecek yüzey aktif maddeler, kokular ve uygulandıktan sonra temas ettiği diğer organik maddeler ile tepkimeye girmesi sonucu kloroform ve karbontetraklorür oluştuğunu ve iç havada yüksek ve sağlık riski (her iki bileşik de birer kanserojendir) yaratacak konstrasyonlara ulaşabildiğini

göstermiştir. Bu tür ürünlerin yaygın olarak evlerde kullanıldığını tahmin edilebilir; ki bu durumun, COVID-19 ile beraber daha da yaygınlaşmış ve sıklaşmış olduğu, özellikle ülkemiz için söylenebilir. Bu ürünlerin temizlik sırasında olmak üzere kesikli kullanımı dolayısıyla iç havaya kesikli salımı söz konusudur. Sürekli kullanımda olan sifon içine konulan veya klozete asılan ev temizlik ürünleri de bulunmaktadır. Bu kullanımdan dolayı her iki kirleticinin iç havaya sürekli salımı olabilmekte, ürüne bağlı olarak büyük değişkenlik göstermektedir [36]. Bu sebeple karbontetraklorürün bir konut iç hava kirleticisi olarak dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Diğer bileşiğin (kloroform) iç havaya salım miktarı karbon tetraklorüre göre daha yüksektir. Ancak, kloroformun konutlarda başat kaynağı klorlanmış şebeke suyudur. Suyun kişisel ve evsel temizlik işlemleri sırasında hava salınmakta, özellikle de su sıcaklığının yüksek olması ve ek olarak duş başlığı gibi spreyleme söz konusu ise iç havaya salım miktarı yükselmektedir [37]. Kloroform, Logue vd. [3] tarafından bazı (%5-50) konutlarda karşılaşılan yüksek kronik tehlike oluşturan 6 kirleticilik listedeki 4 UOB'den birisidir.

Ülkemizde yapılmış az sayıda çalışmadan, Demirel vd. [38] tarafından Eskişehir'deki 50 konutta ölçülen BTEX ortalama derişimleri, büyükten küçüğe toluene ($<27 \mu\text{g}/\text{m}^3$), benzen ($<3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ksilen ($<2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ve etilbenzen ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) şeklinde, Çanakkale'de (121 konut) ortanca TUOB derişimleri $1,1-1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerinde [39], Ankara'da iki evden birinde düşük (TUOB $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) diğesinde yüksek ($862 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bulunmuş olup yüksek olan evde BTEX'in TUOB içindeki oranı % 6 civarındadır [40]. Odabasi ve arkadaşlarının [12] modelleme yoluyla hesapladıkları banyo, mutfak ve koridor kloroform ve karbontetraklorür iç hava derişimlerinin klorlu ağartıcı içeren temizlik ürününün yüzey aktif madde de içermesi durumunda banyoda sırasıyla 100 ve $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ düzeyini aştığı bulunmuştur. Literatürde, benzer şekilde spesifik aktiviteler sırasında bazı UOB'in, dolayısıyla TUOB düzeyinin episodik olarak yükseldiği bilinmektedir. Örneğin bu faaliyetlerden birisi yemek pişirme, özellikle kızartma yapmaktır [41].

Dünyada uygulanmakta olan sınır ve rehber değerler yakın bir zamanda Arı [42] tarafından bir araya getirilmiştir. Konutlar için sınır/rehber değerler TUOB için $300-600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, benzen için $0-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $200-3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$, toluen için $75-37000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, trikloroetilen için $0,2-2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tetrakloroetilen $2-250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $100-22000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında değişmektedir. Değişkenliğin bir kısmı ülkelerarası farklılıklardan bir kısmı da ortalama süresi (1 saatlikten yıllık ortalamaya) farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

3.2. Aldehitler

Aldehitler iç havada yaygın olarak karşılaşılan uçucu organik bileşiklerdir. Sıklıkla ve yüksek derişimlerde karşılaşılanlar asetaldehit ve formaldehit, bunları takiben de akrolein, glutaraldehit, krotonaldehit, benzaldehit sayılabilir. En önemli özelliklerinden biri suda çözünürlüklerinin yüksek olmasıdır: Formaldehit 560 g/l, akrolein 210 g/l, asetaldehit 200 g/l, krotonaldehit 181 g/l [25]. Dolayısıyla nefes ile alındıklarında solunum yollarında mukozada kolayca çözünürler. Ek önemli özellikleri ise tahriş edici olmalarıdır; ki, bazıları deride de etkili olabilmektedir. Bu özellik diğere aldehitlere göre akrolein formaldehit ve krotonaldehit için yaklaşık 10 ila 1000 kat daha yüksektir [25]. Tüm bu özellikler dikkate alındığında (1) yaygın olarak, (2) yüksek derişimlerde karşılaşılan, (3) çözünürlüğü ve (4) tahriş ediciliği yüksek bileşik olarak formaldehit öne çıkmaktadır. Formaldehit, ek olarak bilinen bir kanserojendir ve kronik-toksik etkileri vardır.

Formaldehitin yukarıda listelenen ilk iki özelliğinin sebebi dünyada en çok kullanılan kimyasallar arasında olması ve uzun süredir devam eden azaltma çabalarına rağmen iç mekanlarda bulunan malzeme ve ürünlerde kullanılıyor olmasıdır. Örneğin, ağaç ürünlerinde kullanılan yapıştırıcılarda, reçinelerinde bulunabilirler. Dolayısıyla, yapıştırıcı yoğun sunta, fiber plakalar (MDF, HDF), izolasyon ürünler vb. ürünler iç ortamlarda önemli bir kaynak oluşturur. İç hava için bir diğere önemli kaynak da organik maddelerin termal oksidasyonu sonucu kimyasal oluşumdur. Egzoz gazlarında, sigara dumanında, ısıtıcı dumanlarında ve odun ateşi dumanında bulunur. Ayrıca, fotokimyasal olarak ve hidrokarbon temizlenmesi (scavenging) süreçleri sonucunda atmosferde ve kimyasal tepkimeleri sonucu iç havada oluşur.

İç hava derişimleri açısından uzun süredir geniş bir uluslararası literatür oluşmuştur. Dış havaya göre iç hava derişimleri ortalama 10 kat daha yüksektir. Yukarıda belirtilen ürünlerin kullanım oranının yüksek olması sebebiyle modüler prefabrik evlerde daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür. Binalar yeni iken derişimler yüksek olup yaşlandıkça düşer. Hızlı düşüş ilk iki yıl içinde gerçekleşir. Sigara, odun vs. dumani, kızartma yapmak önemli iç hava aldehit kaynaklarındandır. Kızartma sırasında oluşacak salım

profili, kullanılan yağa, kızartılan gıdaya, kızartma sıcaklığına vd. göre değişkenlik gösterir. Bununla birlikte asetaldehit ana bileşik olarak düşünülebilir, formaldehit de salınmaktadır [41]. Logue vd. [3] tarafından öncelikli olarak sınıflandırılan dokuz kirleticinin üçü aldehittir: akrolein, asetaldehit ve formaldehit. Formaldehit ayrıca aktivite tabanlı akut risk oluşturan öncelikli beş kirleticisi arasında da yer bulmuştur. Karakitsios vd. [1] derlemesine göre konutlarda en sıklıkla formaldehit, asetaldehit, pentanal ve hekzanal ölçülmüş olup derişimler genel itibarla Logue vd. [3] derlemesinde de belirtildiği gibi 1-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında yer almaktadır. Formaldehit ve asetaldehit için hesaplanan kanser riski Avrupa'da 1/100.000 değerinin üzerinde hesaplanmıştır. Menteşe ve Güllü'nün [43] Ankara'da 25 evde yaptığı ölçümler sonucunda aritmetik ve geometrik ortalama değerleri 109 ve 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak bulunmuş, 862 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en yüksek değeri sigara içilen bir evde tespit edilmiştir.

Dünyada akrolein ve formaldehit için uygulanmakta olan sınır ve rehber değerler yakın bir zamanda sırasıyla Arı [42] ve Menteşe [44] tarafından bir araya getirilmiştir. Akroleinin evler için uzun zaman ortalaması (örn. yıllık) sınır değeri Fransa, Kanada ve ABD'de Kaliforniya eyaletinde 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken kısa süreli ortalama sınır değeri bir tek Kaliforniya'da bulunmaktadır: 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 saat) ve 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 saat). Formaldehit için ise çok daha fazla ülkede sınır değeri bulunmakta olup kısa süreli ortalama (30 dk., 1 sa. ve 8 sa.) 50-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında, yıllık ortalama sınır değerler ise İngiltere ve ABD, Kaliforniya'da sırasıyla 10 ve 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür. DSÖ rehber değeri 30 dk. ortalama 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

3.3. Yarı-Uçucu Organik Bileşikler

Yarı uçucu organik bileşikler (YUOB) havada hem gaz, organik maddelere afiniteleri sebebiyle hem de katı fazda, yani partikül maddeye soğurulmuş halde bulunabilirler. Ek olarak, çökelmiş toz ve yüzeylere de dağılırlar. Cam gibi organik madde içermeyen yüzeylere dahi üzerinde oluşan organik madde içeren film tabakası dolayısıyla dağılırlar. Bu çeşitli kompartmanlara dağılım oranları hava sıcaklığı gibi çevresel faktörler ve çeşitli fizikokimyasal özelliklerine göre değişkenlik gösterir. YUOB arasında solventler, alkenler, aldehit ve asitler, pestisitler, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), çok sayıda organohalojenler ve daha birçok bileşik grubu; örneğin poliklorlu bifeniller (PCB), poliklorlu difenillerler (PBDE), organofosfor esterleri (OPE), plastikleştiriciler (örn. ftalat esterleri) bulunmaktadır. Fizikokimyasal özelliklerinden dolayı alev geciktirici, izolasyon, plastikleştirici gibi görevlerle bina malzeme ve mefruşat ürünlerinde, elektrikli cihazlarda bulunurlar, haşerata karşı pestisitlerde kullanılmışlardır. PAH ise bir eksik yanma ürünü olup içeride bir kaynağı bulunmadığı sürece kaynağı dış hava olarak düşünülebilir. Hakkında çalışmaların en erken başladığı PAH, organoklorlu pestisitler, örneğin DDT, ve özellikle trafolar ve elektrikli cihazlarda kullanılmış olan PCB gibi bazı gruplar için epey bilgi üretilmiş olup literatür geniş olmakla birlikte çoğunluk için henüz geniş bir literatür, özellikle sağlık etkilerine yönelik toksikolojik ve epidemiyolojik bilgi birikimi kısıtlıdır.

Örnekleme ve analiz yöntemlerinin meşakkatliliği ve pahalılığı sebebiyle gaz ve PM fazlarında yaygın olarak ölçülmemişlerdir. Bu durum, bilim insanlarını ev tozunda çalışmaya yöneltmiştir. Ev tozu YUOB için çevresel şartlara bağlı olarak geçici bir depolama kompartmanı olarak düşünülebilir. İç hava derişimlerinin başka kaynaklar dolayısıyla yükselmesi ev tozunda depolanma yönünde bir akıya yol açarken iç hava derişimleri düştüğünde veya sıcaklık yükseldiğinde akı geri havaya geçiş yönüne döner. Böylece, hem depo hem de kaynak olarak hareket etmiş olur. Zaman içinde birikim dolayısıyla ev tozu YUOB derişimleri yükseldiğinden analitik olarak düzey belirlemek de nispeten kolay olmaktadır. Lioy vd. [45] tarafından yapılan derlemeye göre ev tozu derişimi 0,1 – 99 g/m^2 arasında değişkenlik göstermiştir.

Çok sayıda farklı yapıda bileşik grubunun YUOB olarak sınıflandırıldığı düşünülürse sağlık etkilerinin de geniş bir aralıkta değişkenlik göstereceğini tahmin etmek zor değildir. Bu etkiler arasında kanser, hormon tetikleme ve birçok kronik toksik etki ilk akla gelenlerdir. Ancak, iç hava derişimlerinin düşük olması sebebiyle ve henüz çoğu grup için yeterince literatür oluşturulamamış olduğundan bazıları hariç uygulamada olan sınır değeri bulmak mümkün olmamıştır. İlgili literatür yakın bir zamanda PAH, PCB ve bromlu alev geciktiriciler için Dumanoglu [46-48] ve OPE ve ftalat esterleri için Civan [49-50] tarafından değerlendirilmiş, uygulamadaki sınır/rehber değerler bir araya getirilmiştir. Literatürün PAH haricinde yetersizliği ve uygulamada sınır değeri kısıtlılığı vurgulanarak okullar için herhangi bir sınır değeri önerisi yapılamamıştır. PAH için dış havada AB ve ülkemizde uygulanmakta olan temsili bileşik olarak PM_{10} 'da benzo-a-piren için yıllık ortalama 1 ng/m^3 sınır değerinin mevcut durumda yeterince koruyucu olduğu değerlendirilmiştir.

Dolayısıyla, konut yapımında kullanılan bina malzeme ve ürünlerin ve mefruşatta kullanılan malzeme ve ürünlerin hukukten düzenlenmesi yanında ev tozunun iç hava gaz ve PM YUOB ile ilişkili olduğu değerlendirilirse, bileşiklere değil toz derişimine (birim alanda bulunabilecek toz kütlesine, örn. mg/m²) bir sınır değer getirilerek yer ve diğer yüzeylerin temiz tutulmasının sağlanması YUOB maruziyetini azaltmak açısından fayda sağlayacaktır. Ev tozunun bebek ve çocuk sağlığı açısından ayrı bir önemi bulunmaktadır. Bunun sebebi, yerde oyun oynayarak vb. geçirdikleri sürenin üst yaş gruplarına göre daha uzun olması ve ellerini ağızlarını götürme davranışlarıdır. Bu durum, ev tozundaki kirliliğe kazara yutma / ağızdan alım yoluyla maruziyetlerinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. YUOB'e ek olarak ev tozundaki diğer bir kirlenici grubu toksik elementlerdir. Bunlardan akla ilk geleni zamanında boyalarda kullanımı dolayısıyla boyanmış duvarlardan ev tozuna karışan parçacıklara maruz kalınmasıyla önemli düzeyde alımının belirlenmiş olduğu kurşundur [25]. Aynı durum dışarıda geçirilen vakit için de makul olup üzerinde vakit geçirilen toprak veya diğer zeminlerdeki çökelmiş tozdaki kontaminasyonun kurşun ve diğer kirlenicilere maruziyette belirleyici katkısı olabilir [51]. Benzinli araç yakıtlarında kurşunun katkı maddesi olarak kullanımının bırakılması sonrasında dış hava PM kurşun derişimlerini örnekleme/ölçüm noktasına yakın termik santral veya endüstriyel tesis gibi kuvvetli nokta kaynak olup olmaması belirler hale gelmiştir. Sonuç olarak, toz derişimine bir sınır değer getirilerek yer ve diğer yüzeylerin temiz tutulmasının sağlanması özellikle bebek ve çocukların YUOB yanında toksik elementlere maruziyetlerini fevkalade azaltılmasını sağlayabilir. Nitekim, USEPA 1978'den önce inşa edilmiş, kreş ve anaokulu gibi bebek ve çocukların uzun zaman geçirdikleri kısımları olan binalarda uygulanmak üzere ev tozunda bulunabilecek kurşun sınır değerini 2019 yılında yer tozu için 430 µg/m²'den 107 µg/m²'ye, pencere pervazlarında ise 2700 µg/m²'den 1070 µg/m²'ye düşürmüştü, 2023 yılında ise bu değerlerden de laboratuvarında analitik olarak ölçülebilecek en düşük düzey şeklinde revize etmeyi önermiştir⁸. ABD'de düzenlemeler sınır değer üzerinde kontaminasyon söz konusu ise yer ve pervaz için sırasıyla 32 µg/m² ve 215 µg/m²'ye indirmek üzere binada iyileştirme yapılmasını gerektirmektedir.

4. PARTİKÜL MADDE

Partikül madde (PM), kaynağı ve oluşum mekanizmasına bağlı olarak farklı boyutlar ve içerikte, havada uzun süreler asılı kalabilen, uçuşan parçacıklardır. Aerodinamik çapları esas alınarak PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, UFP olarak gruplandırılmaktadırlar. Çapı 10–2,5 µm arası kaba, 2,5–0,1 µm arası ince, <0,1 µm ise ultra ince partiküller olarak sınıflandırılırken, <1 µm olanlar da mikron-altı partiküller olarak isimlendirilmektedir. Kaba PM büyük oranda üst solunum yollarında çökelirken, ince PM büyük oranda alveollere kadar ulaşabilmektedir. Mikron-altı PM, tamamının alveollere kadar ulaşabiliyor olması sebebiyle maruziyet açısından en önemli sınıf olarak düşünülebilir. Çökelmiş toz ise iç ortamlarda göreceli daha hareketsiz bir havada bulunmaları sebebiyle çöken PM'den ve insanların ayakkabıları ile üstleri gibi çeşitli yollarla içeriye taşınan toz parçacıklarından oluşmaktadır. PM fiziksel farklılıkların yanı sıra kimyasal yapıları ve içerikleri bakımından değişkenlik gösterirler. PM'nin genel kimyasal bileşenleri arasında sülfatlar, nitratlar, amonyum, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve klorür iyonları gibi inorganik iyonlar, iz elementler (kadmiyum, bakır, nikel, vanadyum, çinko, vs.), partiküle bağlanmış su, organik kimyasallar (PAH, PCB, PBDE vd. YUOB), elementel karbon, alerjenler ve mikrobiyal yapılar ve bileşikler gibi birçok madde bulunabilir [52-53]. Sonuç olarak, kendisi bir kirlenici olan PM aynı zamanda bir kirlenici taşıyıcısı/deposu olarak da işlev görmektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından bir kanserojen olarak sınıflanmış olan PM'nin birçok kronik-toksik sağlık etkileri de bulunmaktadır [54]. Bu etkiler arasında akciğer fonksiyonlarında azalma ve nefes darlığı, astım, rinit, sinüzit, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), kardiyovasküler hastalıklar (inme, kalp krizi ve konjestif kalp yetmezliği), ve depresyon gibi zihinsel hastalıklar sayılabilir [52-57].

PM için önceki bölümlerde ele alınan diğer yanma kaynaklı kirleniciler gibi tütün dumanı, yemek pişirme, ısınma, mum-tütsü yakma gibi kaynaklara ek olarak yere çökelmiş tozların yürüme, süpürme, temizlik, vb. çeşitli aktiviteler sonucu havalanması, kimyasal tepkimeler sonucu ikincil aerosol oluşumu ana iç kaynaklar olarak sıralanabilir. Dış hava da ana kaynaklardan birisidir. Kaynağa bağlı olarak partiküllerin boyutları, yapılarındaki ve taşıdıkları kimyasallar farklılık göstermektedir. Atmosferde ve iç ortamlarda geniş boyut aralıklarında PM ile karşılaşılmakta olduğundan temsil edilebilmeleri için partikül boyut dağılımları kullanılmakta, tanımlayıcı parametreler olarak da boyut dağılımının ortalama ve standart sapması kullanılmaktadır.

⁸ Federal Register, 88 FR 50444

Hava kalitesi standart değerleri olması sebebiyle literatürde büyük çoğunlukla PM_{2,5} ve PM₁₀ incelenmiştir. Logue vd. [3], konutlarda çoğunlukla tespit edilen 15 kirletici arasından belirledikleri 9 öncelikli kirletici listesinde PM_{2,5} da bulunmaktadır. Ilacqua vd. [4] konut PM üzerine yaptıkları derleme çalışmasında dünya genelinde 1990-2019 yıllarında arasında 21.200 evde yapılan yaklaşık 2000 set ölçüm sonucunu bildiren makaleleri incelediklerini, çalışmaların gelişmişlik ile ilgili olarak bölgesel yoğunlaşması sebebiyle iklim ve iç ortam benzerliklerini dikkate alarak değerlendirmelerini Kuzey Amerika, Batı Avrupa ve Doğu Asya şeklinde üç grup halinde sunduklarını bildirmişlerdir. Amerika ve Avrupa'da ölçülen düzeylerin Asya'ya göre daha dar bir aralıkta olduğunu, iç katı yakıt kullanımı söz konusu olmasa bile ölçülen en yüksek değerlerin hem PM_{2,5} hem PM₁₀ için mg/m³ düzeyine çıkılabildiğini gösterdiğini, PM_{2,5} derişimlerinin Amerika ve Avrupa'da düşme eğiliminde (sırasıyla yılda 0,3 ve 0,9 µg/m³), PM₁₀ derişimlerinin ise Amerika yılda 1,0 µg/m³ ile dikkate değer bir hızda azaldığını görmüşler, olası sebeplerini iç mekan tütün kullanımının ve dış hava düzeylerinin azalması olarak kestirmişlerdir. Derişim frekans dağılımları tek modlu, sağa-kayık olup dağılımların modal değerleri Amerika ve Avrupa'da kaba partiküller (PM_{2,5-10}) için 5–10 µg/m³, ince partiküller (PM_{2,5}) için 5–30 µg/m³, mikronaltı partiküller (PM₁) için 0–25 µg/m³, ve ultra ince partiküller (PM_{0.1}) için 5.000–20.000 adet/cm³ arasında hesaplanmıştır. Amerika ve Avrupa'da PM₁₀ dağılımları çift modlu görülmüş olup modal değerler sırasıyla 15–25 µg/m³ ve 50–60 µg/m³ olarak bildirilmiştir. Bu bulgulardan yapılan çıkarım Kuzey Amerika ve Batı Avrupa konut iç hava PM düzeyleri görülme sıklıklarının benzer olduğu, farklılıkların dağılımların kuyruk kısımlarında (yani outlier/ekstrem değerlerde) görüldüğü şeklindedir. Doğu Asya'da ise dağılımların diğer bölgelere göre bir mod belirleyebilecek şekilde bile olmadığı, genel daha yüksek düzeyler görüldüğü, yani yer-zaman değişkenliğinin yüksek olduğunu gösterdiği bildirilmiştir. Liu vd. [5] yukarıda özetlenen derleme ile aynı yılda yayınlanan derlemelerinde 2000-2020 arasında yayınlanmış konutların oturma odalarında PM_{2,5} düzeylerini ele almışlar, çalışmaların çoğunluğunun Avrupa ve Asya'da, azınlığının Kuzey Amerika ve Afrika'da yapılmış olduğunu bildirmişler, en düşük ve en yüksek ortalama derişimlerin Kuzey Amerika (17,3 µg/m³) ve Asya'ya (68,6 µg/m³) ait olduğunu hesaplamışlardır. Avrupa'da ortalamasının Kuzey Amerika'ya, Afrika ortalamasının Asya'ya benzer olduğu söylenebilir. Konut iç havasında PM_{2,5} düzeylerini belirleyen ana değişkenlerin tütün dumanı ve yemek pişirme olduğu, havalandırma tipinin takip ettiği sonucu çıkarılmıştır. Tütün dumanı bulunan evlerin ortalama derişimi (36,7 µg/m³) bulunmayanlara (15 µg/m³) göre 2,5 kat yüksek bulunmuştur. Pişirilen yemeğe ve yöntemine bağlı olarak derişimler sadece mutfakta değil oturma odasında da yükselmekte olup Kore'de üretilen verilere göre bir çalışmada arka plana (15 µg/m³) göre 25 kata kadar yükselmeye sebep olduğunu, iki ayrı çalışmada ise 1.000 µg/m³ düzeyini aşan derişimler görüldüğü aktarılmıştır. Havalandırma tipine göre sınıflama sonucunda mekanik havalandırma ve sadece hava şartlandırma kullanılan evlerde düzeylerin doğal havalandırmalı evlere göre düşük olduğu belirlenmiştir. İklima partiküllerin filtrelenmesi, ikincisinde ise dış hava girişinin kısıtlanması düşüşü sağlamaktadır. İklima kullanımı sonucu günlük ortalama derişimin % 28–60, en yüksek derişimlerin ortalamasının ise % 48–62 azaldığı bildirilmiştir. Bu durumda, epidosik kirli hava durumu periyotlarında iklim ile termal konfor sağlanan konutlarda, yani iç havanın sürekli çevrilerek dış hava girişinin olmadığı durumlarda, dış hava kirliliğinden de koruma sağladığı çıkarımı yapılabilir. Yine aynı yıl (2022) yayınlanmış, ilk yazarın yine Liu olduğu bir diğer derleme [58] 2000-2021 yayınlanmış kentsel konutlarda kişisel PM_{2,5} maruziyeti ele almışlar, PM_{2,5} derişimlerini belirleyen faktörler hakkında benzer genel sonuçlar üretmişlerdir. Pekey vd. [59] Kocaeli'nde 15 evde yaptıkları çalışmada PM_{2,5} ve PM₁₀ ortalama derişimleri sırasıyla 27 ve 51 µg/m³ bulunmuştur. Çanakkale ve ilçelerinde 121 evin oturma odalarında Mentese vd. [60] tarafından 0,3-10 µm arasındaki partiküllerin izlendiği çalışmada ortanca değer 10 ile 300 partikül/cm³, aralığın da 10 - 10³ partikül/cm³ görüldüğü bildirilmiştir.

Dünyada PM için uygulanmakta olan sınır ve rehber değerler yakın bir zamanda Onat ve Alver Şahin [61] tarafından bir araya getirilmiştir. Genel itibarla yıllık ve 24-saatlik ortalama sınır değerler bulunmakadır. PM_{2,5} için yıllık ortalama sınır değerleri DSÖ'nün 5 µg/m³'lük rehber değeri ile AB'nin 25 µg/m³ arasında (USEPA 12 µg/m³), 24 saatlik ortalama için AB'de sınır değer bulunmamakta, DSÖ'nün rehber değeri 15 µg/m³, USEPA'nın sınır değeri 35 µg/m³'tür. Ülkemizde PM_{2,5} için sınır değer bulunmamaktadır. PM₁₀ için yıllık ortalama sınır değerleri DSÖ'nün 15 µg/m³'lük rehber değeri ile USEPA'nın 150 µg/m³ arasında (AB 40 µg/m³), 24 saatlik ortalama için USEPA'da sınır değer bulunmamakta, DSÖ'nün rehber değeri 45 µg/m³, AB'nin sınır değeri 50 µg/m³'tür. Ülkemizde AB sınır değerleri uygulanmaktadır.

5. BİYOLOJİK KIRLETİCİLER

İç mekanlarda bulunabilen canlı ve cansız organizmaların kendileri, parça(cık)ları, dışkıları, ürettikleri sporlar, metabolitler ve toksinler gibi iç hava kirletici unsurları biyolojik kirleticiler olarak sınıflanabilir. Bunların bir kısmı katı zerrelerdir; ki boyutlarının küçüklüğü sebebiyle havada asılı kalabilirler ve havada mevcut PM'nin üzerinde bulunabilirler, dolayısıyla biyoaerosoller olarak isimlendirilirler. Biyoaerosollerin iç havada PM'e katkısı bir çok faktörün etkisiyle %5-34 düzeylerinde olabilir [62]. Bu kategoriye aktif veya deaktif bakteriler, mantar/küfler ve bunların sporları, metabolitleri ve toksinleri (bakteri-endotoksinler, mantar/küf-mikotoksinler), iç mekanlarda bulunabilen ev hayvanları ve haşeratın döküntüleri, dışkıları vb. unsurlar dahil olabilir. Haşerat arasında ev tozu akarı (dust mite), hamamböceği gibi canlılar öne çıkmaktadır. Biyoaerosol çapları en küçükleri virüsler olmak üzere 20 nm'den 100 µm kadar dağılım gösterirken [63], bunların hücre parçacıklarının boyutları ise 1 nm'ye kadar inebilmektedir [64]. Boyutları düşünüldüğünde solunum yollarında en derinlere ulaşabilecekleri anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, patojen mikroorganizmaların enfeksiyonlara, diğer biyoaerosollerin de alerjik tepkilere yol açması en yaygın etkiler arasında sayılabilir. Mikrobiyolojik kirleticiler alerjenler de olabilirler. Spesifik alerjenler arasında endotoksinler (gram negatif bakterilerin yapısal bir komponenti, dış zarlarının bir bileşeni olarak duvarlarında yer alan lipopolisakkarit bir yapıya sahip bir bileşenlerdir), mikotoksinler (mantar/küf cinslerinin ikincil metabolizması ile oluşan, düşük molekül ağırlıklı, çok çeşitli kimyasal yapıya sahip maddelerdir), β-(1→3)-D-glukan (pek çok mantar/maya, bazı bakteriler ve bitkiler gibi çok çeşitli türdeki organizmaların hücre duvarlarında bulunan suda çözülebilir glukoz polimerleridir) ve diğer inhalan alerjenler (insanlarda IgE aracılı alerjik tepkiler oluşturabilen yüksek moleküler ağırlıklı protein veya glikoprotein içeren maddelerdir) sayılabilir [65]. Mikroorganizma metabolitleri arasında UOB de bulunmaktadır; ki bunlar mikrobiyolojik UOB (MUOB) olarak isimlendirilirler.

Biyoaerosol derişimini ve çeşitliliğini etkileyen değişkenler arasında, yaşamsal açıdan kritik olan ve mikroorganizmalar arasında farklılık gösteren sıcaklık ve nemin yanında, ortamda bulunan kişi sayısı, evde beslenen hayvan, evin konumu-yerleşimi ve çevresi, inşaat malzemesinden iç donanım malzemelerine kadar uzanan oldukça geniş bir çeşitlilik vardır. Nemin varlığı mikroorganizmaların çoğalabilmesi için belirleyici faktör olduğundan iç mekanlardaki yüzeylerde oluşan nemlilik veya su hasarı en önemli kaynaklarıdır. Literatür, nem/su hasarı ve bina ile ilgili semptomlar ve hastalıklar, dolayısıyla biyolojik iç hava kirliliği arasında ilişki bulunduğunu, insanların alerjik reaksiyonları ile biyoaerosoller ve/veya ürettikleri maddeler arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir [66]. Görülen sağlık etkileri ve semptomları arasında iç burun zarı iltihaplanması (rinit), astım, nemlendirici ateşi, aşırı hassasiyet pnomoniti ve atopik alerjik dermatit vardır. Enfeksiyonlar arasında grip (influenza enfeksiyonu) uzun zamandır bağışıklık sistemimizin aşına olduğu görece sıklıkla geçirilen bir çeşidi iken yakın zamanlarda bağışıklık sistemimizin ilk defa tanıştığı, kuş ve domuz gribi, MERS (Middle East Respiratory Syndrom), SARS (Severe Acute Respiratory Syndrom) ve SARS-CoV-2 (COVID-19) gibi virütik yeni enfeksiyonlar eklenmiş, bunlardan sonuncusu bir pandemiye yol açarak çok sayıda insanın ölümüne yol açmıştır. Yeni salgınların, epidemik veya pandemi ölçülerinde, kaçınılmaz olduğu bilinmekte, iklim değişikliğine karşı kazanılması gereken iç çevre kalitesi dirençliliğine ek olarak mikrobiyolojik salgınlara karşı iç hava kalitesi dirençliliği de eklenmiştir.

Mikroorganizma derişimleri aktif (kültür edilebilen, çoğaltılabilen, yani canlı) ve deaktif yani cansız olarak iki farklı büyüklük olarak ölçülebilmektedir. Genel itibarla çoğaltılabilen mikroorganizma derişimleri bildirilmektedir. Guo vd. [67] Çin'de konut, okul ve ofislerdeki yaklaşık 1100 binada ölçülen çoğaltılabilen bakteri ve mantar düzeylerini derlemiş, bakteriler için derişim aralığını 72,5 – 7500 CFU/m³, ortanca değerini 1000 CFU/m³, mantarlar için derişim aralığını 12 – 9730 CFU/m³, ortanca değerini 526 CFU/m³ olarak belirlemiştir. Mandal ve Brandl [63] tarafından yapılan derlemede konutlarda karşılaşılan derişim aralığı bakteriler için 88 – 4750 CFU/m³, küfler için 463 – 3125 CFU/m³ olarak belirlenmiştir. Yeni evlerde derişimlerin <300 CFU/m³ olduğu görülmüştür. Ülkemizde mikrobiyolojik kirleticilere yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan konutlarda yapılanlara örnek olarak vermek gerekirse, Mentese vd. [68] Çanakkale ve iki ilçesinde 121 evin oturma odalarında toplam bakteri ve küf derişimleri ortalama değerlerini sırasıyla 485, 852, 907 CFU/m³ ve 566, 865, 958 CFU/m³ olarak bildirmişlerdir.

Dünyada bakteri ve mantarlar için uygulanmakta olan sınır ve rehber değerler yakın bir zamanda Mentese [69-70] tarafından bir araya getirilmiştir. Bakteriler için Çin, Hong Kong ve Tayvan'da 500 ile 1500 CFU/m³ arasında olan sınır değerlere karşın DSÖ sağlık tabanlı bir sınır önerilemediğini, Almanya'da ise dış havadaki düzeyden yüksek olmaması gerektiğini belirtmiştir. Mantarlar için 1000 CFU/m³, dış hava + 350 CFU/m³, dış havadan yüksek olmamalı, gözle görülür küf veya koku olmamalı derlenen sınır değerler arasında iken DSÖ sağlık tabanlı bir sınır değer önerilemediğini belirtmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada inorganik ve organik gaz bileşikler, partikül madde ve biyolojik iç hava kirleticileri halinde dört ana grup altında ele alınan iç hava kalitesi, derişimleri, kaynakları ve mevcut sınır değerleri konutlar için literatürden derlenmiştir. İnceleme sonucunda karbondioksit, karbonmonoksit, azotdioksit, ozon, radon, aldehitler, uçucu organik bileşikler, yarı-uçucu organik bileşikler, PM_{2.5}, PM₁₀, bakteri ve mantar/küf parametreleri öne çıkmıştır. Bu kirleticilerin konut iç havasında insan sağlığını tehdit edebilecek düzeylere çıkabildiği görülmüştür. Dolayısıyla, konut iç hava kalitesini istenen düzeylerde tutabilmek üzere iç hava kalitesi yönetimi stratejisi öğelerinin uygulanması gerekmektedir. Bu öğeler, kaynak yönetimi, havalandırma, hava temizleme, zaman-aktivite yönetimi ve toplumsal farkındalık olarak genel başlıklar şeklinde tarif edilebilir. Kaynak yönetimi kirletici salımı yüksek malzeme ve ürünlerin bina yapımında ve mefruşatta kullanılmaması gibi iskan öncesi tedbirler içerdiği gibi iskan sonrası bina sakinlerinin ev ve kişisel temizlik/bakım ürünü vb. tercihlerini kirletici salımı düşük olanlardan yana kullanmalarını da kapsamaktadır. En etkin strateji salımı yüksek kaynakların iç ortamdan uzaklaştırılması iken bunu salımı daha düşük olanlar ile değiştirilmesi takip eder. İkinci ana öğe olan havalandırma, genel olarak pencere ve kapılar yoluyla yapılan doğal havalandırma. Ancak, bu yöntemde havalandırmanın hızı bina sakinlerinin kontrolü sadece açıklık oranını belirlemek ile kısıtlı olduğundan, yani dış hava şartlarına ve içerisine nazaran durumuna göre kendiliğinden gerçekleşmesinden dolayı etkin bir şekilde içerideki kirli havayı dışarıdan taze hava ile değişimi garanti altında değildir. Dolayısıyla, bu meselenin boyutunu azaltıcı mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bazı Avrupa ülkelerinde çözüm olarak enerji verimli mekanik havalandırma ile mutfak ve banyoda yerel egzoz gibi unsurlar konutlar için zorunlu hale getirilmeye başlamış, pasif havalandırma vd. yöntemler gündeme getirilmektedir. Üçüncü ve dördüncü öğeler tek bir örnek ile tarif edilebilir. Kentlerde dış hava kirliliği genel bir sorundur. Mesela trafikten kaynaklanan kirlilik işe gidiş ve dönüş saatlerinde tepe yapmaktadır veya atmosferik terselme (inversiyon) durumunda episodik yüksek kirlilik periyotları ortaya çıkmaktadır. Bu zaman dilimlerinde veya şehir havası her zaman kirli ise sürekli mahiyette dış havayı "taze" olarak nitelendirmek mümkün olmayacağından havalandırma kısıtlanmalı ve/veya hava temizleme süreçleri devreye sokulmalıdır. Bu hem zaman-aktivite yönetimini dış hava açısından hem de hava temizleme unsurunu örneklemiştir. İçeride uygulanan kirletici salımının yüksek olduğu bilinen, temizlik, kızartma, çeşitli hobiler gibi faaliyetler sırasında havalandırmayı artırmak ise bir diğer zaman-aktivite yönetimi örneği olarak verilebilir. Tüm bu stratejilerin uygulanabilmesi için toplumsal farkındalık ise öncelikle aşılması gereken bir eşiktir. Diğer yandan bu stratejilerin beklenen faydayı sağlayacak şekilde uygulanabilmesi için kirletici derişimleri açısından kıstaslara, yani iç hava kalitesi sınır değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde uygulanmak üzere okullar için iç hava sınır değer önerileri yakın zamanda konu detaylıca ele alınarak geliştirilmiştir [2]. Çocukların ikinci sıradaki en çok zaman geçirdikleri iç çevre olarak önemi vurgulanan okullardan önce ilk sırada en çok zamanı geçirdikleri evler benzer şekilde bazı açılardan daha yüksek önem taşımaktadır. Okul çağına gelmemiş çocuklar, sürekli evde bulunan ev hanımları ve yaşlılar açısından ise en önemli iç mekandır. Dolayısıyla, iç hava kalitesi sınır değerlerinin çocuk sağlığını önceleyen bir doğası olması gerektiği öne sürülebilir. Bu savlardan yol çıkıldığında okullar için önerilen sınır değerlerin konutlar için de uygulanabilir olduğu iddia edilebilir. Sonuç olarak, Sofuoğlu ve arkadaşlarının [2] önerdiği sınır değerler (Tablo 3) konutlar için de önerilmektedir. Ancak, bu önerilen değerler arasında konutlar için bazı parametrelerin eksik olduğu değerlendirilebilir: karbontetraklorür, yer tozu, kurşun ve olası diğer yer tozu içerikleri, ve diğer olası parametrelerin okullar için yapılan detaylı değerlendirmeye benzer şekilde incelenerek sınır değeri gerekliliği hususunun belirlenmesi ve gerekiyorsa sınır değeri önerilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Tablo 3. Konutlar için önerilen iç hava kalitesi sınır değerleri

İç Hava Kirleticisi	Birim	Önerilen Değer	Sınır	Ortalama/Maruziyet Süresi
CO ₂	ppm	1.000		Anlık ¹
CO	ppm	30		1 saat
		9		8 saat
NO ₂	ppb	100		1 saat
		–		8 saat
O ₃	ppb	90		1 saat
		70		8 saat
Radon ²	Bq/m ³	150		48 saat
Benzen	µg/m ³	5		8 saat
Etilbenzen	µg/m ³	1000		8 saat
Formaldehit	µg/m ³	100		8 saat
Ksilenler (o-, m-, p-izomerleri toplamı)	µg/m ³	100		8 saat
Toluen	µg/m ³	5000		8 saat
Trikloroetilen	µg/m ³	2		8 saat
Tetrakloroetilen	µg/m ³	40		8 saat
T(TE)UOB ³	µg/m ³	500		8 saat
Trihalometanlar	µg/m ³	200		8 saat
PM _{2,5}	µg/m ³	15		8 saat
PM ₁₀	µg/m ³	45		8 saat
Bakteri	CFU/m ³	1000		bkz. ^{4,5}
Mantar	CFU/m ³	1000		bkz. ^{4,5}

¹ En fazla 1 dakikalık ortalama

² Radon riski olan yerlerdeki konutlar için önerilmiştir.

³ Toplam (toluen eşdeğeri) uçucu organik bileşik derişimi

⁴ Aktif yöntem ile 1 ila 10 dk örnekleme, örnekleme süresi ortalaması

⁵ Pasif yöntem ile 8 saatlik örnekleme

KAYNAKLAR

- [1] Karakitsios, S., Asikainen, A., Garden, C., Semple, S., Brouwere, K. D., Galea, K. S., ... & Sarigiannis, D. (2015). Integrated exposure for risk assessment in indoor environments based on a review of concentration data on airborne chemical pollutants in domestic environments in Europe. *Indoor and Built Environment*, 24(8), 1110-1146.
- [2] Sofuoğlu, SC, Toksoy, M, Arı, A, Civan, M, Dumanoğlu, Y, Güllü, G, Menteşe, S, Onat, B, Alver Şahin, Ü. Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, TOBB, Yayın No. 2023/5, Ankara, 2023.
- [3] Logue, J. M., McKone, T. E., Sherman, M. H., & Singer, B. C. (2011). Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences. *Indoor air*, 21(2), 92-109.

- [4] Ilacqua, V., Scharko, N., Zambrana, J., & Malashock, D. (2022). Survey of residential indoor particulate matter measurements 1990–2019. *Indoor air*, 32(7), e13057.
- [5] Liu, Y., Dong, J., Ma, H., Jiang, Y., Zheng, W., & Luo, X. (2022). An overview: PM_{2.5} concentration levels in urban residential buildings during the past two decades. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(10), 220174.
- [6] Sofuoğlu, S.C., Aslan, G., Inal, F., Sofuoğlu, A. (2011). An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. *International journal of hygiene and environmental health*, 214(1), 36-46.
- [7] Genisoglu, M., Sofuoğlu, S. C., & Sofuoğlu, A. (2021). The role of polyurethane foam indoors in the fate of flame retardants and other semivolatile organic compounds. *Materials and Chemistry of Flame-Retardant Polyurethanes Volume 1: A Fundamental Approach*, 125-140.
- [8] Dimitroulopoulou, C. (2012). Ventilation in European dwellings: A review. *Building and Environment*, 47, 109-125.
- [9] Mitchell, C. S., Zhang, J., Sigsgaard, T., Jantunen, M., Liou, P. J., Samson, R., & Karol, M. H. (2007). Current state of the science: health effects and indoor environmental quality. *Environmental health perspectives*, 115(6), 958-964.
- [10] Dales, R., Liu, L., Wheeler, A. J., & Gilbert, N. L. (2008). Quality of indoor residential air and health. *CMAJ*, 179(2), 147-152.
- [11] Odabasi, M. (2008). Halogenated volatile organic compounds from the use of chlorine-bleach-containing household products. *Environmental science & technology*, 42(5), 1445-1451.
- [12] Odabasi, M., Elbir, T., Dumanoglu, Y., & Sofuoğlu, S. C. (2014). Halogenated volatile organic compounds in chlorine-bleach-containing household products and implications for their use. *Atmospheric Environment*, 92, 376-383.
- [13] Toksoy, M., Tuğrul, B., Sofuoğlu, SC. İç Çevre Kalitesi ve Uyku (Toksoy M. ve Karadeniz ZH Editörler) Bölüm 1 İç Hava Kalitesinin Uyku Kalitesine ve Ertesi Gün Sağlık ve Performansına Etkisi, sf. 1-20, 2021.
- [14] Vardoulakis, S., Giagloglou, E., Steinle, S., Davis, A., Sleuwenhoek, A., Galea, K. S., ... & Crawford, J. O. (2020). Indoor exposure to selected air pollutants in the home environment: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 17(23), 8972.
- [15] Sofuoğlu, SC, Toksoy, M. Bölüm 1.2 Karbonmonoksit. Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler: Sofuoğlu, SC, Toksoy, M., TOBB, Yayın No. 2023/5, Ankara, 2023.
- [16] Güçlü, Y. S., Dabanlı, İ., Şişman, E., & Şen, Z. (2019). Air quality (AQ) identification by innovative trend diagram and AQ index combinations in Istanbul megacity. *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 88-96.
- [17] Jetter, J. J., Guo, Z., McBrien, J. A., & Flynn, M. R. (2002). Characterization of emissions from burning incense. *Science of the Total Environment*, 295(1-3), 51-67.
- [18] Cattaneo, A., Tecce, N., Derudi, M., Gelosa, S., Nano, G., & Cavallo, D. M. (2014). Assessment of modeled indoor air concentrations of particulate matter, gaseous pollutants, and volatile organic compounds emitted from candles. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20(4), 962-979.
- [19] Mu, L., Liu, L., Niu, R., Zhao, B., Shi, J., Li, Y., ... & Zhang, Z. F. (2013). Indoor air pollution and risk of lung cancer among Chinese female non-smokers. *Cancer causes & control*, 24, 439-450.
- [20] WHO. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- [21] He, G., Ying, B., Liu, J., Gao, S., Shen, S., Balakrishnan, K., ... & Ezzati, M. (2005). Patterns of household concentrations of multiple indoor air pollutants in China. *Environmental science & technology*, 39(4), 991-998.
- [22] Bozkurt, Z., Doğan, G., Arslanbaş, D., Pekey, B., Pekey, H., Dumanoğlu, Y., ... & Tuncel, G. (2015). Determination of the personal, indoor and outdoor exposure levels of inorganic gaseous pollutants in different microenvironments in an industrial city. *Environmental monitoring and assessment*, 187, 1-17.
- [23] de Nevers, N., 1995. *Air Pollution Control Engineering*, McGraw-Hill.
- [24] Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2016. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [25] Godish, T. (2001). *Indoor environmental quality*. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.
- [26] de Gennaro, G., Dambruoso, P. R., Loiotile, A. D., Di Gilio, A., Giungato, P., Tutino, M., ... & Porcelli, F. (2014). Indoor air quality in schools. *Environmental chemistry letters*, 12, 467-482.
- [27] Weschler, C. J. (2011). Chemistry in indoor environments: 20 years of research. *Indoor Air*, 21(3), 205-218.

- [28] USEPA, 2016. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria. Center for Public Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-15/068.
- [29] RG (2008) Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmi Gazete No 26898, 06.06.2008
- [30] World Health Organization. (2006). Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. World Health Organization.
- [31] Salonen, H., Salthammer, T., & Morawska, L. (2018). Human exposure to ozone in school and office indoor environments. *Environment international*, 119, 503-514.
- [32] USEPA (2020). Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants. Center for Public Health and Environmental Assessment, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-20/012.
- [33] TAEK (2014). Konutlarda radon ölçümleri. Teknik Rapor TR-2014-2, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara.
- [34] WHO (2022). Radon and Health Fact Sheet. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>
- [35] JMO (2022). Jeoloji Mühendisleri Odası. www.jmo.org.tr
- [36] Ayri, I., Genisoglu, M., Gaygisiz, H., Sofuoglu, A., & Sofuoglu, S. C. (2020). Bleach-containing automatic toilet-bowl cleaners as sources of VOCs, associated indoor air concentrations and carcinogenic risk. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2251-2258.
- [37] Genisoglu, M., Ergi-Kaytmaz, C., & Sofuoglu, S. C. (2019). Multi-route–Multi-pathway exposure to trihalomethanes and associated cumulative health risks with response and dose addition. *Journal of Environmental Management*, 233, 823-831.
- [38] Demirel, G., Özden, Ö., Döğeroğlu, T., & Gaga, E. O. (2014). Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment. *Science of the total environment*, 473, 537-548.
- [39] Mentese, S., Mirici, N. A., Otkun, M. T., Bakar, C., Palaz, E., Tasdibi, D., ... & Cotuker, O. (2015). Association between respiratory health and indoor air pollution exposure in Canakkale, Turkey. *Building and Environment*, 93, 72-83.
- [40] Mentese, S., Rad, A. Y., Arısoy, M., & Güllü, G. (2012). Multiple comparisons of organic, microbial, and fine particulate pollutants in typical indoor environments: diurnal and seasonal variations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(12), 1380-1393.
- [41] Sofuoglu, S. C., Toprak, M., Inal, F., & Cimrin, A. H. (2015). Indoor air quality in a restaurant kitchen using margarine for deep-frying. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 15703-15711.
- [42] Arı, A. (2023). Bölüm 2.1 Uçucu Organik Bileşikler, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [43] Mentese, S., & Güllü, G. (2006). Variations and sources of formaldehyde levels in residential indoor air in Ankara, Turkey. *Indoor and Built Environment*, 15(3), 273-281.
- [44] Mentese, S. (2023). Bölüm 2.2 Formaldehit, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [45] Liou, P. J., Freeman, N. C., & Millette, J. R. (2002). Dust: a metric for use in residential and building exposure assessment and source characterization. *Environmental health perspectives*, 110(10), 969-983.
- [46] Dumanoğlu, Y. (2023). Bölüm 2.4 Poliklorlu bifeniller, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [47] Dumanoğlu, Y. (2023). Bölüm 2,5 Bromlu alev geciktiriciler, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [48] Dumanoğlu, Y. (2023). Bölüm 2.8 Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [49] Civan, M. (2023). Bölüm 2.6 Organofosfat Esterler, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [50] Civan, M. (2023). Bölüm 2.6 Ftalat Esterleri, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [51] Chu, H., Liu, Y., Xu, N., & Xu, J. (2023). Concentration, sources, influencing factors and hazards of heavy metals in indoor and outdoor dust: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 1203-1230.
- [52] Li, Z., Wen, Q., Zhang, R. (2017). Sources, health effects and control strategies of indoor fine particulate matter (PM_{2.5}): A review. *Science of the Total Environment*, 586, 610-622.

- [53] Oliveira, M., Slezakova, K., Delerue-Matos, C., Pereira, M. C., & Morais, S. (2019). Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: A review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Environment international*, 124, 180-204.
- [54] World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*.
- [55] Giorgini, P., Di Giosia, P., Grassi, D., Rubenfire, M., D Brook, R., & Ferri, C. (2016). Air pollution exposure and blood pressure: an updated review of the literature. *Current pharmaceutical design*, 22(1), 28-51.
- [56] Hamra, G. B., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J. M., ... & Loomis, D. (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Environmental health perspectives*, 122, 906-911.
- [57] Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, 136-143.
- [58] Liu, Y., Ma, H., Zhang, N., Li, Q. (2022) A systematic literature review on indoor PM2,5 concentrations and personal exposure in urban residential buildings. *Heliyon*, 8, e101174.
- [59] Pekey, B., Bozkurt, Z.B., Pekey, H., Doğan, G., Zararsız, A., Efe, N., & Tuncel, G. (2010). Indoor/outdoor concentrations and elemental composition of PM10/PM2. 5 in urban/industrial areas of Kocaeli City, Turkey. *Indoor air*, 20(2), 112-125.
- [60] Mentese, S., Mirici, N., Otkun, M.T., Bakar, C., Palaz, E., Tasdibi, D., Cevizci, S., Cotuker, O. (2015) Association between respiratory health and indoor air pollution exposure in Canakkale, Turkey. *Building and Environment*, 93, 72-83.
- [61] Onat, B. ve Alver Şahin, Ü. (2023). Bölüm 3.1 Partikül Madde, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [62] Srikanth, P., Sudharsanam, S., & Steinberg, R. (2008). Bio-aerosols in indoor environment: composition, health effects and analysis. *Indian journal of medical microbiology*, 26(4), 302-312.
- [63] Mandal, J., & Brandl, H. (2011). Bioaerosols in indoor environment-a review with special reference to residential and occupational locations. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 4, 83-96.
- [64] Ghimire, P.S., Tripathee, L., Chen, P., & Kang, S. (2019). Linking the conventional and emerging detection techniques for ambient bioaerosols: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 495-523.
- [65] Güllü, G. (2023). Bölüm 4.3 Diğer Mikrobiyolojik Kirleticiler, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [66] Górný, R. L. (2004). Filamentous microorganisms and their fragments in indoor air-a review. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11, 185-197.
- [67] Guo, K., Qian, H., Zhao, D., Ye, J., Zhang, Y., Kan, H., ... & Zheng, X. (2020). Indoor exposure levels of bacteria and fungi in residences, schools, and offices in China: A systematic review. *Indoor air*, 30(6), 1147-1165.
- [68] Mentese, S., Mirici, N. A., Elbir, T., Palaz, E., Mumcuoğlu, D. T., Cotuker, O., ... & Otkun, M. T. (2020). A long-term multi-parametric monitoring study: Indoor air quality (IAQ) and the sources of the pollutants, prevalence of sick building syndrome (SBS) symptoms, and respiratory health indicators. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2270-2281.
- [69] Mentese, S. (2023). Bölüm 4.1 Bakteriler, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.
- [70] Mentese, S. (2023). Bölüm 4.2 Mantarlar, Okullarda İç Hava Kirliliği, Sağlık Etkileri ve Sınır Değerler, Editörler SC Sofuoğlu, M Toksoy, TOBB, Yayın No: 2023/5, Ankara.

BÖLÜM 2

DOĞADA HAVALANDIRMA⁹

Ventilation in Nature

Macit TOKSOY¹⁰

"Özgünlük, kökene dönüşte var olur. Doğanın biçimi ve gücü, tüm bilgi ve ilhamın kaynağıdır".
Antoni Gaudi [1]

"Önce biz binaları sonra da binalar bizi şekillendirir". Winston Churchill [2]

ÖZET

Yaşayan varlıkların çoğunluğu, 2,33 milyar yıl önce Dünya atmosferinde birikmeye başlayan oksijeni kullanan canlılardır. Kapalı ortamlarda temiz atmosferdeki oranların dışında oluşan iç hava kompozisyonu ve bu kompozisyonu oluşturan bileşikler, canlıların yaşamlarını etkiler. Taksonomik olarak hayvanların böcekler sınıfında yer alan birlikte yaşayan sosyal canlılar (Eusocial) olan termitler ve karıncalar gibi, kendi mimarileri ile yaşam hacimlerini yaratan canlılar ya da arılar gibi hem doğal ortamlarda hem de insanlar tarafından oluşturulan yaşam hacimlerinde yaşayan canlılar, söz konusu olumsuz etkileri önlemek üzere pasif (doğal) veya aktif (mekanik) havalandırma yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı termitler, karıncalar ve arıların doğal olarak geliştirdikleri havalandırma sistemleri üzerine, ilgili literatür ışığında, bir derleme sunmak ve termit mimarisinin esin kaynağı olduğu modern mimari çalışmalarına bir başlangıç yapmaktır.

1. GİRİŞ

Yaşayan varlıklar, organize bir yapıya sahip olan, enerjiye gereksinim duyan, uyarılara tepki veren, çevreye uyum sağlayan, üreme, büyüme, metabolizma yeteneğine sahip olan varlıklardır. Bakteriler, Arkeler (Arkea veya Arkeobakteriler) ve ökaryotik olarak anılan bitkilerin, hayvanların ve şüphesiz insanların içinde olduğu ökaryotlar olarak sınıflandırılan yaşayan varlıkların çoğu yaşamak için oksijene gereksinim duyarlar [3].

Dünyanın yaşı teolojik ve bilimsel yaklaşımlarla Aristo'dan bu yana belirlenmeye çalışılmıştır. Nihayet Ulusal Bilimler Akademisinin (ABD), 1926 yılında "Radyometrik" zaman skalasını kabul etmesinde bu yana, radyoaktif çözünme esaslı yöntem kullanılmaya başlanmış, kütle spektrometresi, örnekleme ve lazer ısıtma yöntemlerinin de kullanılmasıyla dünyanın yaşı 4,55 milyar yıl olarak belirlenmiştir [4]. 4,55 milyar yıllık Dünya tarihinin ilk yarısında su, silikon ve kayalardaki bileşiklerin dışında, kendi başına oksijen hemen hemen hiç yoktur. Yaşayan varlıklar için hayati rol oynayan, günümüzde soluduğumuz temiz havada %21 olan oksijen, yerküresinde 2,33 milyar önce doğmuştur (Şekil 1). Oksijenin varlığından önce atmosferde, temel olarak farklı kaynaklardan oluşan su buharı, karbondioksit, metandan oluşan bir Dünya atmosferi bulunmaktadır. Daha önce zayıf oksijen emisyonları söz konusudur ama bu emisyonlar oksijenin aşırı aktifliği nedeniyle, hemen çevredeki maddelerle bileşiklere dönüşmekte ve atmosferde birikmemektedir. Oksijenin atmosferde birikmeye başlaması Büyük Oksijenasyon Etkinliği (BOE)¹¹ olarak anılan doğumla, fotosentetik mikrop olarak adlandırılan ve siğ okyanus sularında çoğalan bir mikroskobik canlının, siyanobakterilerin¹² (Şekil 2), metabolizmasının bir yan ürünü olarak ortaya çıkmaya başlamış ve atmosferde birikir olmuştur. Siyanobakteriler, oksijenik

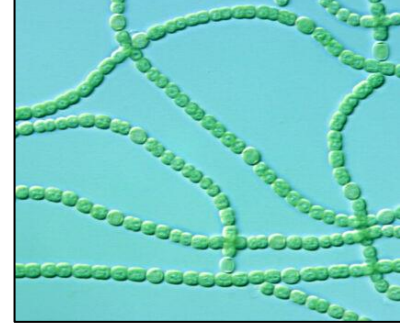
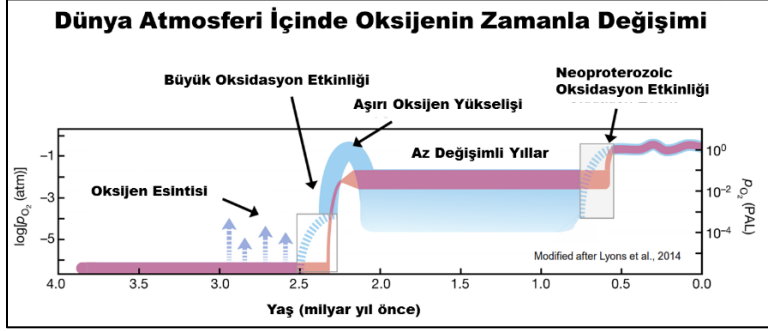
⁹ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun (2023) oluşturduğu aynı adlı 2. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

¹⁰ Dr. Mak. Yük. Müh., RD&PM, macittoksoy@gmail.com.

¹¹ Great Oxygenation Event (GOE)

¹² Cyanobacteria - Oxyphotobacteria

fotosentez olarak tanımlanan prosesle su ve karbon dioksiti kullanarak besin üretmekte, yan ürün olarak oksijen gazını atmosfere vermektedir [5,6,7]. Siyanobakteriler günümüzde dünyanın her tarafında, kapımızın önündeki toprakta da bulunmakta ve soluduğumuz oksijenin üretiminde rollerine devam etmektedirler [8].



Şekil 1. Oksijenin kısmi basıncının Dünya Tarihi içinde değişimi [7]. **Şekil 2.** Siyano bakteriler [9].

Oksijen kullanan canlı varlıkların yaşamlarını, evrim geçirdikleri gibi varoluşlarını devam ettirebilmeleri için, (a) evrim geçirdikleri şartlardaki oranda oksijene gereksinimleri olduğu gibi, (b) buldukları hacimlerde hava kirleticilerine de maruz kalmamalıdır. Bu iki gerekliliğin zorunlu olarak en yüksek hissedildiği yaşam alanları kapalı ve canlı varlıkların yoğun olarak buldukları yerlerdir. Doğada bu tür yaşam hacimleri, organize olmuş sosyal böcekler¹³ (günümüz terminolojisi ile Eusocial) olan termitlerin, karıncaların, bal ve yaban arılarının kendi inşa ettikleri yuvaları ve bal arıları için yapay olarak inşa edilen kovanlardır. Yuva ve kovanlar, insan yoğun bazı binalar (okullar, yurtlar, ofisler, kafeteryalar vb.) gibi, söz konusu sosyal böceklerin yoğun olduğu yerlerdir.

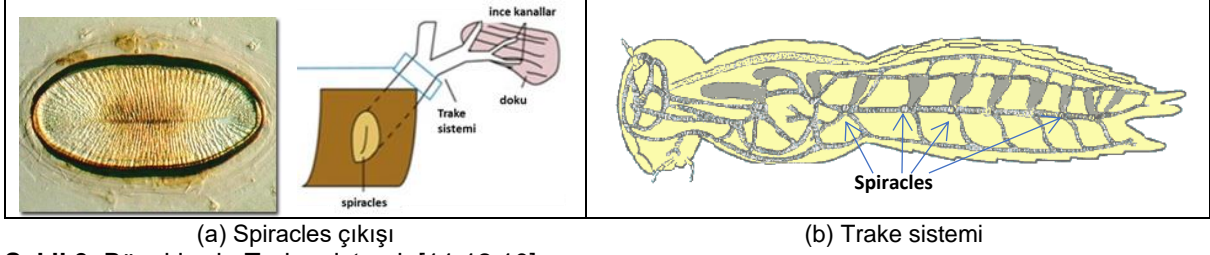
Bu çalışma, termit yuvalarının ve bal arısı kovanlarının havalandırılması ve mimaride termit yuvalarının esin kaynağı olduğu biyomimikri alanındaki ilgili güncel çalışmaların bir değerlendirilmesidir.

2. BÖCEKLERDE SOLUNUM

Siyanobakterilerin aksine böcekler, diğer hayvanlar gibi oksijen tüketen canlılardır; metabolizmaları atmosferik oksijenle besinleri, yaşamsal aktiviteleri için enerjiye çevirirler ve çevreye CO₂ verirler. Trake¹⁴ olarak adlandırılan solunum sistemlerinin, insanların aksine kan dolaşımı ile bir arakesiti yoktur. Böceklerde, vücutlarının üst kısmına açılan "spiracles" (Şekil 3a) olarak adlandırılan çift fonksiyonlu (emme ve egzoz), kesit alanları böcek büyüklüğüne bağlı olarak 0,27 μm^2 ile birkaç μm^2 arasında değişen, dış bağlantı kanallarıyla, dokulara bağlantı yerlerinde 0,01 μm çapındaki kılcal borulara dönüşen, bazı yerlerde havanın depolandığı baloncukları olan, bir temiz/kirli hava şebekesi söz konusudur (Şekil 3b) [10]. Hücrelerle trake sistem arasındaki oksijen ve karbondioksit transferi difüzyon yoluyla gerçekleşir. Düşük seviyeli aktivitelerde dış kanalların ucundaki klapeleler kapalıdır. Hücrelerdeki metabolik aktiviteler sonunda hücrelerden trake sistemine karbondioksit geçişi artar. Böylece trake sisteminde oksijen azalır karbondioksit artar. Bu durumda dış kanalların ağızındaki klapeleler açılır ve dış hava ile trake sistemi arasında difüzyon yoluyla ters yönde oksijen (içeri) ve karbondioksit (dışarı) transferi başlar. Dış kanalların (spiracles) girişindeki tüyler ve kıllar, çevre havasından içeriye gelecek partiküller için (insan burnundaki gibi) filtre görevi görür. Böcekler bir anlamda, dolaşım sistemindeki CO₂ konsantrasyonuna bağlı doğal "talep kontrollü havalandırma" mekanizmasına sahiptirler. Kandaki karbondioksit seviyesi düştüğünde klapeleler tekrar kapanır ve çevrim böyle devam eder. Yüksek seviyeli aktivitelerde, dış hava ile trake sistemi arasındaki difüzyon yoluyla olan kütle transferi, yeterli oksijen ve karbondioksit transferini sağlamadığı durumda, kontrol sistemi, elastik trake sisteminde büzülme ve açılma mekanizmasını harekete geçirir ve peristaltik pompa prensibi ile kütle transferi aktif olarak gerçekleştirilir [11, 12, 10].

¹³ Sosyal böcekler (Eusocial organizmalar) dört karakteristikle tanımlanmışlardır: Yetişkinler guruplar halinde yaşar, kuluçka ve gençler ile ortaklaşa ilgilenilir, üretimde iş bölümü vardır, kuşaklar birbirini görevleri devralarak devam eder [50].

¹⁴ Tracheal system



Şekil 3. Böceklerde Trake sistemi. [11,12,10].

3. TERMİT YUVALARI¹⁵ ve HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Doğada, bir çalışmaya göre yirmi milyon [13], bir başka çalışmaya göre üç yüz milyon yıldır mantarlarla simbiyotik yaşam sürdüren, *süper organizmalar*¹⁶, türleri 2400-3100 civarında verilen [15,16,17], hamam böceklerinin içinde olduğu, kanatları katlanabilen böcekler sınıfından olan, karınca benzeri sosyal böcekler [15] arasında sayılan termitler (Şekil4), dünyanın hemen her tarafında, doğal sürücü ısı güçleri (güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, metabolik ısı üretimi, buharlaşmalı soğutma) ve doğa kanunlarını kullanarak, doğal havalandırma ile projersiz ama adaptif yöntemle [18], sıcaklık ve gaz konsantrasyonları gradyanları ile rüzgarın neden olduğu basınç gradyanları sürücülüğünde harici bir ciğer gibi davranan, kendilerinin “eklemeli üretimle”¹⁷ inşa ettikleri, bazılarının içinde 1-2 milyon üyenin olduğu [13], kompleks ve lineer formda olmayan, “termiteria” olarak adlandırılan [19] yuvalarda yaşarlar. Termitlerin taksonomisi ve yuvaların yeryüzünde dağılımları THUYNE ve VERRACCHIA tarafından detaylı olarak verilmiştir [13].



(a) [20].

(b) [21].

Şekil 4. Yuvalarında termitler.

Termit yuvaları (Şekil 5) dış etkilerden koruma sağlayan ve enerji ihtiyaçlarını karşıladıkları, yiyeceklerin depolandığı ve bir kısmında da mantar yetiştirilen bahçelerin (fungicultures) olduğu yapılardır ve farklı coğrafyalarda, farklı türler için farklı morfolojide olan doğal yapılardır.

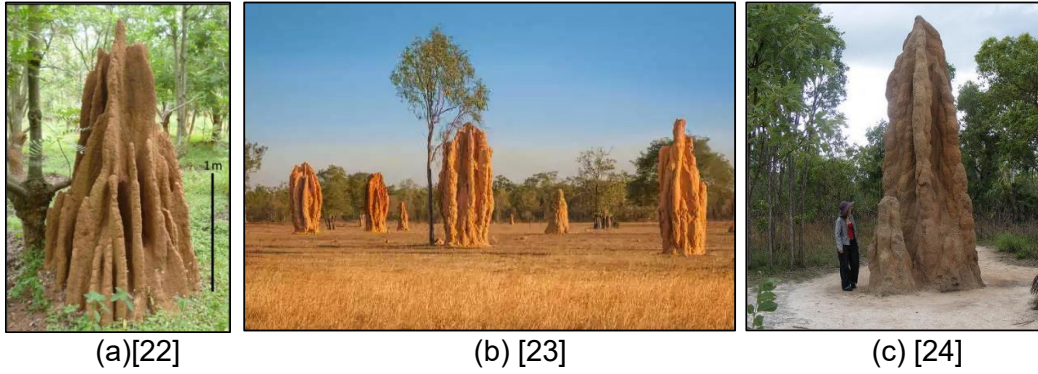
Morfolojik olarak termit yuvaları, “hypogean” (toprak) altı yuvalar ve “epigeal” (toprak üstünde çıkıntı yapan) veya arboreal” (ağaç) yuvalar olarak sınıflandırılırken [16], Şekil 6’da verildiği üzere “epigeal” türün de yer aldığı 5 kategoride, daha detaylı olarak gösterilmiştir [13]. Ağaçlarda yuva yapan termitler için, “yiyeceğini barınma yeri olarak kullanan ilk canlılar” hipotezi yapılmıştır [16]. Atmosferik çevre değişikliklerine karşı tampon görevi gören, sıcaklık, nem ve havalandırmanın iyi kontrol edildiği bu yuvaların büyüklüğü ve şekli sosyal organizasyona, koloninin büyüklüğüne ve beslenme alışkanlıklarına

¹⁵ “Mound” kelimesinin Türkçedeki karşılığı “höyük, yükselti, tepelik, yığın” olarak verilmektedir. Türkçe literatürde (“termite mound”) “termit yuvası” olarak yerleşmiştir. Termit yuvalarının toprak kesitinde bulunan ve kraliçe ile yumurtaların konulup yavruların yetiştirildiği bölgenin ismi ise İngilizce literatürde “nest” olarak verilmektedir. Bu kelimenin Türkçe karşılığı ise “yuva, kuluçka” anlamına gelmektedir. Bu çalışmada “Mound” için yerleşik olan “yuva” kelimesi, “nest” için de “kuluçka” kelimesi kullanılmıştır.

¹⁶ Süper organizma, birden fazla organizmanın bir araya geldiği ve tek bir organizma gibi davrandığı organizma topluluğu olarak tanımlanmaktadır [14].

¹⁷ 3D-Printing

bağlıdır. Bu yapıların içinde kral ve kraliçe, yumurtalara ve yavrulara bakan steril işçiler, ihtiyaçları karşılayan işçiler-toplayıcılar ve asker üyeler için ayrı bölmeler (Şekil 7) söz konusudur.



Şekil 5: Termit yuvası örnekleri.

Yaşam alanı	Termit türü				
	Macrotermes subhyalinus	Macrotermes bellicosus	Macrotermes michaelsoni	Odontotermes abesus	Ancistro cawthorax
Kuru iklim	 Katedral	 Katedral	 Epigeal (Toprak üstü)	 Merceksi	 Merceksi
Açık savan	 Kubbe	 Katedral	 Epigeal (Toprak üstü)	 Merceksi	 Merceksi
Ormanlık alan	 Kubbe	 Kubbe	 Epigeal (Toprak üstü)	 Payanda	 Merceksi

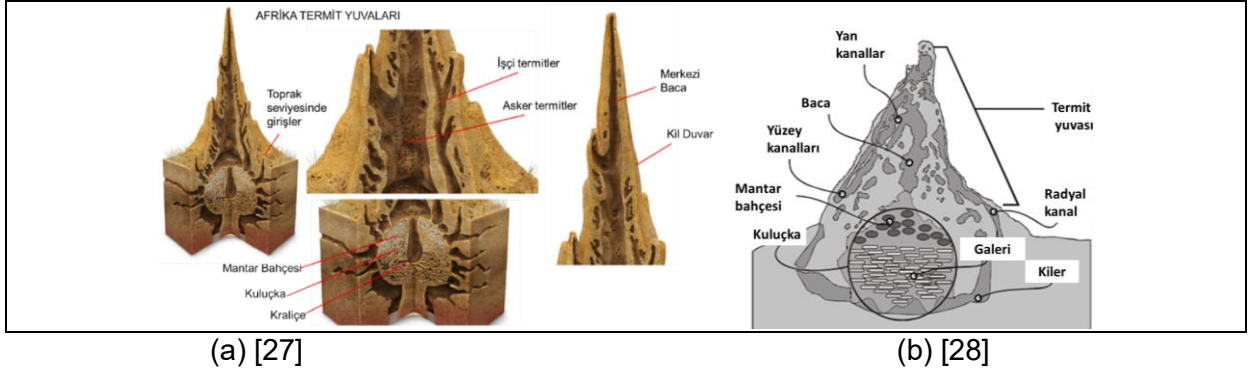
Şekil 6. Toprak üstü (epigeal) termit yuvaları [13].

Termit ve karıncalar, toprakta yaşayan ve kendi yaşam alanlarını inşa eden iki toprak organizmasıdır. Termitler, kuartz parçacıklarını, kil ve ağız salgılarıyla birleştirerek söz konusu kompleks yuvaları geliştirirler [15, 25]. Bir tür termit (odontermes obesus) yuvalarında yapılan gözlemler, toprağın salgıyla birleştirilmesiyle oluşturulan “bolus” olarak adlandırılan yaklaşık küresel elemanların birleştirilmesi ile dış kabukta gaz transferine imkân veren gözenekli ve geçirgen, iç çekirdekte taşıyıcı yapıların oluşturulduğunu göstermiştir [26]. Harvard Üniversitesinde geliştirilen bir modele göre, Termitler yuvalarının yapımını, yuvalarından bekledikleri çevre şartlarını sağlamak üzere, inşaat teknolojisi için ilham verecek bir şekilde, eş zamanlı performans denetimi ile gerçekleştirmektedirler. “Yuvalarını inşa ederken, gün boyunca dış sıcaklıklardaki değişikliklerin tetiklediği hava akışı, sıcaklık ve nemdeki değişiklikler, bilgi içeren kokuları yuvanın içindeki termitlere taşımaktadır. Feromonlardan¹⁸ ve karbondioksit gibi metabolik gazlardan oluşan bu bilgi bulutları, termitlere tepeyi¹⁹ nereye ayarlayacaklarını söyler. Örneğin, yuvanın bir bölümü çok sıcaksa, bu sıcaklık değişikliği hava akışında

¹⁸ (insanlar dahil) aynı türün üyeleri arasında sosyal ilişkileri düzenleyen (hormon taşıyan) kimyasal madde.

¹⁹ Yuvanın yukarıya doğru uzanan üst kısmı

bir değişikliği tetikleyecek ve bu da yakındaki işçilere²⁰ inşaat ipuçlarını taşıyacaktır. Termitler duvarlarını o bölüme kadar takip edecek ve sıcaklığı düşürmek için tümseği ayarlayacaktır” [2].



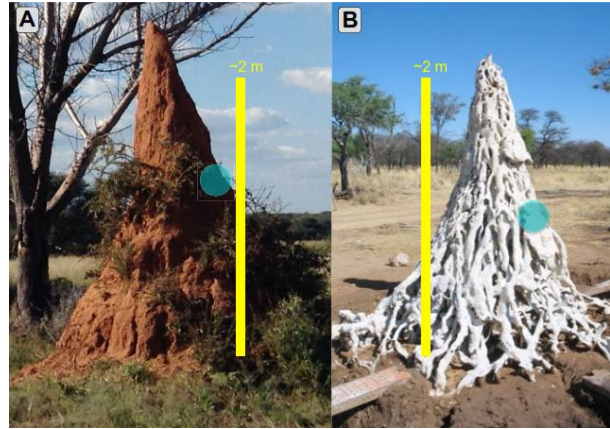
Şekil 7. Afrika termit yuvalarının iç yapısı.

Termit yuvalarının bir başka açıdan sınıflandırması (I) mantar bahçeli ve (II) mantar bahçesiz yuvalar şeklinde yapılmıştır [13]; metabolik aktivitelerin yoğunluğu ve sonucunda ortaya çıkan gaz (karbondioksit, metan) gaz emisyonlarının havalandırması daha kritik olan, havalandırmaya ilişkin biyomimikri açısından daha çok ilgi duyulan yapılardır. Bu yuvalarda termitlerin besin kaynağı, termitlerin yuvalarına taşıdıkları (yaprak ve ağaç parçaları gibi) organik artıkların mantarlar tarafından işlenmesi sonucu oluşan şekerlerdir. Termitler, mantarları, mantar tarakları (Şekil 8) adı verilen, şeker dönüşümün yapıldığı bir tür "akışkan yatak" olan "mantar bahçesinde" yetiştirirler. Mantar bahçesi, termitlerin selüloz sindirimini "dışarıdan yaptırdığı" bir tür beden dışı sindirim sistemidir. Taraklar, yiyecek taşıyan işçiler tarafından toplanan, genç işçiler tarafından çiğnenen-yutulan-dışkılanan yumuşatılmış odunsu malzemeden yapılır. Yuva işçilerinin sindirim yollarında, bu odunsu bulamaç, çeşitli mantar sporları ile aşılır. Tarakta biriktikten sonra, mantar (Termitomyces) sporları çimlenir ve tarak boyunca lif şeklindeki mantarlar yayılmaya başlar; mantarlar lignin tüketen birkaç organizmadan biridir, büyüdükçe selülozu yumuşatıp sindirerek kompleks şekerlere ve azota dönüştürürler. Tarağın altından süzülen bu zenginleştirilmiş yem termitler tarafında tüketilir. Bazı termit türlerinde, tarakların tamamı tüketilir, yerlerine termitler tarafından yine ön sindirimle yenileri oluşturulur [2,30,13].

Termitlerin yaşadıkları ikinci ana sembiyotik ilişki bağırsak bakterileri (gut bacteria) ile yaşanan ilişkidir. Termitlerin, mantarlar ve bağırsak bakterileri ile ortak yaşamlarının detayları, termit yuvalarının biyolojik, jeokimyasal, mineralojik ve fiziksel karakteristikleri ve çevreye etkileri güncel literatürde detaylı olarak verilmiştir. [13,17].



Şekil 8. Mantar tarakları "Courtesy: National Science Foundation" [31]



Şekil 9. Macrotermes Michaelsen termit yuvası ve alçı kalıbı alınmış kanalları [32]

²⁰Termit yuvalarında işçi, koruyucu, kuluçka (bebek) bakıcısı, kraliçe gibi farklı görevleri olan gruplar vardır.

Termit yuvalarının havalandırma mekanizmaları açısından önemli ikinci bir sınıflandırması, (I) kapalı ve (II) açık yuvalar olarak yapılmıştır. Termit yuvaları içinde, ortalama uzunlukları çeşitli büyüklükte olan kanallar söz konusudur (Şekil 9). Açık yuvalarda bu kanallar yuva yüzeyine kadar ulaşan ve bu kanallardan yuva içine iki yönlü, (rüzgâr etkisiyle) zorlanmış veya doğal hava akışı söz konusu olur. Kapalı yuvalarda, yuva içindeki kanallar yüzeye ulaşmaz, yuva yüzeyi difüzyonla gaz transferine imkân veren gözenekli bir yapıdadır. Üzerinde havalandırma ile ilgili araştırmaların yapıldığı kapalı ve açık bazı mantar bahçeli yuvalardaki termit türleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Mantar bahçeli, açık ve kapalı yuvaları olan termit türleri [33].

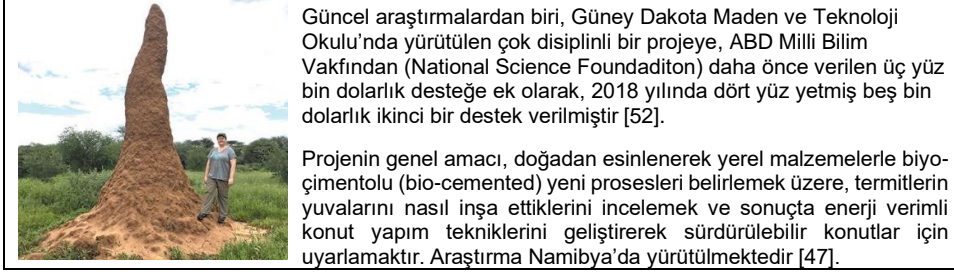
Açık Yuvalar	Kapalı Yuvalar
Odontotermes Tanganicus	Macrotermes Bellicosus
Macrotermes Jeanneli	Macrotermes Michaelsoni
Macrotermes Subhyalinus	
Odontotermes Transvaalensis	

Yükseklikleri 10 metreye ulaşabilen [34] termit yuvaları, ortada geniş bir (baca) kanalı ve bu kanaldan yüzeye bağlanan gittikçe daralan kanallardan oluşan, dış akciğer gibi çalışan havalandırma sistemine sahiptir; taze hava farklı dış ve iç sürücülerin oluşturduğu doğal mekanizmalarla yuva içindeki gözenekli ve kanallı hacme girer, üretilen karbon dioksit dışarıya atılır. Termitler hava akımını, kanalların yeri, büyüklüğü ve yuvanın yüksekliği ile kontrol ederler. Yaratılan hava akımları ile aynı zamanda yuva içindeki simbiyotik (ortak) yaşam için gerekli gaz konsantrasyonları (oksijen, karbondioksit, metan), sıcaklık ve nem kontrolü de sağlar. [34]. Termitlerin, başlıca biyokütle ayrıştırıcıları olarak, dünya çapındaki metan üretiminin %3'ünden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir. Termitlerin ürettiği metanın (CH₄) yarısı kadarı, yuva duvarlarında yaşayan bakteriler tarafından mikrobiyal CO₂ oksidasyonu ile azaltılır. Bu bağlamda yuvalar “biyofiltre” olarak da işlev görmektedir [16].

Havalandırma Mekanizmaları

Termit yuvalarındaki hava ile yuva çevresindeki atmosfer arasında, metabolizma için gerekli oksijen, metabolizma sonunda açığa çıkan karbondioksit ve metan gazlarının, biyolojik yaşam için gerekli bağımlı nemi yaklaşık %80 civarında olan su buharının kısmi basınçları arasında fark vardır [18]. Homeostatik²¹ gerekliliklerin karşılanması ile yuva içine gerekli oksijenin alınması, aşırı karbon dioksit ve metanın atmosfere atılması, yuvadaki nemin korunması olarak tanımlanabilecek doğal termit yuvası havalandırması, termit türü ve yuva morfolojisi ile coğrafyaya bağlı olarak, difüzyon, doğal taşınım veya karışık taşınım (doğal + zorlanmış) mekanizmalarından biri ile gerçekleşmektedir. Ancak literatürde izlendiğine göre, çok karmaşık olan yuva havalandırması şimdiye kadar tam olarak çözümlenememiştir. Termit yuvalarındaki havalandırma, 1950'lerden bu yana, özellikle bina sistemlerindeki karbonsuzlaştırma (decarbonization) ve enerji tasarrufuna yönelik çabalara paralel olarak yoğunlaşarak artan deneysel [35,36,37,38,39,40,41,42,28,33,43,44,45,46,29,26,47] (Şekil 10) ve “çok boyutlu - pek çok fiziksel mekanizmanın yer alması ve sayısal analizlerin çok maliyetli olması” [15] nedeniyle, günümüze kadar az sayıda da olsa, Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği (HAD) ile yapılmış araştırmaların [48,33,44,45,29,15,22,25] konusu olmuştur ve araştırmalar sürmektedir. Bu araştırmaların güncel değerlendirmeleri de söz konusudur [49,50,14,13,17,51,46,16].

²¹ Homeostasi: (Latince: home(aynı) + stasis(kararlı) Bir canlının bütün olarak veya bir parçasının, canlılığının sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli fiziksel ve kimyasal optimum şartların, aynı ve kararlı olarak değişen dış şartlardan etkilenmeden sürekli olarak sağlanması yeteneğidir. Termit yuvalarında homeostasis, yuva içindeki fiziksel ve kimyasal şartların, aynı ve kararlı olarak korunması yeteneğidir. “Termit yuvalarında homeostasis'e metabolik gereksinimlerin havalandırma debisi ile dengelenmesiyle ulaşılır” [20]]. İlk defa biyoloji alanında kullanılan bu terim psikoloji, sosyoloji ve ekonomi alanlarında da kullanılmaktadır.



Güncel araştırmalardan biri, Güney Dakota Maden ve Teknoloji Okulu'nda yürütülen çok disiplinli bir projeye, ABD Millî Bilim Vakfından (National Science Foundation) daha önce verilen üç yüz bin dolarlık desteğe ek olarak, 2018 yılında dört yüz yetmiş beş bin dolarlık ikinci bir destek verilmiştir [52].

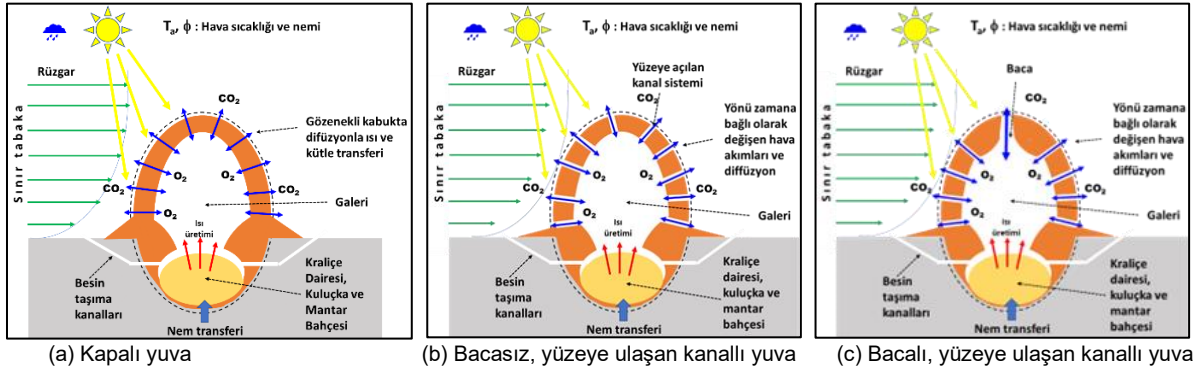
Projenin genel amacı, doğadan esinlenerek yerel malzemelerle biyoçimentolu (bio-cemented) yeni prosesleri belirlemek üzere, termitlerin yuvalarını nasıl inşa ettiklerini incelemek ve sonuçta enerji verimli konut yapım tekniklerini geliştirerek sürdürülebilir konutlar için uyarlamaktır. Araştırma Namibya'da yürütülmektedir [47].

Şekil 10. "The Role of Multi-Scale Porosity on Termite Mound Behavior" projesi [52].

Turner [38] tarafından özetlenen bu alandaki ilk çalışmaya [53] göre, morfolojik yapı itibariyle taşınım ve havalandırma mekanizmasını etkileyen üç farklı termit yuvası söz konusudur:

- Toprak üstündeki yüzeyi sadece difüzyonla kütle transferine imkân veren *Kapalı Termit Yuvaları*,
- Toprak üstü yüzeyinde galeriye ulaşan kanalların olduğu, yüzeye ulaşan kanallı *Bacasız Açık Termit Yuvaları*,
- Toprak üstü yüzeyde galeriye ulaşan ve ortasında termit yuvasının en üstüne ulaşan bacaları olan, yüzeyi kanallı *Bacalı Termit Yuvaları*.

Bu üç yuva türü Şekil 11'de sembolik olarak gösterilmişlerdir. Hiç şüphesiz burada sembolik fiziksel model, termit yuvalarının ısı ve kütle transferi ile havalandırma mekanizmalarının açıklanması için geliştirilmiştir; termit yuvaları, Şekil 6'da verilen havalandırma açısından görüleceği üzere (alçılanmış ağı) morfolojik olarak çok karmaşık yapılardır.



Şekil 11. Sembolik gösterimli termit yuva türleri.

Literatürde, henüz hiçbir yuva türü için havalandırma mekanizmasını tam olarak açıklayan bir model geliştirilmediği görülmektedir. Bu eksiklik yuvaların geometrisinin karmaşıklığından ve deneysel çalışmalarda yuva içindeki sıcaklık, gaz konsantrasyonları, nem ve hava hızı dağılımlarının ölçülmesindeki zorluklardan kaynaklanmaktadır. Ölçümlerdeki önemli sorunlardan biri, yuva içindeki kanallara sokulan sensörlerin üzerlerinin termitlerin, 10 dakika gibi kısa bir zamanda yuva malzemesi ile kaplamalarıdır [43,54]. Bu tür çalışmalarda, termitler arasında indirekt haberleşme ve koordinasyon (stigmery) kullanılmaktadır. Müdahale edilecek alan bir feromon ile yerine sabitlenerek diğer termitlerin toprak taşınması için haber verilmektedir [18]. Hava hızının ölçülmesinde "iz gazlar" gibi dolaylı yöntemler kullanılırken [39], özel hız sensörlerin geliştirildiği de görülmektedir [44,43].

Literatür ışığında özetlenen termit yuva sistemlerindeki ısı ve kütle transferini etkileyen sınır şartları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Termit içindeki hava akımlarını, ısı ve kütle transferini etkileyen sınır şartları.

Yuva yüzeyinde		
1	Termit yuvasının yüzeyine gelen güneş ışınımı. (Güçlü dış sürücü)	☐
2	Dış hava sıcaklığı (Güçlü dış sürücü)	T_a
3	Dış hava nemi	☐
4	Yağmur	☐
5	Rüzgâr (Güçlü dış sürücü)	☐
6	Dış hava gaz (CO_2 , O_2 , metan) konsantrasyonları	C_i
Yuva içinde		
6	İç (biyotik) metabolizma ile ısı üretimi (Güçlü iç sürücü)	☐
7	Yuva altından nem transferi ve buharlaşmalı (evaporatif) soğutma	☐
8	Termitlerin hareketleri	

Gündüz, yuva geometrisine, coğrafi oryantasyonuna ve yüzey özelliklerine (porozite, yutma katsayısı) bağlı olarak dış yüzeye gelen güneş ışınımının bir kısmı yuva tarafından yutulur. Yutulan ışınım yuvadaki sıcaklık dağılımını ve dolayısıyla yuva içindeki doğal taşınımı etkiler. Yuvanın doğrudan güneş ışınımı almadığı hallerde (gece, orman gölgesi, vs) güneş ışınımının etkisi şüphesiz söz konusu değildir. Doğal mekanizmalarla yuvalarda yıl boyunca ve her iklimde, sıcaklık 30°C, karbon dioksit % 4-6 arasında, nem % 80 civarında tutulmaktadır [44,13].

Yuvadaki sıcaklık dağılımını etkileyen ikinci dış sürücü dış hava sıcaklığıdır. Dış hava sıcaklığı ile yuva yüzeyinin sıcaklığı arasındaki fark, yüzeydeki ısı transferinin yönünü, yuva içindeki sıcaklık dağılımını ve dolayısıyla yuva içindeki doğal taşınımı etkiler.

Dış havanın nemi ise yuvadan dışarıya difüzyonla olan nem transferinin belirleyicisi olan (zayıf) dış sürücü kuvvettir. Yuvadaki biyolojik yaşam için nem önemli bir parametredir ve optimum bir değerde (%80) tutulması sağlanmaktadır [13]. Yuva kabuğunda termitler tarafından geliştirilen kil tabakasının hem yuvadan nem kaybını hem de yağmurdan aşırı nem kazancını önleme fonksiyonlarını sağladığı öngörülmektedir.

Rüzgâr, kapalı yuva yüzeylerindeki gaz konsantrasyonlarını ve taşınımı etkileyen önemli bir etkidir. Ancak yuva içindeki kanal sisteminin yüzeye ulaşan kanallarla bağlantılı yuva türlerinde (Şekil 11, b ve c) yuva içindeki zorlanmış taşınım için güçlü bir sürücüdür. Rüzgârın söz konusu olduğu zamanlarda, rüzgâr yönündeki yüzeydeki delikler önünde oluşan basınç, deliklerden dış havanın yuva içine girerek, kanallardaki ve galerideki yüksek karbon dioksitli iç hava ile karışarak ve yuva içindeki havanın rüzgâra maruz kalmayan taraftaki deliklerden dışarıya çıkmasına neden olacaktır. Şüphesiz rüzgârın yönü ve şiddeti, dış yüzeyde, toprak yüzeyinden yuva tepesine kadar olan basınç dağılımını etkileyecektir. Dış toprak üzerinde gelişen sınır tabaka nedeniyle toprak yüzeyinde basıncın maksimum olması ve bu nedenle toprak seviyesindeki kanallarda yuva içine doğru hava akımının gelişmesi, özellikle çıkışları rüzgâra paralel üst deliklerde de ventüri etkisiyle yuva içinden dışarıya doğru hava akımlarının oluşması öngörülmekte ve gözlenmektedir. Rüzgâr, yuvalar içindeki karışık akımın zorlanmış taşınım bileşenini geliştirmektedir.

Yağmur ve rüzgârın diğer bir etkisi yuvaları fiziksel olarak aşındırmalarıdır. Aşınan yuvaların (bacaların) termitler tarafından eski haline getirildikleri not edilmiştir [38].

Yuva içinde termitler ve mantarlar tarafından üretilen metabolik ısı üretimi de, yuva içindeki doğal taşınım hava hareketlerinin sürücü kuvvetidir. Koloninin ve bağlı olarak mantar bahçelerinin ürettikleri enerjinin büyüklüğü (yaklaşık 100 watt değerinde) [55,25] termosifonik hava akımının büyüklüğünü etkiler.

Yuva içindeki yaşam için gerekli nem, yuvanın toprak altında kalan kısmından gelir. Bazı yuvalarda yuva altında on metre derinliğe kadar nem kanalları olduğu izlenmiştir. Termitler, metabolizmaları ve yuvalarını yapmak için suya gereksinim duyarlar. Su bulmak için kuru ve çöl bölgelerde yer altı suyuna kadar inebilirler. Bazı yuvalarda yuva altında on metre derinliğe kadar nem kanalları olduğu izlenmiştir. Yaş toprağı hava girişlerine kadar taşıyarak, içeriye giren havanın buharlaşmalı soğutma ile sıcaklığının düşmesini de sağlarlar. Çok sıcak bölgelerde bile sıcaklığın 1°C'den daha fazla artmasına izi vermezler [51].

Yuva içindeki kanallarda termit hareketleri, "piston" etkisi ile hava hareketini etkileyen bir (zayıf) sürücü olarak öngörülmektedir. Güçlü sürücüler olan güneş ışınımının, dış hava sıcaklığına bağlı ısı transferinin ve yuva tabanında üretilen ısının geliştirdiği mekanizmalar doğal taşınımıdır. Açık yuvalarda güçlü sürücü olan rüzgârın, dış yüzeyi delikli olan yuvalarda geliştirdiği basınç dağılımının neden olduğu zorlanmış taşınım ile birlikte doğal taşınım, yuva içinde bir karışık taşınım oluşturmaktadır.

Zamana ve yuva yerine-coğrafyasına bağlı olarak değişen bu sınır şartlarının (dış ve iç sürücülerin) birleşik etkisi de zamana, yuva türüne ve yüzey morfolojine bağlıdır. Bu sınır şartları altında termit yuvalarında gelişen taşınım ve buna bağlı havalandırma mekanizmaları için farklı modeller geliştirilmiştir. Tablo 3'te, literatürde 1970'li yıllardan bu yana deneysel çalışmalarda gözlenerek, yuva türüne, coğrafyaya, ölçüm sistemlerinin uygunluğuna ve hassasiyetine bağlı olarak geliştirilen, kuluçka bölgesinden karbondioksit ve metanı kabuk yüzeyine ve dış ortama taşıyan taşınım modelleri verilmiştir. Henüz tüm termit yuvaları için genel bir model geliştirilmemiştir.

Farklı coğrafyalarda farklı havalandırma mekanizmalarının öne çıkması, termitlerin mantarlar ve bakteriler ile simbiyotik yaşam sürdürdükleri yuvalarını buldukları yere ve iklim koşullarına göre mi inşa ettikleri sorusunu öne çıkarmaktadır. Bir başka soru da yapılan gözlemler (rüzgârın kesilmesi gibi) bazı sınır şartlarındaki değişikliklerin, termit yuvaları içindeki karbondioksit konsantrasyonunu, (difüzyon, termosifon gibi) diğer sürücülerin öne çıkması ile belli sınırlar içinde tutmaya imkân verecek yapıda olup olmadıklarıdır. Afrika termitlerinde karbondioksit konsantrasyonunun belli sınırlar içinde, %5 (□ 1), değişmesi; bazı yuvaların düz, bazılarının girintili çıkıntılı katedral (kanatlı) yüzey morfolojisine sahip olması; toprak üstünde yükselen yuva yüzeyine gelen güneş ışınımını maksimize etmek için, buldukları yerin azimuth açısında eğim verilmesi, ağaç gölgesini aşmak üzere yükselmeleri ve yuva şeklinin buldukları yerin toprağının yapısına ve özelliklerine göre gelişmesi [25] gibi olgular, bu sorulara olumlu yanıt vermeyi güçlendirmektedir.

Tablo 3. Yuvalarda taşınım modelleri [15,46,44,51]

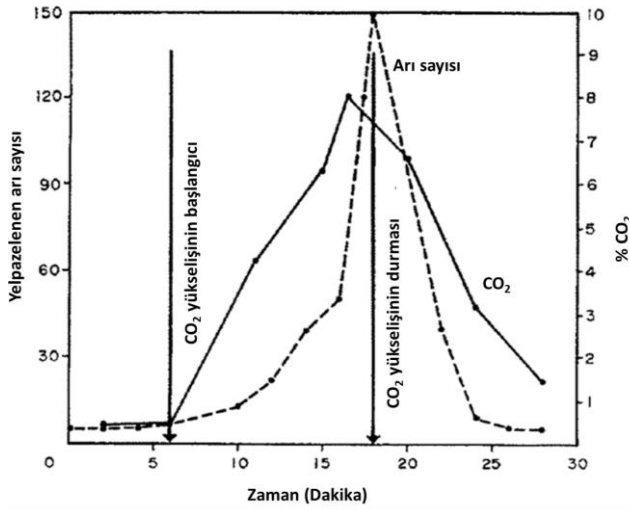
Yuva türü	Öngörülen taşınım
Kapalı yuva	Mantar bahçesinde üretilen metabolik ısının yarattığı termosifon akımı-doğal taşınım.
Açık yuva	Açık bacada rüzgârın yarattığı venturi etkisi ile bacadan dışarı (□) zorlanmış taşınım.
Kapalı yuva	Gün boyunca dış sıcaklığın değişimi ile yuva sıcaklığının gün periyotlu salınımının yarattığı akış mekanizması - doğal taşınım.
Açık ve kapalı yuva	Değişken türbülanslı rüzgâr tarafından sürülen, sirkülasyonsuz veya tek yönlü olmayan (memelilerdeki akciğerin analoğu) gel-git ²² (□□) mekanizması-zorlanmış taşınım. Rüzgâr hızının zamanla yüksek frekanslı değişimi, yuvanın bir filtre (low-pass filter) olarak davranması nedeniyle daha kararlı bir değişim.
Kapalı yuva	Gündüz: Yuva kabuğuna dış sürücüler (dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı) sebebiyle ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık gradyanının sürdüğü hava hareketi-doğal taşınım. Gece: Hava kanallarında yüksek karbondioksit konsantrasyonlu durgun hava. Yuva içinde karbondioksit transferi difüzyonla.
Kapalı yuva	Gündüz: Yuva kabuğuna dış sürücüler (dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı) sebebiyle ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık gradyanının sürdüğü, kabuğun dış yüzeyine yakın bölgesinde aşağı (□) doğru, yuvanın ortasında yukarıya doğru(□), sirkülasyonlu hava akımı – doğal taşınım. Gece: Tersine hava sirkülasyonu (□).
Kapalı yuva	Gündüz: Yuva kabuğuna dış sürücüler (dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı) sebebiyle ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık gradyanının sürdüğü, kabuğun dış yüzeyine yakın bölgesinde yukarı (□) doğru, yuvanın ortasında aşağıya (□) doğru, sirkülasyonlu hava akımı – doğal taşınım. Gece: Tersine hava sirkülasyonu (□).
Kapalı yuva	Gündüz: Yuva kabuğuna dış sürücüler (güneş ışınımı) sebebiyle ısı transferi sonucu oluşan sıcaklık gradyanının sürdüğü, kabuğun dış yüzeyine yakın bölgesinde yukarı doğru (□), ışınım almeyan yüzeye yakın bölgede aşağıya doğru(□) yuvanın ortasında aşağıya doğru, sirkülasyonlu hava akımı – doğal taşınım.

²² Zamanla değişen rüzgâr hızı sebebiyle yüzeye ulaşan kanal açıklıklarındaki basıncın, dış yüzeydeki basıncın altında ve üstünde olması nedeniyle kanal sistemi içine havanın girmesi veya çıkması ile gaz (oksijen ve karbondioksit) transferi.

4. ARI KOVANLARINDA HAVALANDIRMA

Bal, beslenme ve farmakolojik açıdan bir değer taşıdığından, arı tarımı (arıcılık) tarihi 2000 yıl öncesine kadar gitse de kovan habitatı ilki 1850 yılında Amerika'da Lorenzo Langstroth tarafından geliştirilmiştir ve Langstroth ismiyle anılan modern kovanlar olarak ilgi görmektedir. Arıların tabiatta doğal olarak geliştirdikleri kovanların havalandırılması üzerine bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bu çalışmada değerlendirilen kaynaklar, modern kovanlardaki havalandırma mekanizması ile ilgili araştırmalar ve derleme çalışmalarıdır.

Sosyal böcekler gurubunda yer alan arıların doğal kovanlarında havalandırma, termit yuvalarında olduğu gibi, optimum ısıl konfor şartları ve solunumları için iç hava kalitesini sağlamak üzere yapılmaktadır. Genel olarak arıların normal aktiviteleri için en uygun sıcaklık 21 °C – 35 °C arasındadır [56]. Kuluçka bölgesinde (Kraliçe arının etrafında) sıcaklık nominal olarak 35 °C, değişim aralığı olarak 33-36 °C civarında, yuva içinde karbon dioksit %1 ile %2 arasında tutulmaktadır [57,58,59]. Arılar anteni karbondioksit sensörleri ile [57], sayıları gereksinime göre belirlenen dron üyelerle (Şekil 12), günümüz terminolojisiyle talep kontrollü havalandırma yapmaktadırlar. Yapılan gözlemlerde dron arıların, CO₂ değişimine göre gösterdikleri davranışı bir başka gaz (azot) için göstermedikleri belirlenmiştir. Kovan için CO₂ kontrolü aracılığıyla yapılan havalandırma sonucunda oksijen kontrolü dolaylı olarak sağlanmaktadır.

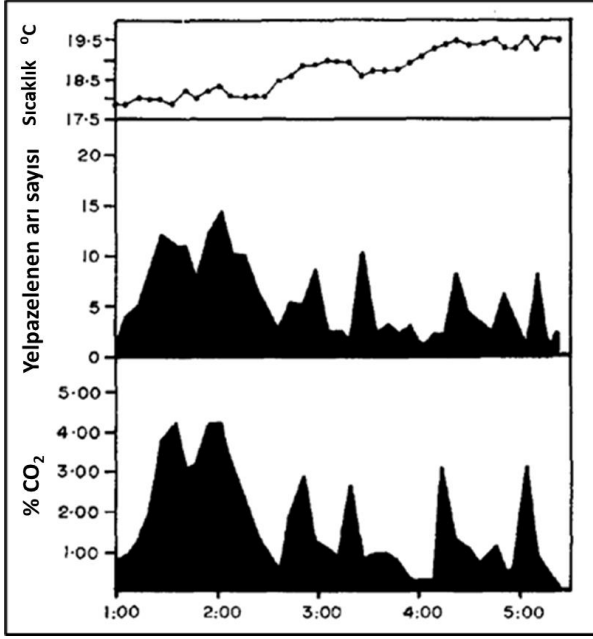


Şekil 12. Yuva içindeki CO₂ konsantrasyonu ile yelpazelenen dron arı sayısının değişimi [60].

Kovanlardaki havalandırma konusunda yapılan öncü bir deneysel çalışmaya [60] göre, küçük (10000 arı) ve büyük (35000 arı) iki koloniyi barındıran iki kovanda ölçülen CO₂ konsantrasyonlarının değişimi Tablo 4'de, 4 saatlik bir zaman diliminde CO₂, yelpazelen dron sayısı ve sıcaklık değişimleri Şekil 13'de verilmiştir.

Tablo 4: Küçük ve büyük iki koloninin bulunduğu kovanlarda karbon dioksit konsantrasyon değerleri [60].

Koloni büyüklüğü	Ortalama CO ₂ konsantrasyonu (%)	Standart sapma (%)	Maksimum sapma (%)
Küçük	0,44	0,16	0,32
Büyük	0,78	0,34	1,21



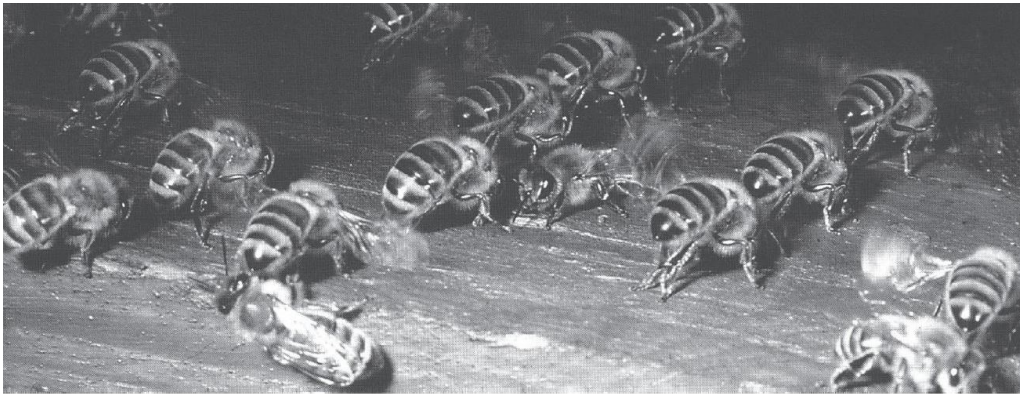
Şekil 13. Kovanda CO₂, yelpazelen dron sayısı ve sıcaklık değişimleri [60].

Güncel çalışmalarda da sıcaklık değişiminin yaklaşık periyodik değişimi gözlenmiş, değişen dış hava nemine karşı kovan içi nemin ise dış havanın ortalama değişim eğilimini daha düzgün bir değişim ile izlediği belirlenmiştir [56].

Havalandırma Mekanizması

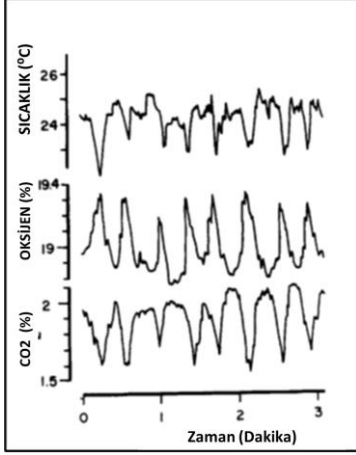
Kovanlarda havalandırma, “arıların metabolizması sonucu, karbon dioksit ve su buharı gibi emisyonların uzaklaştırılması, yaşamları için gerekli oksijenin sağlanması ve peteklerdeki nektarın kurutulması ile balın oluşturulması için zorunlu” bir işlem olarak tanımlanmıştır [59]. Kovanlarda üç çeşit koloni üyesi söz konusudur: Ömrü 2-3 yıl olan kraliçe, ömürleri birkaç hafta ile ay arasında değişen dişi işçi arılar ve ömürleri birkaç hafta olan erkek dron arılar [59]. Havalandırma işlemi dron arılar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Termit yuvalarında yuva morfolojisi, iç ve dış ısıl sürücüler tarafından birden fazla mekanizmanın etkileşimi ile sağlanan havalandırma, kovanlardaki bir tek mekanizma ile, dron koloni üyelerinin kovan girişinde yelpazelenmesi (zorlanmış taşınım) ile gerçekleşmektedir: Dron üyeler kovan girişinde buldukları yerlere tutunarak, kanatlarını yüksek frekansta yelpaze gibi kullanarak, arka arkaya kaskat bir dizilişle havayı hareket ettirmektedirler (Şekil 14). Aerodinamik açıdan, dron arıların yelpazelenmesi “non-stationary aerodynamics” konusu olarak ele alınmış ve incelenmiştir; saniyede 2000 kare çeken video kamera kullanarak yapılan deneylerde, arıların kanat çarpma frekansı yaklaşık olarak 110 Hz olarak ölçülmüştür [61].



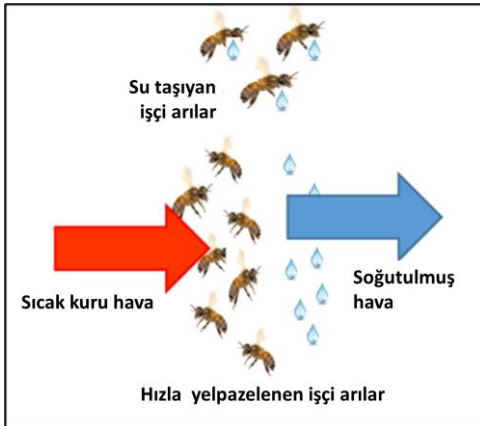
Şekil 14. Sıralı dron arılarının yelpazelenmesi [61].

Dron üyelerin yelpazelenmesi, kovan içinde üretilen karbon dioksit emisyon hızına bağlı olarak, (tidal) gel-git mekanizması olarak daha önce tanımlanan yaklaşık periyodik bir karakteristiğe sahip olduğu (Şekil 15), yapılan deneysel çalışmalardan [60,57,62] anlaşılmaktadır. Bir çalışmada, kovan içinde karbon dioksitin, biri sabah erken saatlerde büyük, diğeri akşam saatlerinde daha küçük olmak üzere iki tepe noktası olduğu gözlenmiştir; bu sonuç arıların 24 saatlik yaşam döngüsüne (circadian ritm) bağlı karbon dioksit üretimi ve gündüz saatlerinde dış havadaki karbon dioksitin fotosentez yoluyla azalması ile uyumlu görülmüştür [63].



Şekil 15. Kovan içinde sıcaklık, oksijen ve karbondioksitin dron arıların yelpazelenmesi ile yaklaşık periyodik değişimi [57]

Kovanlarda sıcaklığın belli değerler arasında tutulması koloni yaşamı için önemlidir. Dış sıcaklığın uygun olduğu zamanlarda, sıcaklık kontrolü, oksijen kontrolü gibi, havalandırma yoluyla sağlanmaktadır. Ekstrem sıcaklıklarda farklı tedbirler de alınmaktadır. Kış aylarında düşük sıcaklığın etkisinde korunmak üzere, kovanda depolanmış balın kullanılmasıyla metabolik ısı artırılarak, kuluçka bölgesinde sıcaklık 35 °C'ta tutulmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklarda da kovan için dron arıların bıraktıkları, etrafında yelpazelenerek hava hareketi yarattıkları damlacıkların ve yine dron arı hareketleriyle sağlanan hava akımı sayesinde nektardan buharlaşma yoluyla sağlanan buharlaştırmalı soğutma ile (Şekil 16) sıcaklık kontrolü sağlamaktadır [57,64,58].



Şekil 16. Kovanda buharlaştırmalı soğutma [58].

Arı kolonisi, kovanda ısı ve havalandırma kontrolünü sağlamak üzere, kovandaki dış ortama açıklıkları kontrol etmektedirler. Giriş açıklığı dışında tüm açıklıklar ve aralıklar, propolis²³ ile kapatılmaktadır. Havalandırmanın önemi sebebiyle kovana, kovan bakıcıları insanlar tarafından açılan delikler bile arılar

²³ “Yunanca'da giriş ve savunma anlamına gelen "pro" ve şehir anlamına gelen "polis" kelimelerinin birleşiminden oluşan propolis, arıların kovanlarının güvenliğini ve hijyenini sağlamak için ürettiği bir tür reçinedir” [https://www.medicalpark.com.tr/propolis-nedir/hg-2263].

tarafından kapatılmaktadır [57,56,58]. Kış aylarında düşük sıcaklığın etkisinden korunmak üzere, kovanda depolanmış balın kullanılması, metabolizma yoluyla ısı kazancının artırılmasıyla, kuluçka bölgesinde sıcaklık 35 °C' ta tutulmaktadır.

Arı kovanlarındaki biyo-mekanik havalandırma sisteminin, modern mimari ve mühendislikte biyomimikri açısından ilgi çeken bir alan olarak hissedilmemesine karşılık, dron arılarının yarattığı gel-git mekanizması, tek oda için geliştirilen ısı geri kazanımlı mekanik (zorlanmış) havalandırma ünitelerinde kullanılmaktadır. Bu tespit doğadan ilham alındığının üzerine değil gözleme dayalı benzerlik üzerine yapılmıştır. Bu tür ısı geri kazanımlı havalandırma ekipmanlarında, periyodik olarak yön değiştiren hava hareketi sağlanarak, önce havalandırılan hacimdeki hava bir ısı eşanjöründe geçirilerek dışarıya atılmakta daha sonra (genel olarak 60-90 s arasında değişen bir zamanda) aynı eşanjör üzerinden ters yönde dış hava geçirilerek aynı hacme basılmaktadır. Böylelikle ısıtma veya soğutma için harcanan enerjinin bir kısmı geri kazanılmaktadır. Enerjinin geri kazınması göz ardı edilirse, iç hava kalitesinin sağlanmasında kullanılan gel-git mekanizması dron arılarının kullandığı gel-git mekanizması ile aynıdır.

Modern kovanlarda bio-mekanik yolla yapılan havalandırma araştırmaları, kovan verimliliği açısından balın ekonomik değeri göz önüne alınırsa önemli çalışmalardır. Ayrıca aerodinamik açıdan, dron kaskat yelpazelenme hareketi dikkat çekicidir. Kovanlardaki havalandırmaı sağlayan dron arıların, yelpazelenme hareketinin başlatılması ve grup olarak organizasyonu, havalandırma kontrolü açısından incelemeye değer bir konu olarak görülmektedir.

5. MİMARİDE BİYOMİMİKRI

“Biyomimikri²⁴ yaşam anlamına gelen “bios” ve taklit etmek anlamına gelen “mimesis” kelimelerinin birleşiminden türetilmiş, doğanın en iyi fikirlerini inceleyen ve daha sonra insanların sorunlarını çözmek için bu tasarımları ve süreçleri taklit eden yeni bir disiplindir” [14]. Mimarideki biyomimikri ise, sadece doğadaki tasarımı değil doğal yapıları, doğanın ısıtma soğutma, doğal ışıktan koruma ve havalandırma gibi etkin fonksiyonlarını kullanma düşüncesiyle uyarlamaktır [65]. Doğal yapılar, doğa yasalarıyla uyumlu, canlıların sezgisel (heuristic) çözümleridir. Farklı Reynold rejimlerinde uçtukları, doğa yasalarının kullanıldığı bilgisayar çözümleri sonucu şekillendiği belirtilse de kuşların en hızlısı olan, günde 100 km uçabilen, 300 km/saat hızla avına doğru dalabilen şahin (Falcon - Falco peregrinus) ile B-1 bombardıman uçağı arasındaki benzerlik (Şekil 17), modern tasarım yöntemleri çözümlerinin doğadaki çözümlerle benzerliğinin şaşırtıcı örneğidir [66].

İçlerinde Mimar Sinan'ın da bulunduğu yaşamış en şöhretli 16 mimar [67] arasında yer alan Gaudi'nin ünlü eseri Sagrada Familia, biyomimikrik mimari alanında en öne çıkan çekici 10 binadan bir tanesidir (Şekil 18) [68]. *“Bir ormanda yürüyüş hissi uyandıran bu şaheserde Gaudi, estetik amaca ilave olarak, doğal yapı formlarını inşaatta kullanılan malzeme miktarını azaltmak için de kullanmıştır. Gaudi katı, düz çizgiler yerine doğanın eğrisel, organik modelleri kullanıldığında nelerin mümkün olabileceğini göstermiştir”* [69].

²⁴ “Biyomimikri Enstitüsü tarafından ilan edildiği şekliyle biyomimikrinin temel fikri, zorunlu olarak yaratıcı olan doğa, boğuştuğumuz birçok sorunu zaten çözmüştür. Dünyadaki başlıca yaşam türleri bakteriler, protoktistler, mantarlar, hayvanlar ve bitkilerdir ve hepsi de mükemmel halde hayatta kalmışlar, Dünya'da neyin işe yaradığını, neyin uygun olduğunu ve en önemlisi kalıcı olduğunu bulmuşlardır... Termitler simbiyotik gezegenimizde 300 milyon yılı aşkın süredir deneyler yapıyorlar ve onların sayıları ve dağılımları, doğal seleksiyon süreciyle etkileşimli evrimsel (co-evalutionary) başarılarını kanıtıyor. Doğanın dehasını bilinçli olarak taklit etmek istiyorsak, doğaya farklı bir şekilde bakmalıyız. Biyomimikride doğaya model, ölçü ve akıl hocası olarak bakıyoruz.

Model olarak doğa: Biyomimikri, doğanın modellerini inceleyen ve sonra bu formları, süreçleri, sistemleri ve stratejileri insan sorunlarını sürdürülebilir bir şekilde çözmek için kullanmaya çalışan yeni bir bilimdir. Ölçü olarak doğa: Biyomimikri, yeniliklerimizin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için ekolojik bir standart kullanır... Yaklaşık 4 milyar yıllık evrimin ardından doğa neyin işe yaradığını ve kalıcı (sürdürülebilir) olduğunu öğrendi. Akıl hocası olarak doğa: Biyomimikri, doğayı görmenin ve ona değer vermenin yeni bir yoludur. Ekolojik okuryazar olmamız gerektiği görüşünü benimsemek gerekiyor. 'Eko-okuryazar' olmak ekolojik toplulukların (ekosistemleri) örgütlenme ilkelerini kavramak anlamına gelir ve sürdürülebilir insan toplulukları yaratmak için bu ilkeleri kullanmak demektir. Eğitim, yönetim ve politikada ekolojik prensipler manifesto olmak üzere bizim (eğitim, iş ve politik topluluklarımız dahil) topluluklarımızı yeniden canlandırmamız gerekiyor... Sistematik düşünmek demek, enerji, tarım, ekonomi, güvenlik ve iklim değişikliği ayrı konular değil, tek bir küresel sistemin farklı yönleri olduğunu düşünmek demektir. Sistematik düşünmek, savunmasızlığımızın temel nedenlerinin hem sosyal hem de teknolojik olduğunu anlamaya yönlendirir ve bunlar bizim kaynak-sömürücü, savurgan ve tüketim odaklı ekonomik sistemimizin sonuçlarıdır” [14].

"Böcek dünyasının birçok mimarı arasında termitler hiç şüphesiz hüküm süren hükümdarlardır. Bu minik böceklerin topraktan, sudan ve kendi tükürüklerinden inşa ettikleri toprak yığınları, insan yapımı kaleler kadar karmaşık, hatta daha karmaşıktır. Esrarengiz yapılar, biyologların ilgisini çekmekte, mimarlara ilham vermekte ve hatta robotik uzmanlarını onları incelemeleri ve taklit etmeleri için büyülemektedir" [20]. Termit yuvaları, doğal yakın çevresel malzemelerle eklemeli üretimleri, bütünleşmiş doğal havalandırma mekanizmaları ile günümüzün enerji duyarlı mimari ve mühendislik yaklaşımları için çok ilgi çeken doğal yapılar olarak görülmektedir.



Şekil 17. Şahin ve B-1 bombardıman uçağı: Biyomimetrik benzeşim [66].



Şekil 18. Sagrada Familia bazilikasından görüntüler [69].

Termit yuvalarındaki bütüncül havalandırma sisteminden esinlenerek geliştirilen ve yine biyomimikrik mimari alanında en öne çıkan çekici 10 binadan biri, yapımı 1996 yılında tamamlanan Eastgate Merkezi'dir (Harae, Zimbabve) (Şekil 19) .



Şekil 19. AVM ve Ofis binası Eastgate Merkezi (a) dış görünüş [70], (b) atrium [71].

Eastgate Merkezinin tasarım amaçlarından biri, tropikal bir iklime sahip olan bölgede, iklimlendirme sistemlerinin yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin düşürülmesidir. Binada, sıcaklığın kontrolü için aktif ısıtma ve soğutma sistemi kullanılmamakta, termit yuvalarından esinlenerek, bina içindeki havayı bina üzerindeki bacalara aktif olarak (fanlarla) yönlendiren, doğal soğutma (free cooling) ve soğu depolama mekanizmalarını kullanan bir havalandırma sistemi kullanılmaktadır [72,70]. Literatürde tasarım detaylarının olmadığı uygulamada, binanın soğutulmasının dış yüzeye entegre edilen kanatçıklarla güçlendirildiği, gece periyodunda dışarıdan çekilen hava ile beton bloklarında soğu depolandığı, gündüz bina içinde ısınan havanın bacalardan egzoz edildiği, bu havanın yerine dışarıdan çekilen sıcak havanın soğu depolanmış elamanlar üzerinden geçilerek sıcaklığının düşürüldüğü ve böylece hem havalandırma hem de soğutmanın yapıldığı, söz konu mekanizmanın çalışması için de bina içinde hava akış açıklıklarının, termit yuvalarından esinlenerek düzenlendiği anlaşılmaktadır. Literatürde termit yuvalarından esinlendiği belirtilse de termit yuvalarındaki doğal havalandırmayla belirgin bir benzerliğinin olmadığı, sisteminin gece düşük hava sıcaklığına bağlı bir pasif soğutma (free-night cooling) sisteminin, soğu depolanması ile entegre edilerek uygulandığı izlenimi doğmaktadır.

Simbiyotik yaşamın sürdüğü homeostatik termit yuvalarındaki havalandırma, termitlerin delik kapama ve kanallar içindeki çok düşük ölçekli mekanik piston etkisinin dışında tamamen doğal sürücülerin yardımıyla geliştirilen, bir doğal havalandırma sistemidir. Böyle bir sistemin binalarda gerçekleştirilmesi için önce doğal havalandırmanın tüm değişkenleriyle karmaşık doğasının gözden geçirilmesi gerekir.

Bir binadaki yaşam hacimlerinin, kimyasal ve biyolojik riskleri kabul edilebilir sınırlara indirecek doğal taşınım ile havalandırılması için aşağıdaki değişkenlerin tümünün birlikte ele alınması gerekir:

1. Bina morfolojisi
 - Form
 - Hacim ilişkileri
 - Hacim çevre ilişkileri
2. Binanın coğrafi konumu
3. Binanın oryantasyonu
4. Yerel iklim şartlarının günlük, mevsimsel değişimleri
 - Sıcaklık
 - Güneş ışınımı
 - Rüzgâr hızı
 - Rüzgâr yönü
 - Nem
5. Binanın çevresel şartları
 - Albedo
 - Yapay çevre
 - Binanın fonksiyonu (kimyasal ve biyolojik kütle transferi)
6. Bina içindeki hareketlilik
7. Dış hava kirliliği ve zamanla değişimi
8. Yapı malzemeleri karakteristikleri
9. İklimlendirme modu
 - Isıtma

- Soğutma
- Nötr sezon
- 10. Kullanılacak iç dekorasyon ve eşya geometrisi
- 11. Binaya olası (biyolojik ve kimyasal) kütle transferi
- 12. İnsan fizyolojisi (ısı ve hava kalitesi konforu)
- 13. Yapım, işletme, bakım ekonomik parametreleri
- 14. Yerel kültür

Günümüz algoritmasına göre, önce birikmiş deneyimlere bağlı olarak bina geometrisi (morfolojisi) belirlenmekte, o geometrinin belirlediği sınırlar içinde, diğer değişkenler göz önüne alınarak, lineer gelişen mevcut teknoloji içinde çözümler aranmaktadır. İdeal olan ise, termit yuvalarında örneği görüldüğü üzere [2], tüm bu değişkenlerin ve etkilerinin, yapım süreci içinde eş zamanlı değerlendirilmesi ile binaların, “ilk prensip (ilke) düşüncesiyle²⁵ ve “biyolojiden insan ihtiyaçlarına yaklaşım” algoritması ile (Şekil 20) varılmış bir paradigma değişimiyle şekillendirilmesidir.

Daha önce verildiği üzere, karmaşık kanal sistemi ile bir termit yuvasındaki doğal taşınım, yerel şartlara ve ölçüm sistemlerine bağlı deneysel ve çok sınırlı, basitleştirilmiş tekil kanal simülasyonlarından daha öteye geçememiştir. Yeni paradigmanın temelini doğanın, havalandırma alanında özellikle termit yuvaları ve benzerlerinin, yapılan sayısal analizlerin belirlediği zorlukları [15] aşmak üzere, çok güçlü bilgisayarlarla, biyolojik zekâ ile bütünleşmiş yapay zekâ ile simülasyonunun ve eklemeli üretim ile geliştirilmiş modellerinin deneysel incelenmesinin belirleyebileceği öngörülmektedir.



Şekil 20. Biyolojiden insan ihtiyaçlarına yaklaşım algoritması [73]

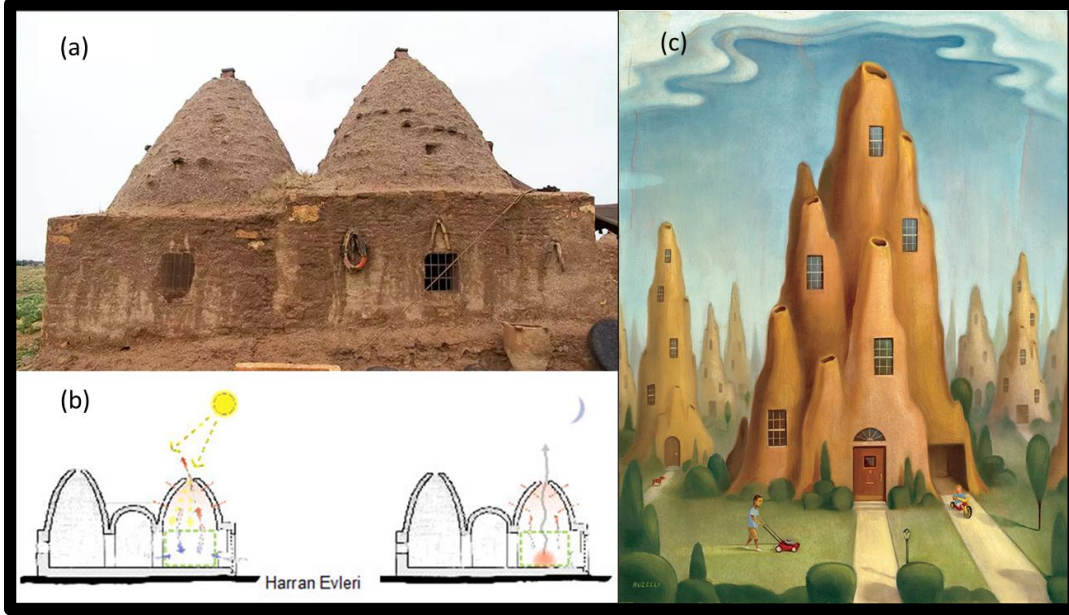
Günümüzde var olan bilimsel ve teknik araştırma yöntemlerinin kullanılmasıyla, Harran evlerinin havalandırmaya yönelik ısı ve kütle transferi analizleri, yapılacak yeni araştırmaların öncüsü olarak kabul edilebilir.

Harran evleri

Modern bilim ve yapı teknolojisi, termit yuvalarındaki doğal havalandırmanın modern yapılara adaptasyonu konusunda çalışmalar sürdürürken, Mezopotamya ev kültürünün bir parçası olan ve “Arıkovanı Evi (Beehive House) olarak da tanımlanan Harran evleri Şekil 21a ile termit yuvalarının mimarisi arasında dış yüzey geometrisi, yerel malzemelerin (kerpiç) kullanılması ile yığma inşaat tekniği ve havalandırma mekanizması açısından fark edilir benzerlikle içermektedir. Afrika Termit yuvaları gibi, Güneş ışınımının yüksek olduğu bölgede kullanılan geleneksel kubbelerin en üstündeki ana baca ve kubbe çevresindeki delikler, ev tabanında çeşitli amaçlarla kullanılan ısı kaynaklarından yayılan gazların dışarıya atılması için termit yuvalarındaki baca ve yüzey çıkışlarının görevini yüklenmektedir (Şekil 21b).

²⁵ “İlk ilkeler(prensip) düşüncesi, varsayımlara meydan okumanın ve karmaşık sorunları en temel öğelerine ayırarak ve sıfırdan yeniden bir araya getirerek çözmenin bir yoludur. Antik çağlardan beri filozof Aristoteles tarafından kullanılan ve son zamanlarda Elon Musk tarafından kullanılan bir yöntemdir. Bir süreci, en temel ve güvenilir olan temel parçalarına veya altında yatan varsayımlara indirgemeye ve ardından oradan inşa etmeye teşvik eder. Bilimde, bir ilk ilke, o sistemdeki başka herhangi bir önerme veya varsayımdan çıkarılamayan bir aksiyom olarak tanımlanır” [<https://modelthinkers.com/mental-model/first-principle-thinking>].

Geleneksel kubbe, termit yuvaları gibi, zamanla ve açışal olarak değişen ısıl gradyan yaratmaktadır. Harran mimarisinde ısı ve kütle transferi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Biyomimikri açısından, Harran evlerindeki doğal taşınımın incelenmesi, özellikle geleceğin yapı teknolojisinin önemli bir parçası olacağı düşünölen 3 boyutlu yazıcılar ile geliştirilecek konseptlerle (Şekil 21c), doğal havalandırma çözümlmeleri için önemli ipuçları verebilir.



Şekil 21. (a)Harran evleri (a), (b) öngörölen doğal hava sirkölasyonu, (c) bir yeni bina formları öngörüsü [74,75,76].

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

19 yüzyılın son çeyreğinde Edison 'doğru', Tesla'nın 'alternatif' akımı ile ucuzluk yarışmasında, insanların hayatına giren elektrik, artık gezegenimiz için, ucuzluğun ötesinde yeterince tartışıldığı ve kabul gördüğü şüphe götüren, küresel sorunların kaynağı olmuştur. İnsanlar, hala '19. yüzyıl paradigmaları ve 20. yüzyıl teknolojisiyle', hedef sınırlarının henüz belli olmadığı tasarruf çabalarıyla, bu sorunlara çözüm aramaktadır. Enerji tüketiminde önemli bir paya (%30) [77]) sahip bina hizmet sistemlerinde enerji tasarrufu, sürekli çözüm aranılan bu alanlardan biridir.

20. yüzyılın son çeyreğinde dünyanın yaşadığı ekonomik enerji krizlerinin sonuçları 21. yüzyılın başlangıcında Binalarda Enerji Performansı (PEB) kavramının geliştirilmesine ve nihayet binalar için enerji performans sertifikasyonu uygulamasına ve performanslara dayalı kısıtlamaların getirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmalar, iç çevre kalitesi parametrelerinden biri olan ısıl konfordan vazgeçilmeden mümkün olan en az enerjinin tüketimine yöneliktir. COVID-19 deneyimi ve benzeri küresel biyolojik salgın tehditleri de sağlık riskini en düşük seviyeye indirecek "görünmez" iç hava kalitesinin yeni standartlarıyla "Binaların Havalandırma Performansı" (BHP) kavramını gündeme getirmekte ve ilgili mühendislik-mimarlık tasarım ve kamusal düzenlemelerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Mekanik havalandırma alanında söz konusu kamusal düzenlemeleri yapmak, doğal havalandırmaya göre çok basit sistematik bir yaklaşımı gerektirmektedir. Doğal havalandırmanın bağlı olduğu yukarıda verilen parametreler göz önüne alındığında, Binaların Doğal Havalandırma Performansı (BDHP) ile ilgili alanın tanımlanması ve gerekli düzenlemelerin yapılmasının öncesinde, yapay zekâ (AI) ve eklemeli üretim ile, pek çok temel ve uygulamalı araştırmanın yapılmasının gerektiği öngörülmektedir. Bu alan sadece binaların kendisi ile ilgili bir alan olmayıp binanın çevresini de içerdiğinden, şehir planlamasıyla da yakından ilgilidir. Antik çağlardan bu yana çoğunlukla ısıl konfor gerekliliğiyle doğal havalandırma üzerinde pek çok araştırma yapılmıştır. Son yıllarda bu araştırmaların biyolojik kirlilikten kaçınmaya yönelik risk araştırmalarıyla yoğunluk kazandığı görölmektedir. Günümüz bilgi teknolojisi kapalı hacimlerde doğal taşınım analizlerini daha güvenilir olarak yapmayı mümkün kılmaktadır. Ancak yapılan doğal taşınım çalışmaları incelendiğinde genellikle farklı sınır koşullarına

sahip “tek” hacimlerin analizleri olduğu görülmekte ve bu çalışmalardan, COVID-19 ve benzeri biyolojik ataklara karşı bina tasarımları ve/veya işletim sistemi esasları türetmek olası görülmemektedir. Bu alanda daha kapsamlı ve binalara, “doğal taşınım sistemleri kompleksi” olarak, “bütünsel” bir bakış açısıyla, yeni paradigma değişimleriyle yaklaşılabilir analizlere ihtiyaç vardır.

Mimari ve mühendislikte biyomimikri alanındaki gelişmelerden milyonlarca yıl önce doğada biyomimikri yaklaşımının sezgisel olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Taksonomik olarak termitlerin ve arıların dahil olduğu böceklerin kendi trake solunum sistemlerinin prensiplerine uygun olarak, yuvalarını inşa ettikleri görülmektedir.

Kutsal hale gelmiş günümüz sosyal-ekonomik-teknik varsayımlarıyla, gezegenimize kazandırdığımız küresel sorunları çözmemiz mümkün görünmemektedir. Yaratılan sorunlar insanlık için ölümcül bir hale gelmektedir. Hava kirliliği ve sonuçları bu problemlerden biridir. İnsanlığın termitler gibi, her adımında doğa kanunlarını göz ardı etmeden yeniden yürümeye başlaması, türünün kurtuluşu için yeni gezegen arayışını önleyebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. STRAUTMAN, K. “Gaudí, Biomimicry, and Bonsai”. Retrieved February 28, 202. <https://bonsaimirai.com/node/710>
- [2]. <https://seas.harvard.edu/news/2019/02/how-termite-mounds-get-their-shape>
- [3]. <https://www.biologyonline.com/dictionary/living-thing>
- [4]. BRATERMAN, P.S. “How Science Figured Out the Age of Earth”. Scientific American, October 20, 2013. <https://www.scientificamerican.com/article/how-science-figured-out-the-age-of-the-earth/>
- [5]. “Earth Without Oxygen” America Museum of Natural History. <https://www.amnh.org/explore/videos/earth-and-climate/the-rise-of-oxygen/earth-without-oxygen>.
- [6]. LYO, G. vd. “Rapid Oxygenation of Earth’s Atmosphere 2.33 “Billion Years Ago.” Science Advances, Vol. 2, no. 5, (May 2016).
- [7]. ANBAR, A.D. “The Great Oxidation Event”. Arizona State University. https://cdn.egu.eu/media/filer_public/3a/87/3a870253-16b0-4f3b-a11e-253b86744d42/anbar.pdf
- [8]. https://cdn.egu.eu/media/filer_public/3a/87/3a870253-16b0-4f3b-a11e-253b86744d42/anbar.pdf
- [9]. The bacteria that changed the world. May 2017. <https://evolution.berkeley.edu/evo-news/the-bacteria-that-changed-the-world/>
- [10]. <https://genent.cals.ncsu.edu/bug-bytes/respiratory-system/>
- [11]. <https://micro.magnet.fsu.edu/optics/olympusmicd/galleries/oblique/insectspiracle.html>
- [12]. WEBSTER, M. vd. “Structure of Tracheae and the Functional Implications for Collapse in the American Cockroach”. Bioinspiration & Biomimetics · November 2015.
- [13]. THUYNE, V.J. ve VERRECHIA, E.P. “Impacts of Fungus-Growing Termites on Surficial Geology Parameters: A review”. Earth-Science reviews 223, 2021.
- [14]. FRENCH, J.R.J. ve AHMED, B.M. “Biomimicry of Termite Social Cohesion and Design to Inspire and Create Sustainable Systems”). <https://www.researchgate.net/publication/221915101>
- [15]. SAXENA, S. ve YGHOOBIA, N. “Stratification Effects on Flow and Scalar Transport Through a Deep Cavity: A Bioinspired Examination”. Phys. Fluids 32, 2020.
- [16]. OBERST, S. vd. “Revisiting Stigmery in light of Multi-Functional, Biogenic, Termite Structures as Communication Channel”. Computational and Structural Biotechnology Journal, 18, 2522–2534, 2020.
- [17]. LI, H. ve GREENING, C. “Termite-Engineered Microbial Communities of Termite Nest Structures: a New Dimension to the Extended Phenotype”. FEMS Microbiology Reviews, 1-13, 2022.
- [18]. WORALL, M. “Homeostasis in Nature: Nest Building Termites and Intelligent Buildings”. Intelligent Buildings International, 3:2, 87-95, 2011.
- [19]. <https://www.roggecloof.com/blog/post/the-termite-and-the-mushroom-by-samantha-rouse/>
- [20]. KRISHNAN, A. “Architectural Secrets of Termite Mounds”. <https://india.mongabay.com/2020/10/architectural-secrets-of-termite-mounds/>
- [21]. <https://www.asme.org/topics-resources/content/what-termites-can-teach-engineers>
- [22]. OCKO, S.A. “Morphogenesis of Termite Mounds”. OCKO, S.A. 2019. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1818759115
- [23]. <https://sightseeingtoursaustralia.com.au/attractions/cathedral-termite-mounds/>

- [24]. https://www.researchgate.net/figure/Cathedral-termite-mound-in-the-Northern-Territory-of-Australia-Researchers-have-been_fig2_257580692
- [25]. FAGUNDES, T.M. vd. "How the Thermal Environment Shapes the Structure of Termite Mounds". *R. Soc. Sci.*, 7, 2020.
- [26]. ZACHARIAH, N. "Bi-layered Architecture Facilitates and Ventilation in Nest Mounds of Fungus-Farming Termites". *Scientific Research*. 10, 2020.
- [27]. <https://www.dkfindout.com/us/animals-and-nature/insects/insect-colonies/>
- [28]. TURNER, J.S. "On the mound of *Macrotermes Michaelsoni* as an organ of respiratory gas change". *Physiological and Biochemical Zoology*, 74(6), 798-822, 2001.
- [29]. SINGH, K. vd. "The Architectural Design of Smart Ventilation and Drainage Systems in Termite Nests". *Sci. Adv.* 5, 2019.
- [30]. COSTA, R.R. vd. "Enzyme Activities at Different Stages of Plant Biomass Decomposition in Three Species of Fungus-Growing Termites". *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.84, No.5, 2018.
- [31]. https://www.nsf.gov/news/mmg/mmg_disp.jsp?med_id=77889&from=
- [32]. 2017-12: S.A., vd. "Solar-Powered Ventilation of African Termite Mounds". *Journal of Experimental Biology* 220: 3260-3269i 2917, 2017.
- [33]. HAITHAM, A. "Investigation of Flow Through and Around the *Macrotermes Michaelsoni* Termite Mound Skin". PhD. Thesis, Loughborough University, 2019. <https://hdl.handle.net/2134/8466>.
- [34]. LUPSHA, J. "Termites Build Mounds with Air Circulation in Mind". *Inspiring Architecture*, January 23, 2022. <https://www.wondriumdaily.com/termites-build-mounds-with-air-circulation-in-mind-inspiring-architecture/>
- [35]. LÜSCHER, V.M. "Der Sauerstoffverbrauch die Termiten und die Ventilation des Nestes die *Macrotermes Natalensis* (Haviland)". *Acta Tropica*, 12,4, 1955.
- [36]. COLLINS, N.M. "The Population Ecology and Energetics of *Macrotermes Bellicosus* Smeathman (Isoptera)", PhD/ Thesis, Imperial College, University of London, June 1977.
- [37]. KORB, J. ve LINSENAIR, K.E. "The Architecture of termite mounds: A result of a trade-off between thermoregulation and gas exchange". *Behavioral Ecology*, May 1999.
- [38]. TURNER, J.S. "Ventilation and Thermal Constancy of a Colony of a Southern African Termite (*Odontotermes Transvaalensis*: *Macrotermitinae*)". *Journal of Arid Environments*, 28: 231-248, 1994.
- [39]. BONABEAU, E. vd. "A Model for the Emergence of Pillars, Walls and Royal Chambers in Termite Nests". *Phil. trans. R. Soc. Lond. B*, 353, 1998.
- [40]. KORB, J. and LINSENAIR, K.E. "Ventilation of Termite Mounds: New Results Require a New Model". *Behavioral Ecology* Vol.11, No:5, 2000.
- [41]. KORB, J. and LINSENAIR, K.E. "What Role does Ambient Temperature and Metabolism of the Colony Play". *Insectes Sociaux*, November 2000.
- [42]. TURNER, J.S. "Architecture and Morphogenesis in the Mound of *Macrotermes Michaelsoni* (Sjöstedt) (Isoptera: Termitidae, Macrotermitinae) in Northern Namibia". *Cimbebasia* 16: 143-175, 2000.
- [43]. KINGA, H. vd "Termite Mounds Harness Diurnal Temperature Oscillations for Ventilation" 2015. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1423242112
- [44]. OCKO, S.A., vd. "Solar-Powered Ventilation of African Termite Mounds". *Journal of Experimental Biology*, 220: 3260-3269, 2017.
- [45]. GOUTTEFARDE, R. vd. "Investigating Termite Nest Thermodynamics Using a Quick-look Method and the Heat Equation". July\ 2017. <https://doi.org/10.1101/161075>
- [46]. GRIGGS, B. "Ter-Mighty Towers", *Popular Science*, Ju 28, 2018.
- [47]. <https://iibec.org/termite-mounds-sustainable-buildings/>
- [48]. KORDESTANI, M.A. "Natural Air Conditioning – Traditions and Trends: High Performance of Sustainable Indoor Ventilation in a Hot and Dry Climate". MSc. Thesis, Université de Montreal, 2013.
- [49]. KURB, J. "Thermoregulation and Ventilation of Termite Mounds". *The Science of Nature* · June 2003. DOI: 10.1007/s00114-002-0401-4.
- [50]. PLOWES, N. "An Introduction to Eusociality". *Nature Education Knowledge* 3(10):7, 2010.
- [51]. ABEIAN, H. vd. "Ventilation in Termite Mound: New Solution for Follow in Architecture". *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, Volume No. 6, Issue No. 7, 250-254, 1 July 2017.
- [52]. NSF Award Abstract # 1826314, "The Role of Multi-Scale Porosity on Termite Mound Behavior". https://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1826314&HistoricalAwards=false

- [53]. DARLINGTON, J.P.E.C. "How Termites Keep Their Cool". Entomological Society of Queensland News Bulletin, 15:45-46, 1987.
- [54]. OCKO, D.A. "Termite Mound Lungs Driven by Solar Power". Journal of Experimental Biology (2017) 220, 3195-3197, 2017.
- [55]. TURNER, S.J. "Beyond Biomimicry: What Termites Can Tell Us About Realizing the Living Building". First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (I3CON), Loughborough University, 14-16 may, 2008.
- [56]. BAYIR, R. ve ALBAYRAK, A. "Uzman Sistem Denetimli Arı Kovanı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi". Uludağ Arıcılık Dergisi, 12(4), 2012
- [57]. SOUTHWICK, E.E. ve MORITZ, F/A. "Social Control of Air Ventilation in Colonies of Honey Bees, *Apis Mellifera*". J. Insect Physiol. Vol.33, No: 9, 623-626, 1987.
- [58]. JARIMI, H, vd. "A Review on Thermoregulation Techniques in Honeybees' (*Apis Mellifera*) Beehive Microclimate and Its Similarities to the Heating and Cooling Management in Buildings". Future Cities and Environment, 6(1): 7, 1–8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5334/fce.81>
- [59]. SUDARSAN, R. vd. "Flow Currents and Ventilation in Langstroth Beehives due to Brood Thermoregulation Efforts of Honeybees". Journal of Theoretical Biology, 295, 168-193, November 2012.
- [60]. SEELEY, T.D. "Atmospheric Carbon Dioxide Regulation in Honeybee (*Apis Mellifera*) Colonies". J, Insect Physiol. Vol. 20, 2301-2305, 1974.
- [61]. JUNGE, M. "Fanning in Honeybees - a Comparison Between Measurement and Calculation of Non-stationary Aerodynamic Forces". WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 3, 2006.
- [62]. PETERS, J.M. vd. "Collective Ventilation in Honeybee Nests". J. R. Soc. Interface 16: 2019. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2018.0561>
- [63]. OHASHI, M. vd. "Observation System for the Control of the Hive Environment by the Honeybee (*Apis Mellifera*)". Behavior Research Methods, 41 (3), 782-786, 2009.
- [64]. <https://beekeepclub.com/bee-hive-ventilation/>
- [65]. RAO, R. "Biomimicry in Architecture". International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing. Volume 1, Issue:3, 2014
- [66]. "The Striking Similarity Between the Profiles of a Peregrine Falcon and a B-2 Bomber". <https://9gag.com/gag/aqjLvNj>
- [67]. <https://science.howstuffworks.com/engineering/architecture/10-most-famous-architects.htm>
- [68]. <https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-fresh-perspectives/a952-10-stunning-examples-of-biomimicry-in-architecture/>
- [69]. <https://steemit.com/architecture/@snaves/biomimetic-architecture-sagrada-familia>
- [70]. <https://www.infurnia.com/blog/biomimicry-in-architecture>
- [71]. <https://city2city.network/eastgate-centre-green-architecture-innovation-type-enterprise-venture>
- [72]. <https://www.engineeringforchange.org/solutions/product/eastgate-centre-harare-zimbabwe>
- [73]. HOYOS, C.M. ve FIORENTINO, C. "Bio-utilization, Bio-inspiration, and Bio Affiliation in Design for Sustainability: Biotechnology, Biomimicry, and Biophilic Design". The International Journal of Designed Objects, Vol. 10, Issue 3, 2016.
- [74]. <https://www.rotasenin.com/tr/harran/>
- [75]. <https://avciarchitects.com/tr/mimarligin-gelecegi-organik-mimarlik/harran-evleri-mimdap/>
- [76]. <https://nautil.us/the-termite-and-the-architect-234706/>
- [77]. <https://www.iea.org/reports/buildings>

BÖLÜM 3

KONUT HAVALANDIRMASININ TARİHİ: EVRİMSEL BİR BAKIŞ ve YELGELLER²⁶

History of Residential Ventilation: An Evolutionary Approach and Windcatchers

Macit TOKSOY²⁷

“Ne kadar geriye bakarsanız, o kadar ilerisini görebilirsiniz”.
W.Churchill.

“Ben tamamen duygu, neşe ve mutlulukla dolu bir yelgelim.
Başımın üzerinde güvercin uçuyor. İçimde rüzgâr aşk şiirleri
okuyor”. **Burhanettin Al Kirati (1326-1379) [1].**

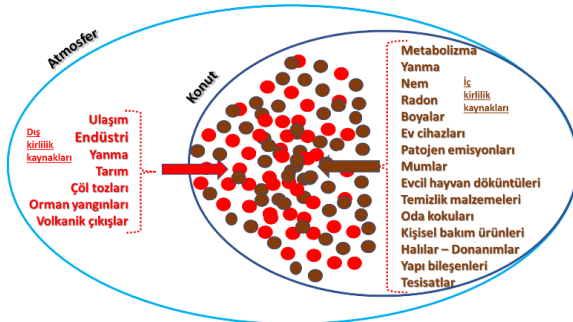
“Küresel ısınma çağı sona erdi. Küresel kaynama çağına
girdik”.
Antonio Guterres BM Genel Sekreteri²⁸.

ÖZET

İç hava kalitesi bilimi ve paralelindeki havalandırma teknolojisi gelişiminin kilometre taşlarının geniş bir tarihsel listesini içermesine karşın bu çalışma konut havalandırmasının teknolojik kilometre taşları üzerine kronolojik bir çalışma değildir. Çalışmanın amacı biyolojik havalandırma – solunumun biyolojik evrimi ile doğadaki yapay yuvaların doğal havalandırılmasının evrimi arasında gözlenen öz-biyomimetik yaklaşımı vermek; antik çağlarda yaygın olarak kullanılan, günümüzde yeniden keşfedilen, doğal havalandırma sistemi yelgellerin sınıflandırılmasını gözden geçirmek ve geliştirmek, yelgel sistemlerinin gelişiminin de doğadaki yapay sistemlerin gelişiminin biyomimetik bir uzantısı olduğu hipotezini oluşturmaktır. Endüstri devrimi ile unutulmuş antik yelgeller, yeniden keşfedilmektedir.

1. GİRİŞ

Son 60 senede çok yoğunlaşarak yapılan araştırmalar, henüz cevaplanmamış pek çok soru olmasına karşın, hava kirliliğinin insanların sağlığı açısından önemli negatif etkileri olduğunu yadsınmaz biçimde göstermiştir. İnsanların soluduğu havanın yaklaşık yarısı konutların içindeki havadır ve konut ‘iç hava kalitesi’ (İHK) en az dış hava kalitesi kadar önemlidir. Çünkü genel olarak endüstriyel bölgeler ve yoğun trafik alanları hariç, konut içi hava kirliliği dış hava kirliliğinin üzerine, iç kaynaklardan gelen emisyonlar nedeniyle daha fazladır (Şekil 1). Bu nedenle konutların uygun ve minimum enerji kullanan tekniklerle havalandırılması önemli ve gereklidir.



Şekil 1. Konut içi hava kalitesi, dış ve iç kirletici kaynaklarının emisyonlarının sonucunda oluşur.

²⁶ Bu çalışma, Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, “Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubu” tarafından yürütülen projelerden “Konutlarda Havalandırma Tarihi” projesi çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

²⁷ Dr. Mak. Yük. Müh., RD&PM, macittoksoy@gmail.com.

²⁸ Haberler, 27 Temmuz 2023.

Havalandırma tarihi, nedensellik (causalité) ve amaçsallık (fina-lité) ilkeleri doğrultusunda hava kalitesi bilimi tarihten bağımsız olarak düşünülemez. Hava kalitesi ve sağlık üzerine yapılan gözlemler, insanların açık ateşi kullanmaya başladıkları çağlarda başlamış olmalıdır. Hipokrates, Seneca, Frontius gibi antik çağın bilim insanları gözlemlerini eserlerine aktarmışlardır [2,3]. Zamanın mimarları Mısır'ın ve Ortadoğu'nun antik kentlerinde rüzgârın sürdüğü doğal havalandırma mekanizmasını kullanan mimari formlar geliştirmişlerdir. Havalandırma amacıyla geliştirilmiş ve günümüzde de çağdaşlaştırılarak kullanılmaya başlayan yelgellerin tarihi Mısır'da MÖ 1300, İran'da MÖ 4000 yıllarına uzanan kalıntılarda görülmektedir [4].

İlk çağlardan itibaren kentleşmenin gelişmesi ve özellikle kömürün yoğun olarak kullanılması, kırsal alanlarda gözlemlenmeyen hava kirliliğini, önemli bir sorun olarak ortaya çıkarmıştır. Birinci Endüstri devrimi ile endüstride makinalaşmaya paralel olarak, endüstri kentleri büyümüş bu büyümeye bağlı olarak endüstriyel ve kentsel kimyasal salımı artmış, artan hava kirliliği ile insanlar üzerindeki etkileri öngörülme boyutlara ulaşmıştır. Kimyasal salımların yanında 19. yüzyılın ilk yarısında, bir kısmı havada asılı biyolojik ajanlardan kaynaklanan büyük patojenik salgınlar yaşanmıştır [5]. Tüm Avrupa'da giderek büyüyen çevre kirliliği ve etkilerine karşı, 19. yüzyılın ortasında başlayan, 20. yüzyılın ilk yarısına kadar süren ve "Hijyen Devrimi" [6,7] olarak adlandırılan dönemde diğer çevre bileşenleri yanında, hava kirliliği konusunda da araştırmalar başlamış, bulgular yasal mevzuatların geliştirilmesine neden olmuştur. 1273 yılından 2000 yılına kadar İngiltere'de 30, 1845'ten sonra, yarısı Avrupa Birliği Direktifi olmak üzere toplam 32 yasa, yönetmelik ve benzeri yasal mevzuat yürürlüğe girmiştir [8]. Yasal mevzuatın geliştirilmesi yanında, araştırma sonuçları mühendislik uygulamalarına da yön vermiştir.

SUNDELL'in [9] 2017 yılında yayımladığı çok kapsamlı değerlendirmeye göre iç hava kalitesi ve insan sağlığı üzerine son elli yılda sunulmuş 7524 konferans bildirisi ve %70'i son 10 yılda (2007-2017) yayımlanmış "Web of Science" da yer alan, 26992 dergi makalesi söz konusudur. 2023 yılı itibariyle bu yayınların daha artmış olduğu şüphesizdir. Konferanslara sunulan bildirilerin %10'u, dergi makalelerinin %30'u iç hava kalitesinin sağlıkla ilgili olması üzerinedir. Bu yayınların dışında, alerji ve epidemiyoloji gibi tıp alanlarında yapılan araştırmalara ait çalışmalar iç hava kalitesi konferanslarında sunulmamaktadır [9]. Bu nedenle İHK - sağlık alanında yapılan çalışmaların toplam sayısı daha da yüksektir.

İHK - Sağlık kesitinde yapılan çalışmaların sonuçlarıyla ilgili tedbirlerin uygulanması arasında bir faz farkı olduğu izlenmektedir. EPA'nın²⁹ konutlardaki iç hava kalitesi üzerine eğilmemesinin sebeplerinden biri, konut içinin, "Bir adamın evi onun kalesidir"³⁰ görüşü doğrultusunda, hükümetlerin karışmaması gereken bir özel alan olarak görülmesidir. Günümüzde bu durum değişmiş, konutlar için de pek çok kural ve rehber yayınlandığı gibi, durumun önemi konusunda da araştırmalar yayımlanmaktadır [9 -15].

Tablo 1'de hava kalitesinin değişimi, bu alanda yapılan keşifler, iç hava kalitesinin korunması ve geliştirilmesi üzerine getirilen kurallar ve havalandırma ile ilgili kilometre taşları kronolojik olarak verilmiştir. Teknik anlamda konutlarda havalandırma tarihinin başlangıcı, açık ateşlerin emisyonunun atmosfere atılması için, Avrupa'daki yaygın kullanım tarihleri için farklı zamanlar verilen bacadır (Tablo 1). Bacalar yanma gazlarının hacimden kısmen atılmasını sağlarken, konut çevresindeki havanın kalitesini etkilemiştir. Çevre kirliliği o derece yükselmiştir ki İngiltere'de 1273 yılında Duman Azaltma Yasası çıkarılmış, kömür kullanımı yasaklanmıştır [3]. Tarihsel anlamda yapılan çalışmaların yoğunluğunun giderek artması ile görülmektedir ki günümüzdeki hava kirliliğinin boyutları ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri, bacaların çözüm olduğu çağlardan karşılaştırılamayacak kadar yüksektir. Binaların ve endüstriyel tesislerin baca emisyonları, özellikle kış aylarında hava kirliliğinin ana bileşenleridir. Yanma gazlarının olumsuz etkilerine günümüzde sıklığı artan büyük orman yangınlarının emisyonları da katılmaktadır; Quebec ve Kuzey Ontario'da (Kanada) olan orman yangınlarından yayılan ince partiküller, 1000 km'den daha uzak ABD'deki yerleşim alanlarında (Connecticut, New Hampshire, Vermont) halk sağlığını tehdit etmektedir [16]. New York Şehir Konseyi'nde, COVID-19 salgınının ana dalgası sonrası³¹ bir yıl önce başlayan çalışmalar, 2023 yılındaki orman yangınlarının olumsuz etkileri nedeniyle, şehir binalarındaki iç hava kalitesine ilişkin standartların belirlenmesi, iç hava kalitesi ile ilgili

²⁹ (EPA) Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı-ABD): EPA'nın misyonu ABD'de insan sağlığını ve çevreyi korumaktır. Amerikan Kongresi bir çevre kanunu çıkardığında, EPA bu kanunun uygulanmasını yönetmelikler geliştirerek sağlar. Çoğunlukla eyaletlerin ve kabilelerin kendi düzenlemeleri aracılığıyla uyguladıkları ulusal standartları belirler. Resmi bir kuruluşur [https://www.epa.gov/aboutepa/our-mission-and-what-we-do].

³⁰ "A man's home is his castle".

³¹ Küresel çapta, tüm ülkeleri kitlesel olarak etkileyen COVID-19 salgını, yayılma hızını çok büyük oranda kaybetse de henüz tam olarak kontrol edilmiş görülmemektedir. ABD Başkanı Joseph Robinette Biden'ın eşi Jill Biden, COVID-19 virüsünün etkisini büyük ölçüde yitirmiş son versiyonlarından birine yakalanmıştır [5 Eylül 2023 Haberler].

sosyal yardım ve eğitim alanlarında yasal düzenlemelerin yapılabilmesi çalışmaları hızlandırılmıştır. Yapılan yasal düzenlemeler kabul edilirse, **şehir binalarındaki hava kalitesiyle ilgili gerçek zamanlı ve yıllık raporlar** da yayınlanacaktır [17].

17. yüzyılın ikinci yarısından 19. yüzyıla kadar olan tarih diliminde oksijenin öneminin keşfi, havanın içindeki insan sağlığına zararlı bileşenlerin belirlenmesi ve iç hava kalitesinin öneminin anlaşılması, havalandırma gündemini öne çıkarmıştır. 19. yüzyılda havalandırma sistemlerinin tasarım kriterleri oluşturulmaya başlanmıştır (Tablo 1: 1824, 1853). 21. yüzyılın ilk çeyreğinde 2019'da başlayan küresel COVID-19 salgını ve yerel enfeksiyon salgınları, her türlü kapalı hacimde özellikle insan yoğun alanlarda havalandırmaya şimdiye kadar ilgi çekmeyen bir boyut kazandırmıştır. ASHRAE³² 2023 yılında, çok katlı konutlarda ofislerde, hastanelerde ve benzeri binalarda, hava yoluyla bulaşan hastalıkların riskini azaltmak üzere, mevcut ve yeni bina mekanik sistemlerinde alınması gereken tedbirleri içeren bir taslak standartı [ASHRAE Standard 241, Control of Infectious Aerosols – Bulaşıcı Aerosollerin Kontrolü] hazırlamış ve görüşe açmıştır. Benzeri olarak REHVA³³ da "Sağlık Temelli Hedef Havalandırma Miktarları ve Hava Yoluyla Bulaşan Solunum Yolu Bulaşıcı Hastalıklara Maruziyeti Azaltmak için Tasarım Yöntemi" önerisini geliştirmiştir [18].

Bu çalışmanın amacı, kronolojik bir teknoloji gözlemi yapmak değildir. Bu alanda çok derinlikli olmasa da pek çok çalışma vardır [19-24]. Çalışmanın amacı biyolojik havalandırma–solunumun biyolojik evrimi ile özellikle sıcak ve kuru iklimlerde, binaların doğal havalandırılmasının evrimi arasında gözlenen biyomimetik yaklaşımı vermek, bu bağlamda antik çağlarda Mısır ve Ortadoğu'da yaygın olarak kullanılan, 21. yüzyılın başlarında modern ısıtma havalandırma ve iklimlendirme pratiğinde yeniden keşfedilen, hiçbir mekanik sistem kullanmadan binanın kendisinin bir bileşen olarak katıldığı doğal havalandırma sistemi yelgellerin literatür ışığında bir değerlendirmesini yapmaktır. 2. Bölümde yelgel sistemlerinin gelişiminin, biyolojik havalandırma-solunum sistemlerinin evrimsel gelişiminin biyomimetik bir uzantısı olduğu hipotezi geliştirilmiştir. 3. Bölümde literatür ışığında yelgeller incelenmiştir. Yelgellere olan 1990'lardan başlayan ve giderek artan akademik ilgi, günümüzde İngiltere'de daha yoğun olmak üzere çeşitli ülkelerde bir havalandırma yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Küresel çevre ve enerji problemlerine karşı, Büyük Patlama'dan (Big Bang: BB) sonraki milyarlarca yıl içinde evrensel fizik, kimya ve biyoloji yasalarıyla uyumlu mekanizmalar sonucu evrimsel olarak ortaya çıkan, yaşama tutunan, türünü devam ettiren canlıların anatomilerinin ve doğal şartlarda geliştirdikleri havalandırma mekanizmalarının ilham vereceği yeni çözümlerin yaşam alanlarında geliştirilmesi kaçınılmaz adım olarak görülmektedir. Günümüzde kullanılan mekanik sistemlerin, küresel sorunlara yol açan katkılarının azaltılması yönünde yapılan çalışmalarla geliştirilen verimleri sınırlara ulaşmıştır. Artık, çevre şartlarından korunmak üzere geliştirilen binaların, insanları gerçekten koruyup korumadıkları sorgulanmalıdır.

Tablo 1: Hava kalitesi ve havalandırma kilometre taşları.

Tarih	Gelişme	Kaynak
MÖ 1,5x10 ⁶	İnsanın ateşi kullanmasıyla çevre problemlerinin başlaması.	[3]
MÖ 5000-4000	Banpo (Çin) köylülerinin konutlarında baca kullanmaları.	[20]
MÖ 4000 - MÖ 1300	Rüzgâr kulelerinin havalandırma için kullanılması. İran: MÖ 4000 – Mısır: MÖ 1300	[25]
MÖ 800	Açık ocak ısınmasının kullanılması.	[3]
MÖ 400	Hippocrates'in (460-377), rüzgârın insan sağlığı üzerindeki etkisini analizi sonucunda "her insanın kendine has hastalıkları vardır (...), hava farkının çeşitli etkileri" yorumunu getirmesi.	[3, 2]
MÖ 400'ler	Yunanlılar ve Romalıların kirli havanın olumsuz etkilerini fark etmeleri.	[3]
MS: 100'ler	Seneca ve Frontius'un dumanın sağlık etkilerini not etmeleri.	[2]
947	El-Mesûdî'nin Orta Asya'da, kömürün yanmasından çıkan dumanı ve gaz kirleticileri belirlemesi.	[2]
1273	İngiltere'de, Duman Azaltma Yasası ile sağlık için zararlı olduğu için kömürün yasaklanması.	[2]
1279	Çin'de kömürün yanmasından çıkan dumanın ve gaz kirleticilerin belirlenmesi.	[2]
1300	Açık ocak ısınmasının Avrupa'da yaygınlaşması.	[3]

³² ASHRAE: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)

³³ REHVA: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (Avrupa Isıtma Havalandırma ve İklimlendirme Dernekleri Federasyonu)

Tablo 1. (Devam)

1500	Avrupa'da bacanın yaygın olarak kullanılmaya başlaması.	[3]
1600'ler	(İngiltere) BOYLE ve HOOKE: Havanın yaşam için temel bir gereklilik olduğunun bulunması.	[3]
1610	(İngiltere) Domuz ahırlarının kokusundan çevreyi korumak amacıyla kanun çıkarılması.	[2]
1631	17. yüzyılın başlarında konutların havalandırılmasının toplumun gündemine girmesi, Kral I. Charles tarafından daha iyi iç hava kalitesi için taban yüksekliklerinin 10 ft' den (3.3 m) az olmaması ve pencerelerin daha uzun yapılması kararlarının yaygınlaşması.	[20]
1661	John EVELYN'in "Fumifugium" veya "Londra'da Duman ve Havanın Uygunsuzluğu" kitabını yayımlaması.	[2]
1667	Robert BOYLE ve Robert HOOKE tarafından ciğerlere oksijenin sağlanmasının yaşam için zorunlu olduğunun bulunması.	[3]
1674	John MAYOW'un deneyleriyle, hava içindeki bir bileşenin yaşam için şart olduğunu göstermesi.	[26]
1700	Sobanın kullanılmaya başlaması ve yaygınlaşması.	[3]
1700'ler	Havanın kalbi soğutmak için gerektiği ve uygun olması için tazelenmesi gerektiği anlayışının var olması.	[3]
1700'ler	Hava içindeki zararlı bileşenlerin (asitler, kurşun, kükürt) belirlenmesi.	[2]
1700'ler	Kuvvetli alkaliler içinde absorbe edilerek kükürt dioksit (G.F.ROULELLE), asitler içinde Amonyak (C.W. SCHEELE) belirlenmesi.	[2]
1750'ler	Karbondioksit (CO ₂) havanın taze olup olmadığının bir ölçüsü olarak kullanılması.	[3]
1800'ler	İç hava kalitesinin öneminin farkına varılması.	[27]
1810	(İngiltere) İmalatçıların "sağsız veya uygun olmayan koku" yaydıkları üzerine krallık kararlarının yayınlanması.	[28]
1824	Thomas TREDGOLD'un, havalandırma tasarımı için ilk defa her insan için 2 l/s taze hava debisini önermesi. Literatürde bazı kaynaklarda [3,29] tarih olarak 1836 verilmektedir. 1836, TREDGOLD'un vefatından sonra "The Principles of Warming and Ventilating Public Buildings, Dwelling-Houses, Manufacturing, Hospitals, Hot-Houses, Conservatories" adlı kitabının ikinci yayın tarihidir.	[9]
1830	Michael FARADAY'ın elektrik motorunu icat etmesi, Philip DIEHL' in (1947-1913) elektrikli fanı geliştirmesi.	[20]
1835	İngiltere Avam Kamarası (House of Common) geçici binasındaki toplantı odasının David Boswell REID tarafından tasarımı yapılmış, kendi türünün dünyadaki ilk örneği olan baca yardımı ile doğal havalandırılması (Stack Ventilation).	[23]
1850	Hijyen devrimi.	[9, 30]
1850	John H. GRISCOM'un, binalarda havalandırma eksikliğinin bütün hastalıklardan daha fazla ölüme sebep olduğunu yazması, yatak odalarındaki ve yurt odalarındaki iç hava kirliliğini işaret etmesi.	[9, 30]
1853	Max Joseph von PETTENKOFFER: "CO ₂ tek başına zararlı değildir ancak yüksek konsantrasyonun olduğu iç mekanlarda, insanların hastalıklara karşı direnci azalmaktadır. Bir kapalı hacimde CO₂, 1000 ppm'in (Pettenkoffer Sayısı) üzerinde ise hava uygun değil. İnsanların konforlu olabilmeleri için uzun zaman kalacakları yerde 700 ppm geçilmemelidir ".	[3, 30]
1860-1880	Yatak odalarında CO ₂ konsantrasyonunun 700 ppm'den küçük olmasının belirtilmesi.	[9]
1872	Robert .A. SMITH'in "Hava ve Yağmur: Kimyasal Klimatolojiye Giriş" kitabını yayımlaması.	[2]
1878	(İngiltere) Zehirli Buharlar üzerine Krallık Komisyonunun kurulması.	[2]
1881	(İsveç) Elias HEYMAN: (Çevredeki binaların bacalarının yarattığı dış hava kirliliği nedeniyle) "Konutlarda temiz havada yaşamak istiyorsak, doğal havalandırmaya güvenemeyiz".	[30]
1886	Daha önceki fanlar DC akım kullanırken, Schuyler WHEELER tarafından AC akımlı fanın icadı.	[31]
1887	(İskoçya) CO ₂ ve uçucu organik bileşenlerin yüksek seviyede olduğu kalabalık odalarda yaşanması ve uyumasının ishal, kızamık, erken doğum bronşit, akciğer iltihaplanması ve kaza gibi nedenlerle daha erken ölüme neden olmasının açıklanması.	[9]
1893	John Shaw BILLINGS ³⁴ , zamanın araştırmalarına dayanarak, konfor için kapalı hacime kişi başına minimum 14,2 l/s (30 cfm), hastalıkların yayılmasının önlenmesi için de 28.3 l/s dış havanın sağlanmasını önermesi.	[32, 33]

³⁴ BILLINGS bir tıp doktorudur. Isıtma havalandırma mühendisi olmadığı için ASHVE'ye üye yapılamamış, topluluğun ilk onur üyesi olmuştur ["Proclaiming The Truth". ASHRAE, 1995].

Tablo 1. (Devam)

1894	Londra ve New York'ta "Büyük At Gübresi Krizi" (Great Horse Manure Crisis): Sokaklarda biriken at dışıklarının yarattığı kirlilik.	[2]
1895	ASHVE'nin insanlar için minimum 14,2 l/s taze hava debisini kabul etmesi.	[32]
1900	Florence NIGHTINGALE: "Hastalar için hava dışarıdaki kadar temiz tutulmalıdır. Hasta odaları pencereler açılarak kapılar kapatılarak dış hava içeri alınmalıdır".	[3]
1905	Bengal'de, "Duman Rahatsızlığı Eylemi".	[2]
1925	ABD'de 22 eyalette minimum havalandırma debisinin kabul edilmesi.	[32]
1930	Meuse vadisinde (Belçika) aşırı kükürt dioksit emisyonundan altı insanın ölmesi.	[28]
1936	ASHVE'nin insanlar için minimum havalandırma debisini yarıya (7,5 l/s) indirmesi.	[3]
1948	Donora'da (Pensylvania, ABD) hava kirliliği nedeniyle altı insanın ölmesi.	[28]
1952	"Büyük Londra Sisi" 'nde sayıları 4000-12000 arasında tahmin edilen insanın ölmesi.	[2,28]
1956	(İngiltere) Temiz Hava Yasasının çıkarılması.	[2]
1960'lar	Svante ODEN tarafından asit yağmurunun tanımlanması. Radonun yarattığı sağlık etkilerinin belirlenmesi.	[2,30]
1962	Rachel L. CARSON'un tarım ilaçlarının (pesticides) çevreye etkisini belirlemesi.	[3]
1970	(ABD) EPA'nın kurulması.	[34]
1970'ler	Formaldehitin sağlık etkilerinin belirlenmesi.	[30]
1970'ler	İç hava sağlık için bir tehdit oluşturuyor mu sorusunun yükseltilmesi.	[2]
1970'ler	İç hava kalitesinin önemini tepe yapması: Danimarka ve İsveç'te başlayan çalışmaların önce ABD'ye sonra da Avrupa'ya yayılması.	[3]
1970'ler	Yer seviyesindeki ozonun insan sağlığı üzerine etkisi üzerine olan önceden bilinen negatif etkilere ilaveten, ekosistem içinde bir tehdit olduğunun belirlenmesi.	[2]
1972	Stockholm'de yapılan Birleşmiş Milletler Konferansında asit yağmurunun Avrupa'da önemli bir konu olduğunun doğrulanması.	[2]
1973	ASHRAE'nin havalandırma debisini sigara içilmeyen mekanlarda 2 l/s, içilen mekanlarda 10 l/s olarak önermesi.	[2]
1973	ASHRAE 62.1973 standardının yayınlanması.	[32]
1977	(ABD) "Ulusal Atmosferik Birikim Programı" 'nın (NADP ³⁵) oluşturulması.	[2]
1979	UNECE ³⁶ "Hava Kirliliğinin Uzun Mesafeli Taşınımı" (LRTAP ³⁷) toplantısının oluşturulması.	[2]
1980'ler	"Hasta Bina Sendromu (Sick Building Syndrome)" olgusunun belirlenmesi ve daha sonra bu terimin pek çok araştırmanın öznesi olması.	[9]
1985	Kükürt dioksit emisyonunun %30 azaltılması üzerine Helsinki Protokolü'nün imzalanması.	[2]
1991	(İngiltere) Avam Kamarası tarafından oluşturulan bir komitenin iç ortam kirliliğinin endişe verecek derecede çok sayıda sağlık sorununa sebep olabileceğini kabulü ve hükümete "Binalarda iç mekân hava kalitesine yönelik genişletilmiş bir kirlenme listesi için maruz kalma sınırlarını özel olarak tanımlayan kılavuzlar ve uygulama kuralları geliştirmek" önerisini getirmesi.	[27]
1993	(İngiltere) Çevre Bakanlığı "Evinizde İyi Hava Kalitesi" broşürünü yayımlaması.	[27]
1997	(İngiltere) İç ve dış hava kirliliği üzerine araştırma programlarının başlatılması	[27]
1980-90	Büyük su (göl) - deniz ekosistemlerinde karadan gelen kirliliklerle plankton ve alglerin çoğalmasının (ötrofikasyon ³⁸ - eutrophication) fark edilmesi.	[2]
1990'lar	(İngiltere) "Avrupa İç Mekân Hava Kalitesi ve İnsan Üzerindeki Etkisi Üzerine Avrupa İşbirliği Eylemi" 'nin hayata geçmesi.	[27]
1990'lar	Uluslararası "İç Hava ve Sağlıklı Binalar" konferanslarının başlaması.	[27]
1990'lar	Avrupa Komisyonunun EnVIE, 'INDEX' and 'Healthy Air' gibi çok sayıda projeyi desteklemesi.	[27]
1991	Kanada-ABD Hava Kalitesi Antlaşması'nın yapılması.	[2]
1993	Kuzey Amerika'da 6 şehirde, PM10 hava kirliliğinin insan sağlığına etkisi konusunda dikkat çekilmesi.	[2]
1995	Küresel ozon gözlemi için ilk uydunun atılması.	[2]
1999	Asitlenme, ozon ve ötrofikasyon ile mücadele etmek üzere UNECE Gothenburg Protokolü'nün imzalanması.	[2]
1999	Dünya Sağlık Örgütü'nün (World Health Organization) 'İç Mekân Hava Politikası Oluşturmada Stratejik Yaklaşımlar (<i>Strategic Approaches to Indoor air to Indoor Air Policy-Making</i>)' adlı kitabı yayımlaması.	[27]

³⁵ NADP: National Atmospheric Deposition Program.

³⁶ UNECE: *United Nations Economic Commission for Europe (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu).*

³⁷ LRTAP: *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (Uzun Menzilli Sınırları Aşan Hava Kirliliği Sözleşmesi,)*

³⁸ Göllerde ve benzeri büyük su sistemlerinde, karadan gelen atıklar nedeniyle plankton ve alg gibi canlıların aşırı şekilde çoğalması.

Tablo 1. (Devam)

2000	Dünya Sağlık Örgütü'nün mutfaklarda ve ısıtmada kullanılan yakıtlardan kaynaklanan "İç mekân hava kirliliğinin 1,5 milyondan fazla ölümden ve küresel hastalık yükünün %2,7'sinden sorumlu olduğunu" açıklaması.	[27]
2001	Fransa'da "İç Hava Gözlemevi"nin (Indoor Air Quality Observatory) kurulması.	[27]
2000'ler	Asya'daki kükürt dioksit ve azot oksit emisyonlarının giderek artarak, küresel sorunlara dönüşmesi.	[2]
2003	(İngiltere) İç Çevre Grubu'nun kurulması.	[27,35]
2003	ASHRAE 62.2 – 2003, "Az Yüksek Konut Binalarında İç Hava Kalitesi (Indoor Air Quality in Low-Rising Residential Buildings)" standartının yayımlanması.	[32]
2004	(İngiltere) Sağlık Bakanlığı Hava Kirleticilerinin Tıbbi Etkileri Komitesi'nin (Medical Effects of Air Pollutants -COMEAP) beş kirlenici hakkında rehber yayımlaması.	[27]
2007	Dünya Sağlık Örgütü'nün "İç Mekân Hava Kirliliği: Ulusal Hastalık Yükü Tahminleri (Indoor air Pollution: National Burden Of Disease Estimates)" adlı raporu yayımlaması.	[36]
2009	(İngiltere) Çevre ve Sağlık Enstitüsünün kurulması.	[27]
2012	Beijing'deki (ÇİN) hava kirliliğinin, PM10 ve SO ₂ açısından 1952 Londra Sisi ile aynı konsantrasyona ulaşması.	[2]
2016	(İngiltere) "Aldığımız Her Nefes: Hava Kirliliğinin Yaşam Boyu Etkisi (Every Breath We Take: The Lifelong Impact of Air Pollution" - RCP/RCPCH, 2016)" dokümanının yayımlanması.	[27]
2018	Çin'de SO ₂ ve NO ₂ emisyonlarının azalması.	[2]
2018	Amonyak ve uçucu organik bileşenlerin (VOC) küresel emisyonunun artması.	[2]
2019	İngiltere'de Halk Sağlığı Kurumu'nun (Public Health England - UKHSA) iç ortamlardaki uçucu organik bileşenler hakkında rehber yayımlaması.	[27]
2020	İngiltere'de "İçerisinin Hikayesi: İç Mekân Hava Kalitesinin Çocuklar ve Gençler Üzerindeki Sağlık Etkileri (The Inside Story: Health Effects of Indoor Air Quality on Children and Young People)" dokümanının yayımlanması.	[27]
2020	İngiltere'de "Evde İç Mekân Hava Kalitesi Hakkında NICE Rehberi (NICE Guidance on Indoor Air Quality at Home)" dokümanının yayımlanması.	[27]
2020	Küresel COVID-19 salgını esnasında, üretim ve ulaşım etkinliklerinin azalması nedeniyle endüstrinin ve ulaşım araçlarının SO ₂ , NO _x , VOC ve ana PM emisyonlarının azalması.	[2]
2021	(İngiltere) İç Hava Kalitesi Yönetimi Enstitüsünün "İç Hava Kalitesi Rehberi (Indoor Air Quality Guidance Document)" dokümanını yayımlaması.	[27,37]
2021	(İngiltere) İHK ile ilgili bakanlıklar arası ve bakanlıklar içinde çalışma gruplarının kurulması (Cross-Government Working Level Group on IAQ, Air Quality Expert Group).	[27,38]

2. BİYOLOJİK HAVALANDIRMA - SOLUNUM SİSTEMLERİ'NİN EVRİMSEL GELİŞİMİ ve YAPAY HAVALANDIRMAYA GEÇİŞ

Canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. Biyolojik evrimle çağımızdaki yapılarına ulaşan canlıların, anaerobik (oksijensiz) solunum yapan küçük bir kısmı hariç hemen hepsi, yaşam fonksiyonları için besinleri enerjiye çevirecek oksijene ihtiyaç duyarlar.

Oksijen, günümüzdeki canlılar için ne kadar önemliyse, dünyada aerobik (oksijen solunumu yapan) hayatın başladığı milyar öncesinde de ilk canlıların oluşumundan biyolojik yaşam evriminin her döneminde de benzer öneme sahiptir. Jeolojik çağlar boyunca, canlılığın temel taşları olan karbon (C), azot (N), hidrojen (H) yanında oksijenin (O), su ve hava küresindeki konsantrasyonlarının değişimi ile tek hücreliden çok hücrelilere ve sonunda hayvanlara ve bitkilere uzanan aerobik yaşam evriminin yönü arasında bir ilişki izlenmektedir.

Literatürde 'canlı' (life) teriminin tanımı üzerine yapılan ve 10 grupta³⁹ toplanan 123 tanımın içinde yer alan kelimelerin analiziyle, özlü ve kapsayıcı olarak minimal şekilde '**canlı olma**', "**(evrimsel) değişimlerle kendi kendine kendisini (benzerini) yeniden üretmek**" yetisine sahip olmak şeklinde tanımlanmıştır ve bu tanım Darwin'in bakış açısı ile de uyum içindedir; 123 tanımdan 18'i bu minimal tanımdaki iki bileşeni (**değişim** ve **kendi kendine yeniden üretmek**) diğer sıfatlarla birlikte içermektedir [39]. Genel olarak denilebilir ki, canlı tanımının iki bileşeninin, Büyük Patlama'dan yaklaşık 850 milyon

³⁹ Canlı, Sistem, Madde, Kimyasal, Komplekslik, Yeniden Üretim, Evrim, Çevre, Enerji, Yetenek

yıl sonra dünyanın inorganik yapısından oluşmasının olasılığı ve yolları üzerine olan farklı öngörüler ve tartışmalar söz konusudur [40,41].

Büyük Patlama'dan sonra, cansız hayattan canlı hayatın oluşması (abiyojenez) ile ilgili, farklı yaklaşım ve bakış açılarıyla, aynı şeyi söyleyen ancak farklı isimlerle adlandırılan, birbiri içine girmiş, sofistike olanlardan [42] çok derinlikli olmayan [41,43-46], bir kısmı teori olarak anılan hipotez, bir kısmı tarihsel öneminden başka bir özelliği olmayan, kabullere dayalı, pek çok teori ve hipotez vardır. Günümüz itibarıyla NSF⁴⁰'in açıklamasında belirtildiği gibi, "Elbette laboratuvarında canlı bir hücre yapılsa bile bu, doğanın milyarlarca yıl önce aynı yolu izlediğini kanıtlamaz. Ancak doğal olaylar için makul doğal açıklamalar sağlamak bilimin işidir. Yaşamın kökeni üzerine yapılan çalışmalar, önemli ilerlemelerin kaydedildiği çok aktif bir araştırma alanıdır, ancak bilim adamları şu ana kadar mevcut hipotezlerin hiçbirinin tam olarak doğrulanmadığı konusunda hemfikirlerdir. Bilim tarihi, bunun gibi zor görünen problemlerin daha sonra, teorideki ve araçlardaki ilerlemeler veya yeni gerçeklerin keşfi sonucunda çözüme uygun hale gelebileceğini gösteriyor" [47]. Literatürde gözlenen odur ki NSF'in açıklamasından çeyrek yüzyıl geçmesine rağmen, biyolojik evrim üstüne konsensus sağlanmış bir teori henüz ortaya çıkmamış, bilim insanları gelişen bilimsel ve teknolojik araçlar ile evrimin anahtarını bulma yolunda arayışlarını daha güçlü olarak sürdürmektedirler.

İnorganik hayattan, organik hayata geçiş üzerine geliştirilen, Miller- Uder deneyi [48] ve bu deneyin tekrar ele alınmasıyla [49,50] geliştirilen güçlü kanıtlarla desteklenen, son zamanlarda yapılan bir araştırmayla her soruyu cevaplamayan ama bilim dünyasında oldukça kabul görmüş bir teori vardır. Moleküler Yaratılış [45], Kademeli Kimyasal Evrim (Gradual Chemical Evolution) [51], Biyokimyasal Evrim Teorisi [52], Kemosentetik (Chemosynthetic) Teori [43], Oparin-Haldane veya İlkel Çorba (Primordial Soup) Hipotezi [53, 41] olarak adlandırılan bu teori genel anlamda evrim teorileri için öngörülen dört yaklaşımdan [42], aksine hipotezler söz konusu olsa da [54] evrimin ana sebebinin doğal seleksiyon olduğu bakış açısını kabul eden Darwinist öngörü grubundadır [42,55,56]. Bu teorisinin çözülmemiş sırlarından birisi, "yeryüzündeki hayatın imzası" olarak tarif edilen homokiralite'nin (homochirality)⁴¹ başlangıcının (amino asitlerden RAO⁴²'ya ve RNA⁴³'ya geçiş) nedenleriyle ilgili yüzyılı aşan tarihe sahip soru, içlerinde genç bir Türk araştırmacı olan Furkan ÖZTÜRK'ün bulunduğu bir Harvard araştırmacı grubu tarafından yapılan ve "çığır açıcı" olarak tanımlanan çok güncel deneysel çalışmalarla [57] büyük ölçüde cevaplandırılmıştır.

Yaygın kabul görürlüğü nedeniyle evrim eğitiminde de ana öğreti olan söz konusu Moleküler ya da Biyokimyasal Evrim'in başlangıç noktası, Büyük Patlama'dan milyarlarca yıl sonra oluşan inorganik gezegen-dünya laboratuvarıdır. Tablo 2'de Büyük Patlama sonrası sonraki trake solunum sistemine sahip böceklerin ortaya çıkışına kadar olan evrimin kilometre taşları verilmiştir. Literatürde aynı tablodaki evrimsel sıçramalar için farklı tarihlerin verildiği gözlenmektedir. Bu uyumsuzlukların teorilerin, hipotezlerin ve araştırma yöntemlerindeki farklılıklarından kaynaklandığı, sürdürülen araştırmalarla tarihler arasındaki farkların zamanla küçüleceği öngörülmektedir.

Tablo 2. Büyük Patlama sonrasında biyolojik ve solunum evriminin kilometre taşları.

Günümüzden önce (Milyar yıl)	Böcekler kadar evrimin kilometre taşları
13,7 □ 0,2	Büyük Patlama [58]
4,55	Dünyanın oluşumu [59,61]
3,7	Kayalarda canlılar tarafından üretilen karbon yoluyla belirlenen, tek hücreli anaerobik hayatın (ve anaerobik solunumun) okyanuslarda ve büyük ölçüde azot atmosferinde başlaması [60].
2,5 – 2,4	Fotosentez yapan ilk canlıların, siyano (cyanobacteria) bakterilerin ortaya çıkması sonucunda oksijenin atmosferde birikmesiyle aerobik hayatın (ve solunumun) başlaması [60].
0,8	İlk tek hücreli mikropların herhangi bir organları olmaması, ancak evrim sürecinde bu tek hücreli mikropların (ökaryotik hücreler) organ fonksiyonu görmek üzere bir başka hücre içinde yaşamaya başlaması. Bir kısmı hücreleri bir arada tutan, bir kısmı sindirim

⁴⁰ NSF: National Science Foundation (ABD) – Ulusal Bilim Kurumu

⁴¹ Ayna simetrisine (kiralite – chirality) sahip organik moleküllerden, sadece sol veya sağ taraf görüntüsüne (homokiralite) sahip biyomoleküllerin ortaya çıkışı.

⁴² RAO: ribo-aminooksalin

⁴³ RNA: Ribo-nükleik asit

	enzimlerini çıkararak hücrelerden oluşan bu hücre yığınlarının sonuçta hayvanları (ilkel süngeçler) oluşturması. (Atmosferdeki oksijen seviyesi hala düşüktür, bu canlılar aktif olmadıklarından oksijen seviyesi bu ilk hayvanlar için yeterlidir) [61].
0,635-0,540	İlk çok hücreli hayvanların ortaya çıkışı [62,60].
0,541-0,485	"Cambrian" period. İlk kabuklu ve omurgalı hayvanların ortaya çıkması [62]
0,510	"Cambrian" periyodu sonunda bugün mevcut olan "phyla" hayvan grubunun (yumuşakçalar, eklembacaklılar, halkalı solucanlar) ve günümüz ekosistemlerindeki besinlerin başlangıcı [60].
0,480	Trake solunum sistemli böceklerin ortaya çıkması [63,64].

1920'lerde astronom Edwin HUBBLE'ın yaptığı gözlemlerle geliştirdiği "Hubble Hipotezine" göre, evrendeki tüm madde sonsuz sıcaklıkta ve çok küçük bir hacimdeydi. Evrenin başlangıcıyla ilgili bu bilimsel hipoteze göre Büyük Patlama, bir noktada toplanan madde ve enerjinin⁴⁴ tüm doğrultularda yayılmaya başlaması ve evreni kaplayan bir madde bulutu oluşturmasıdır. COBE uydusu ile ölçülen arka plan radyasyon (ışınım) spektrumunun⁴⁵, Büyük Patlama başlangıcı hipotezi ile tahmin edilen spektrum ile tam olarak aynı olduğu görülmüştür. Büyük Patlama'dan sonra oluşan bulutlar yoğunlaşarak, galaksilerin başlangıcı için uygun koşulları oluşturmaya başlamışlardır. Yer çekimi alanı etkisi ile yeterli miktarda yoğunlaşan bulutların meydana getirdiği kütleler nükleer reaksiyonlar başlatmış ve yıldızlar oluşmuştur. Kendi güneşimiz gibi bazı yıldızlar, dönen yassı bir diskin ortasında yer almıştır. Bu dönen diskte oluşan maddeler çarpışma ve birbirlerine kaynaşarak gezegencikleri (planetesimals) meydana getirmiş, gezegencikler (planetesimals) bir araya gelerek yıldızın etrafındaki gezegenleri (planets) ve uyduları oluşturmuştur. Büyük Patlama'dan sonra ilk olarak helyum(He) ve hidrojen atomları ortaya çıkmıştır [47].

Büyük Patlama ile başlayan fizikokimyasal evrimsel süreç, aynı zamanda inorganik dünyanın 4.55 milyar [61] yıl önceki ortaya çıkış sürecidir. 4,55 milyar yıl önce dünyanın oluşumundan sonra ilk atmosfer azot, karbondioksit ve su buharından oluşmaktadır. Meteorit bombardımanları sonrasında bu gazların yerini, hidrojen sülfid, siyanit, karbon monoksit, karbondioksit, metan ve volkanik püskürmelerin sonucu daha çok su buharı almıştır. Çeşitli inorganik ve organik kaynaklardan gelen atmosferdeki oksijen miktarı ise bu evrede günümüz oksijen seviyesinin %0,01'i kadardır [61].

Büyük Patlama'dan sonraki atomik reaksiyonlarla ortaya çıkan hidrojen ve helyumdan (He) sonra, dünyanın ilk atmosferinin bileşenleri içinde iki yeni element vardır: karbon ve oksijen. Böylece organik kimyanın temel elemanları olan O, C, N ve H'nin varlığı, abiyogenez sürecinin başlamasına imkân vermiştir. Bu adımın evrendeki yüz milyarlarca galaksideki yirmi beş sınırlı sayıda gezegende de meydana gelme olasılığı, sadece dünyada olma olasılığından çok çok fazla olmalıdır. Meteorit araştırmaları da bu öngörüye doğrular niteliktedir: Meteoritlerin yapılan analizlerinde 200 mikrondan daha büyük karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan proteinin yapı taşları olan amino asitlere, organik yapılara rastlanılmıştır. Dünyadan 6 mikrondan büyük yapıların atmosfer dışına çıkması mümkün değildir; bunların uzaydan geldiği varsayılmaktadır [65]. Bu olasılığa dayanarak, biyolojik yaşamın tohumlarının uzaydan geldiği hipotezleri geliştirilmiştir [66].

Dünya atmosferindeki temel elementleri içeren inorganik moleküllerden, güneş ışığı (mor ötesi ışınım bandı), doğal elektriksel boşalmalar (yıldırım, şimşek) ve volkanik aktivitelerden kaynaklı ısı enerjisi ile organik moleküllerin oluşması mümkündür. Üzerinde tartışılan [55] Moleküler Teori olarak adlandırılan çok kompleks evrimin, bu şekilde başlama olasılığı Miller - Urey deneyi ile 1950'lerde gösterilmiştir [48,49,50].

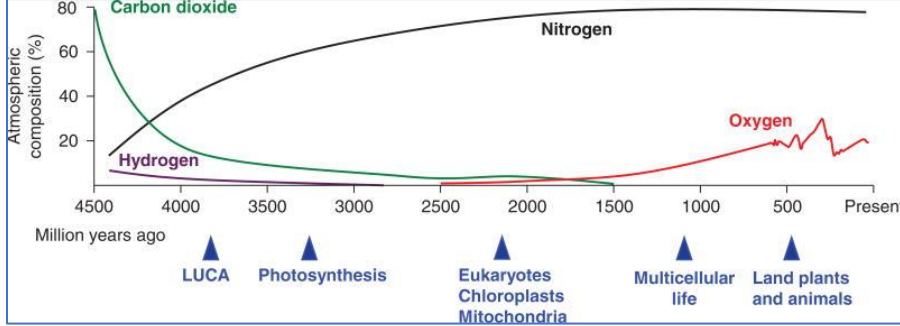
Günümüzden 3,7 milyar yıl önce yeryüzünde atmosfer kompozisyonundaki gelişmelerle, ilk anaerobik solunum yapan mikroorganizmaların (LUCA⁴⁶), 2,5 – 2,4 milyar önce de temel olarak siyanobakteriler sayesinde atmosferde birikmeye başlayan oksijen ile, ilk aerobik tek hücreli canlıların oluştuğu öngörülmektedir (Şekil 2) [60,61]. Böylelikle yeni oksijenli çevre, günümüz aerobik canlı hayatın atalarının oluşmasına ve biyogenezin başlamasına imkân sağlamıştır. Büyük Oksijen Etkinliğinden sonra oksijen seviyesindeki değişimler, yeni türlerin oluşması için bir ana etken olurken bazı türlerin de (dinozorlar, dev ağaçlar) yok olmasının da nedeni olmuştur. İnsan ve şempanzelerin ortak ataları da 5

⁴⁴ Özellikle Hawking'in çalışmalarıyla, Büyük Patlama Teorisinin söz konusu bir noktada yoğunlaşmış madde ve enerji modelinin yerine bir "hiçlikten" oluşum modeli gelmiştir. "Büyük Patlama devasa miktarda pozitif enerji ürettiği sırada, buna eşzamanlı olarak aynı miktarda negatif enerji de üretmiştir. Bu yolla pozitif ve negatif enerjinin toplamı her zaman sifıra karşılık gelir. Bu da başka bir doğa yasasıdır" [176].

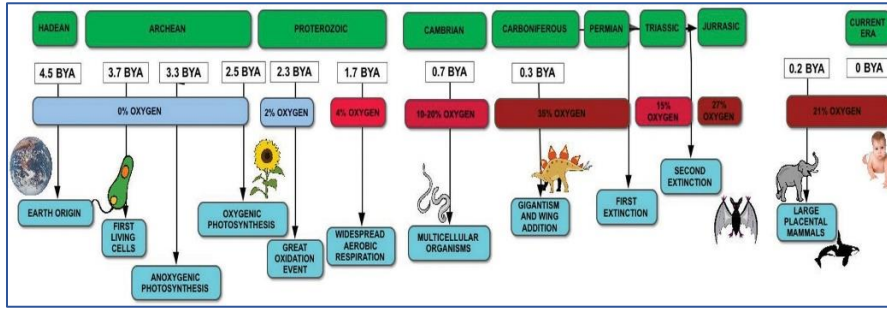
⁴⁵ Cisimlerin sıcaklıkları nedeniyle yaydıkları elektromagnetik ışımaya.

⁴⁶ Last Universal Common Ancestor (LUCA) - Son Evrensel Ortak Ata

ile 8 milyon yıl önceki aralıkta [67], ayakta duran atalar ise 4 milyon yıl önce ortaya çıkmıştır. Kompleks beyni olup, araç yapan ve kullanan, konuşma kapasitesi olan, kompleks sembolik ifadelerle sahip, kültürel çeşitlilik görülen insanların jeolojik yaşı ise geçmiş 100 bin yıldır [68]. HARARI, insan ırkının başlangıcını, yeryüzüne yayılışı ile ilgili, sosyal, teknik ve kültürel gelişimini tarihsel olarak vermektedir [69].



(a)



(b)⁴⁷

Şekil 2. (a) Atmosferik oksijenin gelişim [61] ve (b) canlıların gelişim kronolojisi [26].

Bu çalışmanın konusu evrim teorileri değildir. Bu bölümün amacı, anaerobik mikrobik organizmalar hariç, canlı olmanın vazgeçilmez bileşeni oksijenin, tek bir hücreden çok hücreli kompleks yapılara olan evrimde oksijen yolunun (biyolojik havalandırma) geçirdiği evrimin ve doğal havalandırmadan mekanik havalandırmaya geçişteki kırılmanın ve nihai olarak doğal havalandırmanın unutulmasının üzerine bir ışık tutmaktır.

Canlılığı başlangıcı üzerine yaygın kabul gören yukarıda farklı isimleri ile verilen inorganik hayattan biyolojik hayata geçişin pek çok sorusunu açıklayan, temeli fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler olan Moleküler Teori veya uzaydan tohumlama veya diğer zayıf teori ve hipotezlerden bağımsız olarak, canlılığın başlangıç mekanizması ne olursa olsun, C, H, N ve O'nin organik yapıların ve canlılığın temel girdileri olduğu biyokimyadan kolaylıkla görülür. Oksijen başlangıçta moleküllerin içinde yer alan bir element iken, aerobik canlılığın başlangıcı ile vazgeçilmez bir görev de üstlenmiştir. O görev de serbest oksijenin, canlılığın sürdürülebilmesi için gerekli metabolik süreçlerin, ilkel tek hücreli canlılardan en karmaşık organizmalara kadar, ana girdisi olmasıdır. Oksijen döngüsü⁴⁸, abiyojenezden başlayarak günümüzdeki biyosfere kadar sürdürülebilir hayatın ana sürücüsüdür.

Tek hücreli ve ilkel çok hücreli canlılarda, temel havalandırma mekanizması difüzyonla kütle transferinin olduğu havalandırmadır. Bu hücrelerin yaşamları için gerekli oksijen, herhangi bir yardımcı sisteme gereksinim duymadan, yüzeyleri ile doğrudan atmosferden difüzyonla alınmakta, metabolizma

⁴⁷ **■**: Jeolojik çağlar; (BYA): Billion Yeas Ago (Milyar yıl önce); Oxygen: Oksijen; EARTH ORIGIN: Dünyanın oluşumu; FIRST LIVING CELL: Yaşayan ilk hücre; ANOXYGENIC PHOTOSYNTHESIS: Güneş enerjisinin yan ürün olarak oksijen üretmeden kimyasal enerjiye dönüştürülmesi; OXYGENIC PHOTOSYNTHESIS: Güneş enerjisinin yan ürün olarak oksijen üretilerek kimyasal enerjiye dönüştürülmesi; GREAT OXIDATION EVENT: Büyük oksijen etkinliği; WIDESPREAD AEROBIC RESPIRATION: Oksijenli solunumun yaygınlaşması; MULTICELLULAR ORGANISMS: Çok hücreli organizmalar; GIGANTISM AND WING ADDITION: Dev canlıların (dinazörler) ve kanatlı canlıların oluşması; FIRST EXTENCTION: Dünyada özellikle su kürede yaşayan pek çok canlının yok oluşu; SECOND EXTENCTION: Dünyadaki canlı türlerinin bir kısmının daha yok oluşu; LARGE PLACENTAL MAMMALIA: Büyük plasentalı memelilerin evrimi.

⁴⁸ Metabolizmada oksijenin kullanımı, atık ürün karbondioksitin fotosentez ile parçalanarak oksijenin tekrar serbest oksijen haline gelmesi.

sonucunda ortaya çıkan gazlar yine aynı mekanizmayla dışarıya atılmaktadır. Evrimle ortaya çıkan böcekler gibi daha kompleks anatomik yapılarda, hücreler ile atmosfer arasında uzaklığın artmasıyla, oksijeni hücrelere kadar taşıyacak kanal sistemleri [trake sistemleri] oluşmuştur. Bu sistemler biyolojik (anatomik) doğal havalandırma sistemleridir.

Biyolojik Havalandırma- Solunumun Evrimi

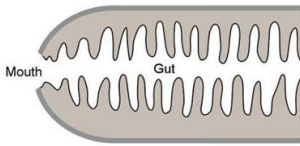
Solunumun evrimi, aynı zamanda biyolojik havalandırmanın da evrimidir. Biyolojik havalandırma en temel olarak, tek hücreli canlılardan, biyolojik evrimin en üst, anatomik olarak çok gelişmiş, kompleks çok hücreli canlılarına kadar, metabolik süreçler sonunda enerji üretmek için oksijenin, bulunduğu çevreden hücre sınırına doğrudan veya yardımcı sistemlerle (kanallar, kanallar + ikinci akışkan dolaşım sistemleri) ulaşması, hücre içinde yan ürün olarak ortaya çıkan atık gazların yine aynı yollarla hücre sınırından uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Biyolojik havalandırma-solunum sistemlerinin evrimi ile yaşam hacimlerinin doğal veya mekanik havalandırma sistemlerinin ve parçası olduğu yaşam hacimlerinin tarihsel yapay gelişimi arasındaki kopan ilişki - kırılma, günümüz küresel ısınma ve getirdiği bağlı sorunlarına, havalandırma ile ilgili bina teknolojisi payında ışık tutar gibidir.

- **Temel solunum – Temel havalandırma sistemi: Hücre duvarı atmosfere açık canlılar**

Yaşam formlarının başlangıcı olan tek hücreli canlılar, hayatlarını sürdürebilmek için oksijene ihtiyaç duyarlar. Buldukları (su veya hava) çevrede konsantrasyonlar uygunsa oksijen, difüzyon mekanizmasıyla hücre zarından geçerek hücre içine girer, karbondioksit yine difüzyonla ters yönde hücre dışına çıkar. Tek hücreli canlıların bu gaz değişimi için başka bir sisteme gereksinimi yoktur. Tek hücreli hareketsiz mikro organizmalar buldukları ortamla gaz alışverişini yaparlar. Hareketli diğer bazı organizmalar gibi, hayvanların atası olduğu öngörülen suda yaşayan tek hücreli canlıların (choanoflagellates), oksijen gradyanını logaritmik skala ile hissederek, Aerotaksi (Aerotaxis⁴⁹) ile konsantrasyonun uygun olduğu bölgelere yönelindikleri de keşfedilmiştir [79].

- **Biyolojik(anatomik) doğal havalandırma (trake) sistemi: Hücre duvarı atmosfere açık olmayan, trake sistemli canlılar (Böcekler)**

Tek hücreli canlılardan çok hücreli canlılara geçildiğinde, canlının “yüzey alanı/hacim” indeksi küçülmüş, canlı içindeki hücrelerle oksijen kaynağı arasındaki difüzyon yolu büyümüştür. Ortaya çıkan “difüzyon zaman-mesafe sınırının” küçültülmesi için evrimsel değişiklikler olmuştur. Azalan yüzeyi artırmak için çok hücreli canlılara geçişte gelişen yapılardan biri yivli hava kanalıdır (Şekil 3) [71]. Böylelikle hücre ile oksijen kaynağı / karbondioksit kuyusu arasındaki difüzyon direnci azaltılmıştır.



Şekil 3. Asöломatlarda (Acoelomate⁵⁰) yivli hava kanalı [71].

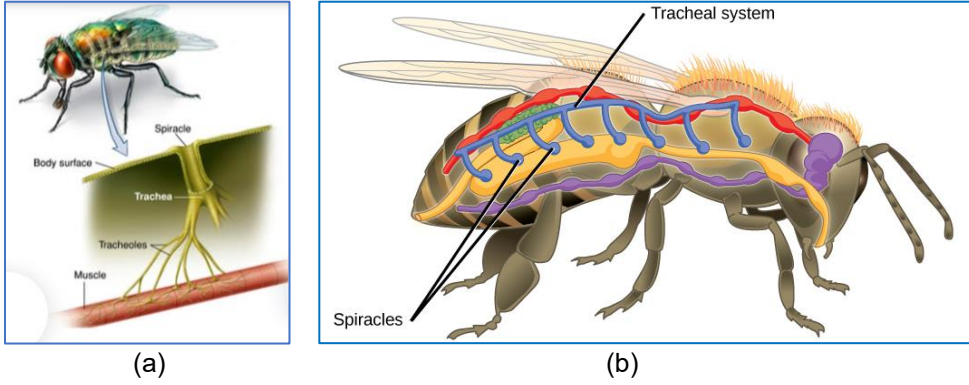
Biyolojik evrimin tarihi içinde daha çok gelişen, vücut alanı/hacim indeksi daha küçülen böcekler gibi canlılarda hava kanalları, trake (tracheal) sistemi olarak adlandırılan, daha karmaşık bir yapı gelişmiştir (Şekil 4). Böceklerde solunum-havalandırma sistemi dolaşım sisteminden bağımsızdır. Vücut yüzeyinde giriş ağızları (spiracles)⁵¹ olan bir hava dağıtım sistemi difüzyon, dış iç basınç farkıyla çalışan gelgit mekanizması ve vücut kasılması ile hava kanallarının büzülüp açılmasıyla zorlanmış taşınım ile taze

⁴⁹ **Taksi (Taxis):** “Tüm hareketli organizmaların ortak özellikleri olan, seçilen bir yöne gitme veya uygun olmayan çevre şartlarından fiziksel olarak uzaklaşma”; **Aerotaksi (Aerotaxis)** hücrelerin oksijeni hissetmesi üzerine (daha uygun) konsantrasyon için harekete geçmesi [70].

⁵⁰ **Asöломatlar (acoelomates), gelişmiş hayvanlardaki gibi iç organları içinde bulunduran boşluk (Söлом-solom) olmayan canlılar: sünger, hidra, medüz, mercan gibi hayvanlar.**

⁵¹ **Açılıp kapanan, kıllardan oluşan filtreli, taze hava menfezleri.**

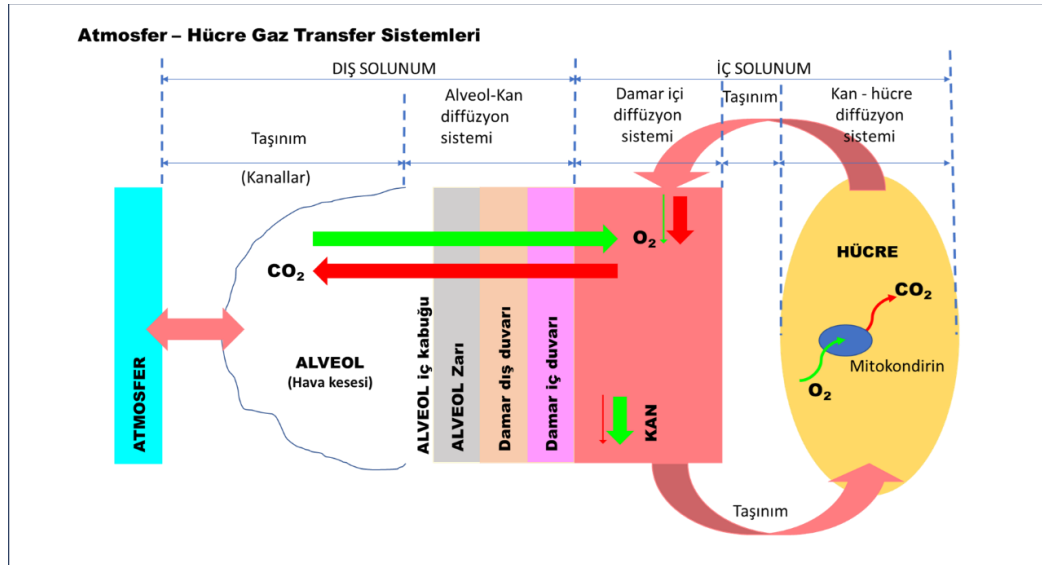
havayı hücre çeperlerine kadar iletmektedir. Kanalların en ucundaki kılcal kanallarla hücreler arasındaki oksijen ve karbondioksit alışverişi yine difüzyon ile olmaktadır.



Şekil 4. Böceklerdeki trake sistemi (a) [72]. (b) [73]

- Çift akışkanlı doğal havalandırma sistemi

Canlılardaki havalandırma sistemlerinin, küçülen yüzey alanı/hacim indeksine bağlı olarak evrimsel gelişimi, ikincil akışkan iletim sistemleriyle (kalp-damar-akciğer sistemleri) MONAHAN-EARLEY vd [71] ve HSIA vd [61] tarafında incelenmiştir. Bu çalışmaların öznesi, tek hücreli veya çok hücreli canlılarda, çevre ile hücre/hücreler arasındaki gaz transferi (biyolojik havalandırma - solunum) mekanizmalarının evrimidir. Çevresel değişimler, özellikle jeolojik çağlarda değişen hava ve su dünyası kompozisyonları, söz konusu evrimin ana belirleyicisinden biridir. Canlılarda en başta yaşam çevrelerine (su, hava) göre, temelde aynı ama ikincil sistemlerle (Şekil 5), ortak ataya işaret eden şekilsel farklılıklar gösteren, havalandırma - solunum sistemleri gelişmiştir.

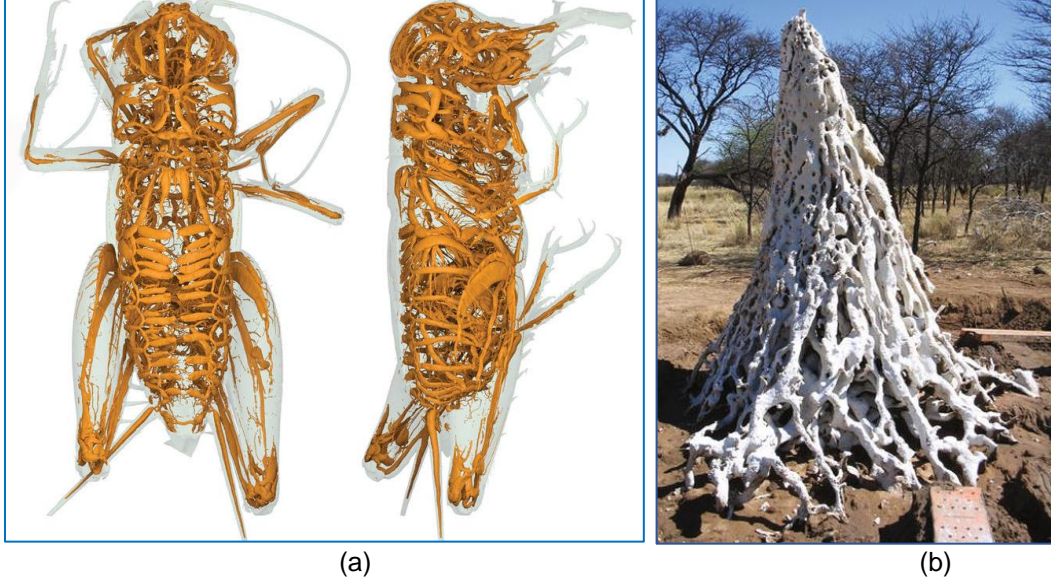


Şekil 5. İkincil akışkanlı solunum sistemlerinde atmosfer hücre yolunda gaz transferi mekanizmaları.

- Biyolojik havalandırma (solunum) sistemlerinden yapay doğal havalandırma sistemlerine geçiş (I): Sosyal böcekler

Günümüz dünyasındaki canlıların insanlar dışındaki sosyalleşenlerinden **sosyal böcekler, yaşadıkları çevreyi (kapalı yaşam hacimlerini) şaşırtıcı biçimde kendi anatomilerini (öz-biyomimikri) taklit ederek düzenlemiştir**; termit yuvaları bunların en güzel örneğidir.

Termit yuvaları, diğer eko-tasarım özellikleri yanında, prensip olarak böceklerdeki kendi vücutlarının biyomimetik bir benzeridir. Yoğun olarak topluca buldukları ortamlarda, doğanın diğer tehditlerinden korumak için geliştirdikleri yuvalarında, aşırı metabolik gaz emisyonunun yarattığı kirlilikten kurtulma ve yeterli oksijeni alabilmek için, kendi vücutlarındaki trake sistemlerinin uzantısı sayılabilecek, yine difüzyon, iç dış basınç farkı ve ilaveten sıcaklık farkından⁵² oluşan doğal mekanizmalarla çalışan kanallardan oluşan, havalandırma sistemleri geliştirmişlerdir (Şekil 6) [74].



Şekil 6. (a) Bir circır böceğinin bilgisayarlı tomografi ile görüntülenmiş havalandırma-solunum kanalları [75]. (b) Yüksekliği 200-300 cm olan termit yuvalarından birinin alçılama ile elde edilmiş hava kanalları [76].

- **Biyolojik havalandırma (solunum) sistemlerinden binalarda yapay doğal havalandırma sistemlerine geçiş (II): İnsanlar – Antik çağ**

Ortadoğu'nun sıcak ve kuru iklimin hâkim olduğu yerleşim merkezlerindeki binalarda, tarihleri MÖ 4000 yıllarına dayanan “yelgel” sistemleri, böceklerin kendi yuvaları için geliştirdikleri biyomimetik sistemin, insanlar tarafından geliştirilmiş bir başka biyomimetik uygulamasıdır. Böceklerin vücut yüzeylerindeki hava giriş-çıkış ağzlarının (spiracles) ve bunların benzeri olan termit yuvalarının dış yüzündeki hava giriş-çıkış deliklerinin benzerlerini, antik çağın İranlı ve Mısırlı mimar-mühendisleri yapıların çatı düzlemine rüzgar giriş menfezleri olarak yelgelleri koyarak ve bu menfezlerden giren rüzgarı kanallarla yaşam hacmine yönlendirerek, termit yuvalarındaki havalandırma mekanizmasını, ısıl konforun geliştirilmesi ve havalandırma için, binalarda uygulamışlardır. Geleneksel yelgel uygulamaları 20. yüzyılın sonlarına doğru, özellikle İran'daki Yazd şehrindeki uygulamalarla ilgi çekmiş, 21. yüzyılda da çağdaştırılmış yelgeller, araştırma alanı ve uygulama sistemleri olarak modern mimaride yer edinmeye başlamıştır.

- **Doğal havalandırmada kırılma noktası – mekanik havalandırmaya geçiş: Endüstri devrimi ve mimarideki düşey yapılaşma**

Hayvanların vücut “yüzey / hacim” oranının küçülmesiyle orantılı olarak hücrelerin (hava veya su) bitişik oksijen kaynağından uzaklaşması gibi çok katlı, yüksek ve büyük binaların yaşam hacimleri haline gelmesi ile insanlar, kendi emisyonlarının (koku ve CO₂), bina bileşenlerinin ve hacimler içindeki donatıların emisyonları ile çevreden izole edilmiş hava geçirmez iç ortamlarda, oksijen kaynağı olan atmosferden uzaklaşmışlar ve iç hava kalitesi sorunlarıyla karşı karşıya kalmışlardır. Termitler yuvalarını, kendi solunum sistemlerini biyomimetik model alarak, hücre çevresi ile hücre arasındaki difüzyonla olan temel solunum mekanizmasını koruyacak şekilde yuvalarında, atmosferik oksijeni çevrelerine getiren kanallar inşa ederlerken, geçmiş yüzyıllarda Hindistan'dan Orta Amerika'ya kadar olan coğrafyada kullanılan yapay ısıl konfor ve havalandırma - trake sistemleri, yelgel sistemleri, göz ardı edilmiştir.

⁵² Yazar böceklerdeki havalandırma - solunum sistemiyle ilgili, özellikle Güneş ışınımının etkisi konusunda bir çalışmaya rastlamamıştır.

Endüstri devrimiyle gelişen teknolojilerin geliştirdiği araçlarla, enerji tüketici yapay mekanik ısı konfor ve havalandırma (fan+kanal) sistemleri geliştirilmiş, konfor ve iç hava kalitesi kriterleri, bu sistemlere göre tanımlanmıştır. Sonuç olarak da enerji kullanan yapay sistemlerin giderek artması sonunda, insanlar küresel enerji ve küresel ısınma problemleri ile karşı karşıya kalmıştır. Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri Antonio GUTERRES, küresel ısınmadan öteye “küresel kaynama çağına girdiğimizi” ifade etmiştir. Günümüzde, bazı ülkelerde hala sürdürülen geri dönülmez çok katlı-yüksek-geniş hacim morfolojiye sahip kentsel yapılaşma yüzünden, söz konusu binalarda yaşayan insanların enerji kesintisiyle karşılaşacakları travmatik süreçlerin önlenmesi için, kent içinde enerji depolama gibi, yapılaşma paradigmasının olumsuz sonuçlarını gidermeye çalışan projeler geliştirilmeye başlanmıştır.

Son 30 yıllarda yelgeller üzerine giderek artan araştırmalar, deneysel uygulamalar ve uygulamada yaygınlaşma trendleri ile havalandırmada yüzyıllar önceki doğanın çözümlerine dönüş, endüstriyel devrimle başlayan sürdürülemez enerji kullanımının ve paralelinde gelen sorunların çözüm ortakları arasında görülmektedir. “...orijinal teknoloji çok eski olsa da bugüne kadar hiç bu kadar alakalı olmamıştır” [77].

3. ANTİK DOĞAL HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ: YELGELLER

İlk konutlarda egzoz delikleri: HARRAN EVLERİ

Antik çağların mimarlarının konutlarda açık ateşin yarattığı kirliliğe karşı öngördükleri ilk tedbirlerden biri çatılarda açılan deliklerdir. Bu uygulamanın bir örneği, 150-200 yıllık kalıntıları olan, turistik amaçla bir kısmı restore edilmiş yığma kubbeli Harran evlerinde görülmektedir (Şekil 7). Harran ve çevresi dışında Musul yakınlarında Arpachiyah'ta (Irak), Schulaveri'de (Tiflis-Gürcistan) ve Khirokitia 'da (Kıbrıs), MÖ 4000. yıllarına dayanan kubbeli ev kalıntıları olduğu not edilmiştir [78]. Yazarın ulaşabildiği kadarıyla Harran Evlerindeki ısı çevre üzerine yapılan tek deneysel çalışma BAŞARAN [79] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Harran için en sıcak ay olan temmuzda yapılan ölçümlerde iç ve dış sıcaklık maksimumları arasında yaklaşık 10°C'a varan farklılıkların olduğu görülmüştür. Gündüz ve gece arasında dış sıcaklıktaki değişim 43°C-21°C arasında yaklaşık 22°C oluşurken iç sıcaklıktaki değişim 28°C-33°C arasında yaklaşık 5°C olmaktadır. Bu değerler, (baca üzerindeki koruyucu elemanların yönlendirilmesi dahil) kubbe geometrisinin ve bina malzeme özelliklerinin güneş ışınımına karşı davranışının inceleneyeceği bir (taşınım, ışınım ve iletim) CFD modellenmesinin modern tasarımlara katkıları olacağını düşündürmektedir.



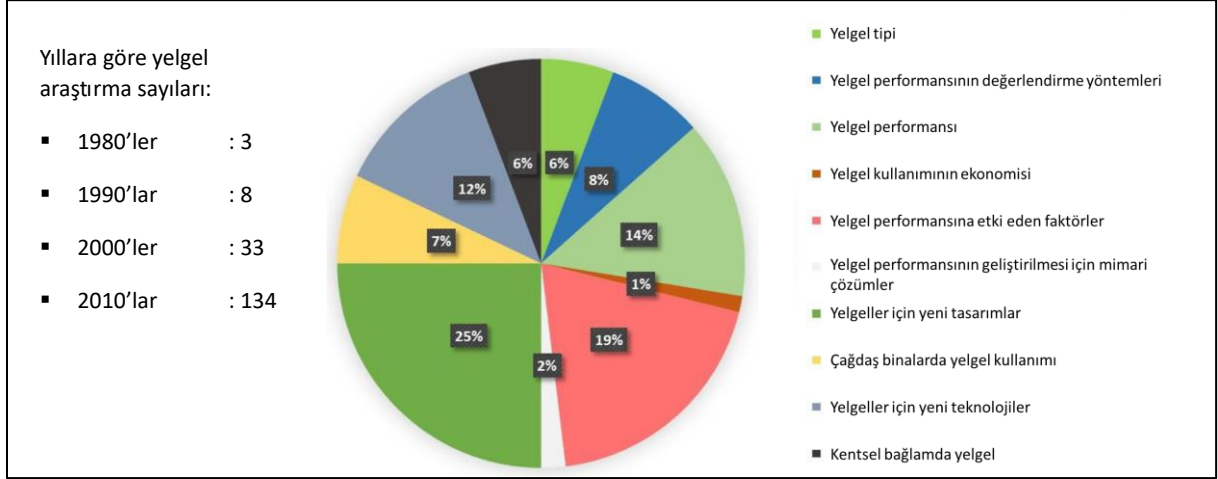
Şekil 7. Harran evleri dış görünüşler ve kubbe egzoz deliği:(a) [78] ; (b,c) [80]

YELGELLER

Yelgeller, antik çağlardan bu yana, evlerde, camilerde, kervansaraylarda, sarnıçlarda ve madenlerde kullanılan, ısı konfor ve iç hava kalitesi uygulamaları için ilham verici, sıcak ve kuru coğrafyalarda geleneksel formlarıyla uygulamaların dışında, çağdaşlaştırılmış formlarıyla günümüz mimarlık ve mühendisliğinde örnek yapılarda⁵³ [81-83] ve deneysel uygulamalarda kullanılan bir sistemdir. Geleneksel yelgeller, bin sayfayı aşan bir çalışmayla, en geniş anlamda ve kapsamlı olarak, başta

⁵³ Bluewater Shopping Centre, Dartford, Kent; Ionica Headquarters, Cambridge; Queens Building, Leicester; Regent Park Health Centre, London; Kidderminster College, Kidderminster [81]; Katar University [82]; Urban Wind Towers [83].

Kahire olmak üzere tüm ülkelerdeki uygulamaları ile KING tarafından derlenmiştir [84,85]. Yelgeller üzerine son çeyrek yüzyılda analitik [81,86-92], deneysel [81,87,89, 91,93-105], hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD-CFD) [100,106-111] ve analog simülasyonla [112,113] araştırmalar yapıldığı gözlenmektedir. Yelgeller üzerine pek çok derleme (review) makale de yayınlanmıştır [84,93,114-128]. Yelgeller üzerine, yapılan araştırmaların sayıları ve alanlarıyla ilgili madencilik [129] üzerine yapılan bir çalışmanın verileri, SANGDEH ve NASROLLAHI [127] tarafından araştırma sayılarına ve araştırma alanlarına göre analiz edilmiştir (Şekil 8); görüldüğü üzere yelgeller giderek artan bir ilgi odağı olmaktadır.



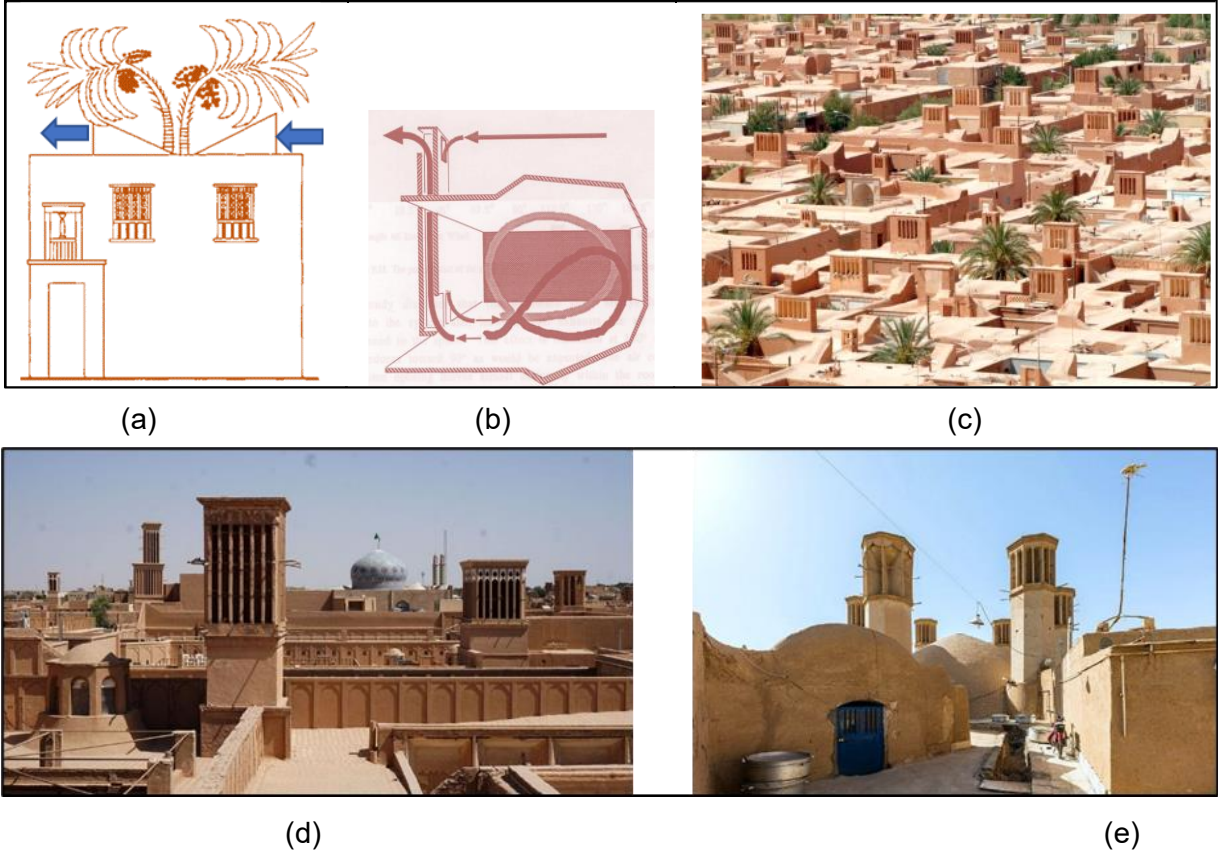
Şekil 8. Yıllara göre yelgel araştırma sayıları ve alanlarına dağılımı [127].

Literatüre göre yelgeller dört amaçla kullanılmaktadır: (1) Bağdat'taki gibi havalandırmayı sağlamak. (2) Taşınimsal soğutmayı (hava hızı etkisi ile ısı konfor) sağlamak. (3) Buharlaşmalı soğutma ile hava sıcaklığını düşürmek. (4) Gece düşük sıcaklıktaki dış havadan veya yer altındaki kanallarla soğuk zeminden faydalanarak bina bileşenlerini soğutarak soğu depolamak [114].

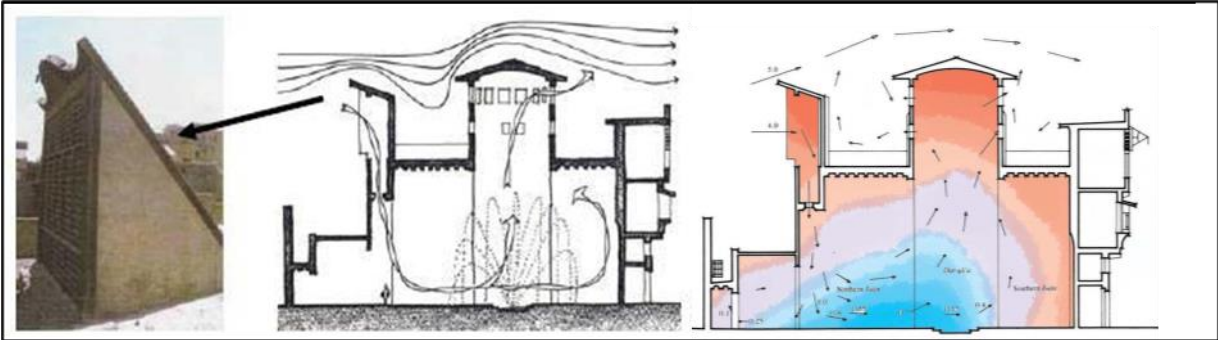
Yelgeller, açık termit yuvalarındaki taşınım mekanizmasına benzer olarak [74], rüzgârın giriş açıklığı önünde oluşturduğu pozitif basınç farkıyla dış havanın kanallarla yaşam alanlarına yönlendirilmesi ve iç hacimlerde oluşan yüksek basınç ve rüzgârın geliş yönünün aksi yöne bakan yelgel açıklığı önündeki negatif basınç nedeniyle, havanın yine kanallarla dışarıya atılmasıyla gerçekleştirildiği (Şekil 9 a, b), Dünya'da ilk defa kullanılan yapay doğal havalandırma sistemidir. Kullanıldığı kuru ve sıcak bölgelerde, ışınım ısı kazançlarının (güneş ışınımı) yüksek olması nedeniyle yeterli açıklıkta pencere kullanılması mümkün olmadığından, ikinci ve üçüncü nedenler olarak da yoğun yerleşim alanlarında yer seviyesindeki rüzgâr hızının düşük olmasından ve yer seviyesindeki dış tozlardan korunmak üzere, antik mimarlar çatı üzerindeki açıklıklardan dış havayı hacimler içine yönlendirme çözümünü geliştirerek, ısı konforu ve iç hava kalitesini artırmışlardır. Uygulamalarda hava giriş kanallarında ıslak yüzeyler - kısıtlar kullanılarak buharlaşmalı soğutma yoluyla, giriş havasının sıcaklığının düşürüldüğü sistemler de söz konusudur [93].

Ortadoğu'da sıcak, kuru ve rüzgârlı bölgelerde, antik çağlardan bu yana yaygın olarak kullanılan yelgeller (Şekil 9), enerji tasarruf ve karbonsuzlaştırma hedefinde, günümüz bina teknolojisine ilgi alanına, bir anlamda da termit yuvalarına biyomimetik yaklaşımın bir örneği olarak tanımlanabilecek şekilde girmiştir. Antik bir yerel çözüm olmasına karşılık, günümüz teknolojisine de katkı koymasına muhtemel bir konfor sistemidir.

Yelgellerin çatı üstündeki yükseklikleri 5 ile 33 metreye kadar uzanmaktadır [98]. Antik yelgellerin en önemli özelliklerinden biri, yerel kültürel ve yerel mimari anlayışla tasarlanmış ve kerpiç gibi yerel doğal malzemelerle üretilmiş olmalarıdır. Pek çok uygulamada yelgel girişinden aşağıya doğru uzanan ana şaft içindeki kerpiç bölmeler, gece serbest soğutma için soğu depolayan yelgel bileşenleridir. Yelgel uygulamalarında yaşam alanlarındaki havuz fiskiyeleri de buharlaşmalı soğutmanın sağlandığı bileşenler olarak görülmektedir (Şekil10).



Şekil 9. (a) Firavun Neb-amon'un (MÖ: 1300) Kraliyet konutundaki yelgel [93]. Hava tüneline yapılan bir çalışmada, bu tasarım en fazla hava değişimini yaratan model olarak gözlenmiştir [97]. (b) Kapanların çalışma prensibi [93]. (c) Kuzey İran'daki Meybod kentinde yelgeller [130]. (d), (e) İran'da Yazd şehrinde yelgeller [131], (e) [132]



Şekil 10. (Mısır) Kahire Evinde yelgel (malkaf) [133, 117].

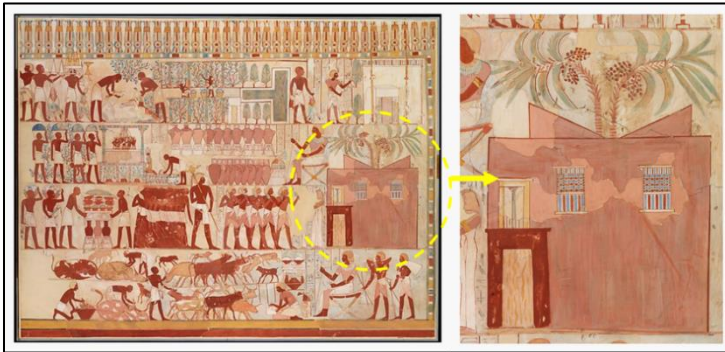
Yelgellerin kullanıldığı kuru ve sıcak bölgelerdeki iklim özellikleriyle bu bölgelerdeki binaların öngörülen tasarım özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Yelgeller ısı konfor ve iç hava kalitesi için öngörülen, ayarlanabilen havalandırma tedbidir.

Tablo 3. Sıcak ve kuru iklimler de konfor ve İHK çözümleri [117].

Sıcak ve kuru iklimlerin karakteristikleri.	Kuru ve sıcak iklimlerde mimarı çözümler.
<ul style="list-style-type: none">• Gündüz çok yüksek sıcaklıklar.• Yüksek sıcaklık değişimi.• Yüksek hızlı rüzgârlar.• Yerden de yansıtılan yüksek güneş ışınımı.• Su kıtlığı.• Düşük nem.	<ul style="list-style-type: none">• Maksimum gölge sağlanması.• Hareketli parçalarla yaz ve kış ekstrem şartlarının dengelenmesi.• Ayarlanabilir havalandırmanın sağlanması.• Aşırı büyük yüzeylerden kaçınma.• Yansıtıcı dış yüzeylerin kullanılması.• Aşırı sıcaklıkların dengelenmesi için ısı kütellerin kullanılması (enerji depolama).• Buharlaşmalı soğutmanın kullanılması.

3.1. Yelgellerin Tarihi

Yelgellerin ilk örneklerinin MÖ 4000'de İran'da, MÖ 1300'de Mısır'da kullanıldığına dair kanıtlar olduğu iddiası literatürde yer almaktadır. Yelgellerin kuzey İran'da Masouda (Shahrud)'da Tappeh Chackmaq harabelerindeki bir evde MÖ 4000 yıllarına dayanan ilk örneğinin keşfedildiği belirtilirken [99,90], Mısır'daki MÖ 1300 yıllarına dayanan kanıtlar daha somut gözükmetedir. Bu kanıtlardan ilki 18. Hanedandan Firavun Neb-amon'un (MÖ: 1300) mezarında bulunan bir duvar resmi (Şekil 11). Resmin sağ ortasında görülen konutun çatısında birbirine zıt yöne bakan iki üçgenin yelgeller olduğu belirtilmektedir [93]. Söz konusu üçgenlerin terasa çıkan merdivenler olabileceği öne sürülse de çıkış noktalarının çatıyla geometrik ilişkisi göz önüne alınarak, bu üçgenlerin merdiven çıkışından çok yelgel olduğu görüşü öne sürülmektedir. Yine antik Mısırdan aynı yıllara ait bir papirüsteki resim de bu görüşü destekler niteliktedir. Orijinali British Museum'da bulunan bu papirüsteki çizimde, çatı-teras üstünde aynı yöne bakan iki üçgen bulunmaktadır (Şekil 12). Üçgenlerden bir tanesinin çıkış ağzının teras kenarında olması, merdiven ihtimalini azaltmaktadır. Hiç şüphesiz bu iki ülke, özellikle İran, günümüzde de yelgellerin en fazla kullanıldığı coğrafyalardır. Ancak Yelgellerin hangi medeniyete ait olduğu konusunda İranlı ve Arap araştırmacılar arasında yanlı görüşler olduğu göze çarpmaktadır [134,118]. Yelgellerin tarihsel gelişimini not eden bazı araştırmalarda, yazar/yazarların diğer ülkeye ait tarihsel örnekleri hiç değerlendirmedikleri görülmektedir [90,97-99,118,135,136,]. Bir çalışmada Yelgellerin Abbasiler devrinde (750-1258) ve takip eden zamanlarda hastanelerde kullanıldığı not edilmiştir [136]. Yelgellerin (çok detaylı) tarihi incelemesi BAHADORI ve DEHGhani-SANIJ tarafından [89] tarafından verilmiştir. İran'daki yelgellerin tarihi ve keşfedilmesi ile ilgili çok geniş bir çalışma da ARMANFAR vd [126] tarafından yapılmıştır.



Şekil 11. Kral Nebamun'unun mezarındaki duvar resminde kralın konutu üzerindeki yelgeller [138].






Şekil 12. _Ölümler Kitabındaki, 18.inci Hanedan zamanında (MÖ 1550-1296) kraliyet kâtibi olan Nakht'ın konutundaki yelgel [139,140].

3.2. Yelgellerin yayıldığı coğrafya

Hindistan'dan, Türkiye'ye, Mısır'a ve Kuzey Afrika'ya kadar olan yaygın coğrafyada, kuru ve sıcak bölgelerde kullanıldığı görülen yelgellerin, basit bir örneğinin Peru'da Mochica yerlilerinin (MÖ 200 -MS 700) yerleşim merkezlerinde de bulunduğu, ancak kullanım devamsızlığı nedeniyle bu konudaki araştırma bulgularının zayıf kanıtlar olarak tanımlandığı görülmektedir [93]. Bir başka çalışmada da Amazon toplumlarında Uzunevlerde (Longhouse), rüzgârın havalandırmada kullanılmasının tarihinin MÖ 5000 yıllarına uzandığı not edilmiştir [141]. Peru hariç diğer ülkelerdeki yelgellerin genel sınıflandırılması, uygulamaları ve geometrik özellikleri ülke bazında COHAN ve AWAD [128] tarafından incelenmiştir. Şekil 13'te farklı ülkelerdeki geleneksel yelgellerin örnekleri yer almaktadır.

Şekil 13' de Türkiye için sembolik olarak gösterilen yelgel türü, Şanlı Urfa'da restore edilmiş ve korunmuş 6 evde, korunamamış veya girilememiş dört evde de dışarıdan ve eski fotoğraflardan MELİKOĞLU tarafından yüksek Lisans çalışmasında [124] incelenmiştir.

			
Mısır	Irak	Suriye	Türkiye
			
Pakistan	Hindistan	Afganistan	BAE
			
Bahreyn	Kuveyt	İran	İran

Şekil 13. Ülkelerden geleneksel yelgel örnekleri ([128]'den düzenlenmiştir].

Güncel bir yayında, Ming (1368-1644) ve Qing (1644-1911) hanedanları sırasında yaygın olarak kullanılan “gökyüzü kuyusu” (İngilizce skywell – mandarin dilinde tian jing”) uygulaması da antik yelgel teknolojisinin bir benzerinin Çin’de de kullanıldığını göstermektedir [175]. Böylelikle yelgellerin uygulandığı coğrafya Çin’e kadar uzanmıştır.

3.3. Yelgel Terminolojisi

Genel olarak bina üzerinden veya az da olsa bina cephesinin üst kotlarından, rüzgârın yarattığı basınç farkı ile dış havanın yaşam hacimlerinin iç hava kalitesinin yükseltilmesi ve ısı konforun iyileştirilmesi için, binanın tasarımı esnasında planlanan ve uygulanan (in-built) yelgel sistemleri, farklı dillerin, diyalektlerin kullanıldığı çok geniş bir coğrafyada, binlerce yıldır kullanılmaktadır. Türkçe literatürde sekiz, İngilizce literatürde on iki isimle anılan (Tablo 4), sistem olarak biri buharlaşmalı soğutma bileşenlerini içermek üzere üç farklı şekilde tanımlanan (Tablo 5) bu geleneksel yapıların isimleri gerek yerel dillerde gerek araştırmalarda, bir başka alanda zor görülür bir çeşitlilik (biri yazarın Türkçe için önerisi, 72 isim) göstermektedir.

Başlangıcı İran ve Mısır’da, milattan önceki binlerce yıla dayanan söz konusu sürücüsü rüzgâr olan bu antik teknolojinin Farsça ismi, farklı alfabe nedeniyle farklı telaffuzların yaratılmasının söz konusu olduğu öngörülerek, İngilizce literatüre fonetik olarak en çok Badgir veya Baud-geer olarak aktarılmıştır. Benzer şekilde Mısır’da kullanılan ismi de İngilizce literatürde Arapça olarak Latin harfleriyle “Malkaf” veya “Malqaf” şeklinde yer almıştır. Bu iki ismin anlamı aynıdır ve rüzgâr yakalayıcı anlamına gelmektedir. Bu yapılar Ortadoğu’da genellikle bu iki isim ile anılmaktadır [137]. Tablo 1’de yer alan diğer isimlerin de Farsça ve Arapçadan, aynı doğrultuda Latin harflerinin kullanıldığı literatürde yer alması olasıdır. Söz konusu teknolojinin örneklerinin Türkiye’de Şanlıurfa’da kullanıldığı ve “badgel” veya “Badia” ismi ile anıldığı görülmektedir [142,128]. “Bad” Farsça rüzgâr anlamındadır ve aynı zamanda Osmanlıcaya ithal edilmiş, edebi metinlerde (“bad-ı sabah” gibi [148]) çok kullanılmış bir kelimedir. “Gel” Türkçede, ön ve son ek olarak çengel, döngel, gelgit, gelberi gibi örneklerinde görüleceği üzere çok kullanılan, Eski Türkçe “kel” fiilinden türemiş[143], günümüz Özbekçesinde de gel anlamında “kel” olarak kullanılan bir kelimedir. Tablo 4’te verilen İngilizce isimlerin Türkçe karşılıkları olan kelimeler yerine, tarihsel yerel “Badgel” kelimesinin günümüz Türkçesinde karşılığının, tek kelime yapısında “yelgel” olarak, fonksiyon çağrışımı ve ses uyumu açısından kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada bir öneri olarak yelgel kelimesi kullanılmıştır.

Tablo 4. Yelgellerin değişik ülkelerde, İngilizce ve Türkçe literatürde Latin harfleri ile yazılmış isimleri.

	GELENEKSEL VE YENİ YELGEL İSİMLERİ	ÜLKE	KAYNAK
1	Badnivil	Afganistan	[128]
2	Harati	Afganistan	[93]
3	Mashrabiya(*2)	Arap Ortadoğusu	[87]
4	Casteel	Bahreyn	[145]
5	Tazia Minar	Hindistan	[128]
6	Barajeel	Irak, Katar, Dubai, Bahreyn	[104,128]
7	Windscoop	İngilizce	[94,103,128]
8	Vantilator Opening	İngilizce	[105]
9	Wind Catcher	İngilizce	[133]
10	Wind Tower	İngilizce	[86]
11	Louver (*4)	İngilizce	[146,147]
12	Wind scoop (*5)	İngilizce	[147]
13	Ventilator Tower	İngilizce	[137]
14	Cowl ventilator	İngilizce	

Tablo 4. (Devamı)

15	Ventilator on roof	İngilizce	
16	Wall ventilatör (*7)	İngilizce	
17	Wind Tower Trap	İngilizce	[91]
18	Cellular Baudgeer	İngilizce	[89]
19	Bağdadi	Irak	[93]
20	Badahanj	İran, Mısır	[1,84]
21	Badgir	İran	[87,98,145]
22	Badkhan	İran	[126]
23	Badkhen	İran	
24	Badgherd	İran	
25	Badghor	İran	
26	Badheng	İran	
27	Badghis	İran	
28	Hishhan	İran	
29	Badganeh (*1)	İran	
30	Hish	İran	
31	Hishhoud	İran	
32	Hâwâ kesh	İran	[137]
33	Hashti	İran	
34	Yazdi	İran	[93]
35	Kolak	İran (Sistan)	[105]
36	Surak	İran (Sistan)	
37	Dariche	İran (Sistan)	
38	Baad-Kaash(*2)	İran, Batı Körfez Sahilleri	[87]
39	Arabian badkesh (*7)	İran, Kuveyt ve Körfez Bölgesi	[137]
40	Bushir	İran, Körfez Batı Sahilleri	[93]
41	Bandar-e-Abbasi)	İran, Körfez Batı Sahilleri	
42	Bastika	İran, Körfez Batı Sahilleri	
43	Baud-geer	İran, Dubai, Bahreyn, Kuveyt	[87,145]
44	Badgir	İran	[128,104]
45	Meneh	İran (Horasan)	[137]
46	Bad-gir	İran, Irak	[87]
47	Ardakani (*6)	İran (Ardakan,)	[90,93,116]
48	Kirmanı (*6)	İran (Kirman, Yazd)	[90,116,137]
49	Yazdi	İran (Yazd)	[90,137]
50	Meneh (Cowl vantilatör)	İran (Horasan)	[137]
51	Badkeer	Katar	[145]
52	Malkaaf Hawah	Kuzey Afrika	[87]
53	Malgaf	Mısır	[112]
54	Malkaf	Mısır	[133,145]
55	Malqaf	Mısır	[93]
56	Shuksheika (Shokhshekkah) (*3)	Müslüman arap evleri	[133,134]
57	Mangh	Pakistan	[128]
58	Badkhor	Pakistan	[148]
59	Mungh	Pakistan (Sind Eyaleti)	[104]
60	Sindi	Pakistan (Sind Eyaleti)	[93]

Tablo 4. (Devamı)

61	Hawaa-Dani	Pakistan (Sind Eyaleti)	[104]
62	Bating	Suriye, Filistin	[104,145]
63	Shanshool	Suriye, Filistin	[128]
64	Badgel	Türkçe (Şanlıurfa)	[124,128,142]
65	Badia	Türkçe (Şanlıurfa)	[142,149]
66	Rüzgâr Bacası	Türkçe literatür	[126]
67	Rüzgâr Yakalayıcı	Türkçe İngilizce'den çeviri	[149]
68	Rüzgâr Kepçesi	Türkçe İngilizce'den çeviri	
69	Rüzgâr Kulesi	Türkçe İngilizce'den çeviri	[150]
70	Rüzgâr Tutucu	Türkçe İngilizce'den çeviri	[123]
71	Rüzgâr Kapanı	Türkçe literatür	[87,122]
72	Yelgel	Türkçe (Bu çalışmada önerilen ve kullanılan)	
<p>Notlar</p> <p>(*1) "Bu kelime "Kafes/Şebeke" anlamına gelir ve genellikle binaların dış cephesi ve kapılarında yer alır. Bu mimari öge, kafesli bir biçimde olması sayesinde görüntü açısından binaların mahremiyetini koruyup, aynı zamanda da iç mekanların havalandırma ve aydınlatılmasını sağlamıştır; ayrıca bu mimari öğeler Kerkeri, Chun (Çon), Badgozar, Badparva, Badpich gibi farklı adlarla da tanımlanmışlardır" [126].</p> <p>(*2) Kafesli cumba gibi, binaların yan yüzeylerinde bulunan yapılar.</p> <p>(*3) (İngilizce: Lantern). Yapının en üst kısmında, özellikle kubbeli binalarda havanın çıkışı-egzozu için kullanılan tasarımlar.</p> <p>(*4) İranlı araştırmacılar tarafından kullanılan bir terim.</p> <p>(*5) Gemilerde havalandırma için havanın girişini sağlayan tek açıklıklı sabit elemanlar. Çağdaştırılmış olarak binalarda rüzgâra dönebilen ve hava girişinin sağlandığı tasarımlar.</p> <p>(*6) Bir çalışmada yelgeller yaygın olarak kullanıldıkları kentlerin isimleriyle anılmaktadır. Ardakani: Tek yönlü yelgel. Kirmani: İki yönlü yelgel. Yazd: Dört yönlü yelgel [90]. ROAF'a göre ise Yazd'da kullanılan Ardakani ve Kirmani isimleri, hâkim rüzgâr yönleri Ardakan ve Kirman olduğu için bu isimler verilmiştir [137].</p> <p>(*7) Yan duvarlarda rüzgârın içeriye girmesini sağlayan açıklıklar.</p>			

Tablo 5. Sistem terminolojisi.

Sistem		Kaynaklar
BS(*) Ventilation	Dengelenmiş baca havalandırması	[86]
DECS(*2) Ventilation	Aşağı yönlü buharlaşmalı soğutmalı baca havalandırması	[149]
TDNV(*3) Wind Catcher	Yukarıdan aşağıya yelgelli doğal havalandırma	[88]
<p>(*) Balanced Stack Ventilation (*2) Dawndraugh Evaporatife Cooling Stack Ventilation (*3) Top-Down Natural Ventilation</p>		

3.4. Yelgellerin çağdaş uygulamalar için önerilen özellikleri

Varlığını antik çağlardan günümüze kadar taşıyan, sürdürülebilir ve enerji tasarruflu bir bileşen olarak günümüz bina teknolojisi ilgi alanına giren yelgellerin çağdaş uygulamalar için öngörülen özellikleri, Tablo 6'de verildiği şekilde özetlenmiştir.

Tablo 6: Yelgellerin özellikleri [128].

1	Islak bir kıtık ile entegre edilmiş yelgeller buharlaşmalı soğutma etkisi de üretebilir ⁵⁴ .
2	Kaynakların olmadığı veya limitli olduğu kırsal alanlar için yelgeller, akıllı ve sürdürülebilir havalandırma yöntemidir.
3	Yelgeller, minimum dış cepheye sahip alçak yapılarla pratik bir şekilde uyum sağlar.
4	Yelgeller ayrıca düşük hızlı hava bölgelerinde kaldırma kuvveti (baca) etkisi yaratmaya yardımcı olur.
5	Düşük hızlı yelgellerin performansı düşük-basınçlı fotovoltik fanların integrasyonu ile geliştirilebilir.
6	Temiz filtrelenmiş hava, iyi tasarlanmış rüzgâr yakalayıcıdan elde edilebilir. Bu normal şehir pencerelerinde mümkün değildir.

⁵⁴ Islak kıtıklar-dolgular ile buharlaşmalı soğutma (evaporative cooling) halen İran gibi ülkelerdeki yelgelerde kullanılmaktadır.

7	Yelgellerin yeni tasarımları, çağdaş yaşam tarzına ve mimariye en iyi şekilde uyacak şekilde geliştirilmiştir.
---	--

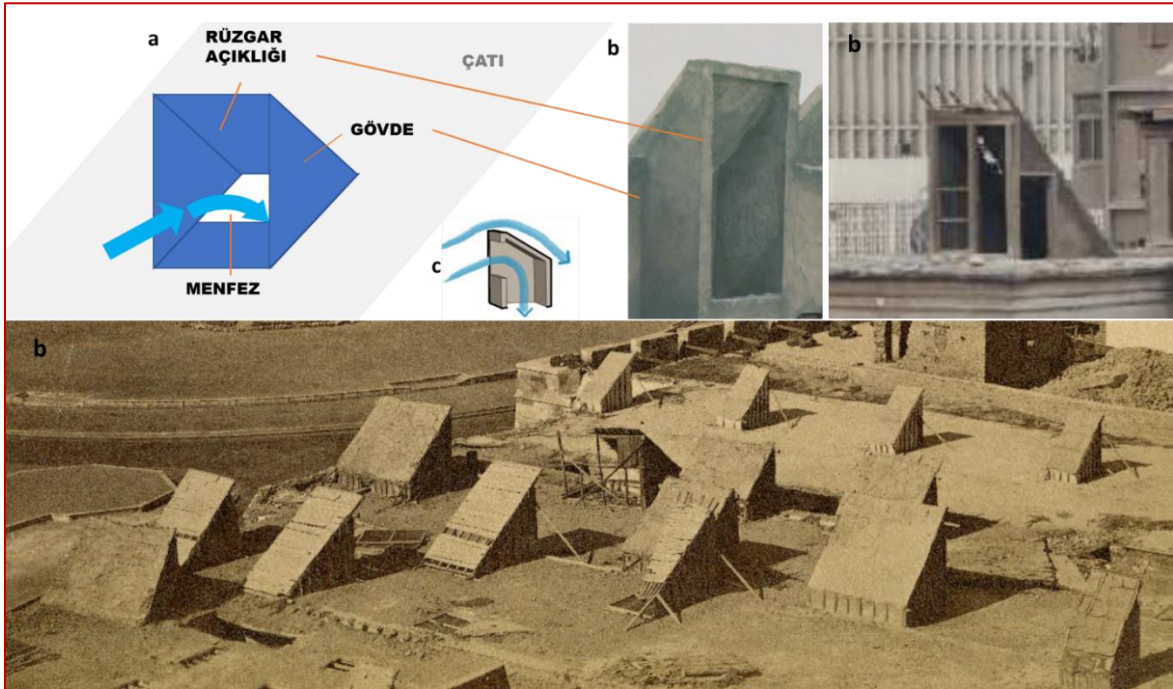
Bu özelliklere aşağıdaki geleneksel özellikleri de katmak gerekir

8	Yelgel sistemlerinde, özel olarak geliştirilmiş ısı depolama elamanları kullanılarak veya hacimler içinde kütlelerin kullanılmasıyla, hava sıcaklığının düşük olduğu gece saatlerinde, soğu depolanarak, gündüz saatlerinde doğal soğutma (Free Cooling – Night Cooling) yapılabilir [118].
---	---

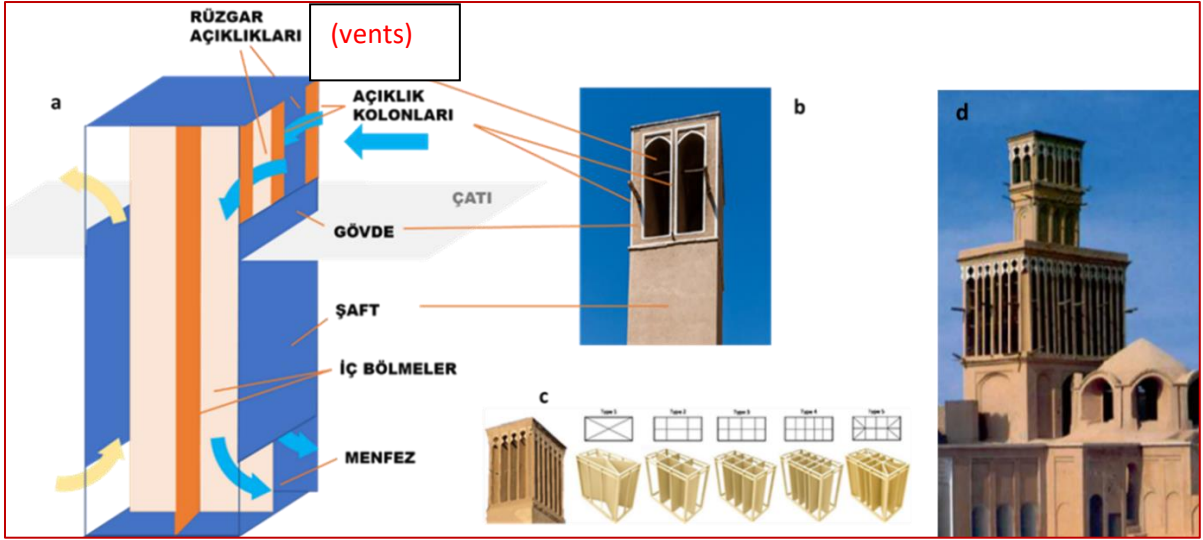
3.5. Yelgellerin bileşenleri

En basit olarak tek yönlü ve genellikle tavandaki bir menfez ile tek bir hacime hizmet eden yelgeller, çatı üstünde eğik bir çatısı ile yan duvarlardan oluşan bir gövdeyle rüzgâr yönünde bir açıklıktan oluşur. Hâkim rüzgâra bakan bu açıklıktan giren rüzgâr tavandaki menfezden yaşam hacmine girer ve bu hacmi süpürdükten sonra hacimdeki diğer açıklıklardan dışarı çıkar (Şekil 14).

Mimarinin gelişmesi ile daha büyük ve çok katlı binalar oluşurken, yelgellerin dış ve iç yapılarının da değişmesi söz konusudur: Alt katlara ve kanat sisteminin [151] geçtiği bodrum katlarına ulaşmak üzere basit yelgelere bir ana şaft eklenmiş, havanın hacimlere ve hacimlerdeki havanın dışarıya atılmasını sağlamak üzere ana şaft düşey duvarlarla bölünmüştür (Şekil 15). Ayrıca dış havanın düşük sıcaklıkta olduğu zamanlarda soğu depolama elemanı olarak çalışan ve şaftın içinde yerden 1,5 –2 metre kadar yüksekliğe kadar uzanan [100] çoğunlukla kerpiçten ikincil bölmeler konulmuştur. Böylelikle örneğin gece soğuk hava ile soğutulan bu bölmelerle gündüz giren sıcak havanın sıcaklığının hacimlere girmeden önce duyulur ısı transferi ile düşürülmesi öngörülmüştür (Şekil 15 c). Bir çalışma da dört yönlü bir yelgelde iç bölmelerin Yazd şehrindeki uygulamalara dayanan çeşitlilikleri ve performans etkisi detaylı olarak verilmiştir [152] Bu gelişmelerin yanında çatı üstü gövdenin de estetik anlamda geliştiği görülmektedir; yelgelere çatı üstündeki açıklıkları bölen aynı zamanda çatıyı taşıyan kolonlar eklenmiştir (Şekil 15 b,d).



Şekil 14 : Tek yönlü basit yelgeller: (a) Bileşenler. (b) Basit yelgel örnekleri [84,153]. (c) Basit yelgelde hava hareketi [154].



Şekil 15. Gelişmiş yelgel modeli ve örnekleri: (a) Yelgel bileşenleri. (b) Bir sarnıç yelgeli [155]. (c) Gelişmiş dikdörtgen yelgelerde iç bölme örnekleri [154]. (d) Çift katlı ve kubbe tipi yelgeller [84].

3.6. Yelgellerin Sınıflandırılması: LİTERATÜR

Yazd ile ilgili seyahat notlarında yelgellerden bahsetmeyen Marco Polo (1254-1324), daha sonra gittiği Hürmüz⁵⁵ notlarında yelgelere detaylı olarak yer vermiştir [137]. ROAF'a göre, Yazd şehrini 1871'de ziyaret eden General GOLDSMIT, 1876 yılında yayınlanan anılarında Marco Polo'dan sonra yelgellerden bahseden ilk yazardır ve ondan sonra Yazd şehrini ziyaret eden her seyyahın eserlerinde ana konu yelgeller olmuştur [137]. ROAF, pek çok araştırma tarafından referans verilen, literatür araştırmasında detaylı olarak incelediği çalışmasında, 1988 tarihli kendi doktora çalışmasına kadar yelgellerin ölçüleri, çeşitleri ve buldukları binalar hakkında bir çalışma yapılmadığını belirtmiştir. Ayrıca varsayımdan öteye sıcaklık, nem, hava debisi ölçümleri ile yelgellerin fonksiyonu üzerine bir çalışma yapılmamıştır. ROAF'ın 1976 ve 1977 yıllarında Yazd şehrindeki yelgel sistemi uygulanmış 713 binada yaptığı bu detaylı deneysel çalışma, uzun bir aradan sonra 1988 senesinde doktora tezi olarak yayınlanmış, sonraki çalışmalara kaynak olmuş, öncü ve temel bir çalışmadır.

ROAF'ın doktora tez çalışmasından sonra günümüze kadar yapılan araştırmaların pek çoğunda yelgellerin sınıflandırılmasına yer verilmiştir. Ancak literatür incelendiğinde, birbiriyle kesişen öğeleri olan sınıflandırmaların yapıldığı, bazı sınıflandırmaların aynı öğelerle ancak farklı tanımlarla yapıldığı ve bazı sınıflandırmaların ise ROAF'ın doktora tezindeki sınıflandırmayı ve kesit çizimlerini esas aldığı görülmekte, bazı sınıflandırmaların da yerel ölçekte kaldığı, bazılarının da sadece ilgi alanında olan yelgel türlerini içerdiği gözlenmiştir. Tablo 7'de literatürde verilen sınıflandırmalarda göz önüne alınan farklı ölçütler verilmiştir.

Tablo 7. Literatürde yelgellerin sınıflandırma ölçütleri.

1	Yelgel fonksiyonu (işlevsel, estetik)
2	Açıklık yön sayısı (tek yönlü, iki yönlü)
3	Açıklık Yönü
4	Gövde dış kesit geometrisi
5	İç bölmeler kesit geometrisi
6	Yelgelin çatı üzerindeki konumu
7	Orijin ve geometrisi
8	Zaman içindeki gelişimi (geleneksel, modern, süper)
9	Bölgesel terminoloji
10	Yelgel kat sayısı
11	Yöresel isimler
12	İklimler
13	Mimari

⁵⁵ İngilizce Literatürde Hormuz veya Hormoz olarak geçmektedir.

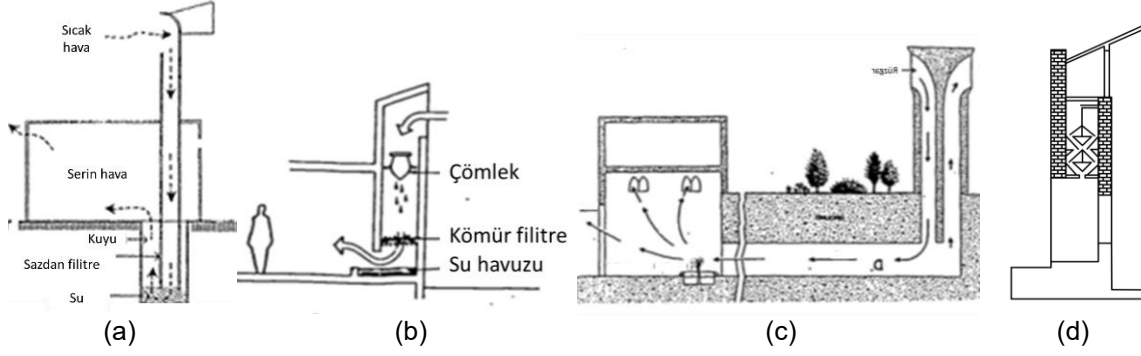
Literatürdeki Tablo 7 deki ölçütlere göre yapılmış sınıflandırmalarda yer alan tüm yelgeller, Tablo 8'de bütünleştirilmiş genel sınıflandırma içinde toplanmıştır.

Tablo 8: Literatürdeki ölçütlere göre yelgellerin bütünleştirilmiş sınıflandırması.

A	Evrimsel ölçüte göre	Göçebe çadırlarının bir köşesinin kaldırılarak rüzgârın çadır içine alınması fikrinin geliştirilmesi olarak görülen [118] yelgellerin gelişim sürecine göre üç farklı grupta sınıflandırılmıştır [115].
	A1. Geleneksel yelgeller	Firavunlar çağından günümüze kadar olan zaman diliminde, en gelişmiş örnekleri Yazd (İran) kentinde görülen geleneksel yelgeller [137].
	A2. Modern veya ticari yelgeller	Geleneksel yelgellerden esinlenerek günümüz teknolojisi ile üretilen yelgellerdir (Şekil 16). İngiltere'de 7000 binada ve 1100 okulda modern veya ticari yelgellerin kullanıldığı not edilmiştir [145].
	A3. Süper modern yelgeller	Günümüzde alternatif enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgâr türbinleri bu sınıfa sokulmuştur [115]. Şüphesiz rüzgâr türbinlerin yapısal ve fonksiyonel olarak geleneksel ve modern yelgellerden çok farklıdır.
B	Fonksiyonel ölçüte göre	Günümüzde gözlenen yelgellerin bir kısmı, geleneksel yelgellerin formunda, binalarda işlevsel özelliği olmadan, bina üstlerinde sadece gövde olarak (sembolik) estetik bileşen olarak inşa edilmiştir [116].
	B1. İşlevsel yelgeller B2. Sembolik (estetik) yelgeller	
C	Kat Sayısı ölçütlerine Göre	Geleneksel yelgellerin son gelişen ve az sayıdaki uygulaması biri diğerinin üzerinde iki katlı yelgellerdir (Şekil 15 d) ve bir ayrı sınıf olarak not edilmişlerdir [127]. Bu yapısal farklılık göz önüne alınarak yelgeller iki sınıfta temsil edilebilir.
	C1. Tek katlı yelgeller	
	C2. Çok Katlı yelgeller	
D	Çatı Düzlemindeki konum	Bu sınıflandırma çatı üstündeki yelgelin, bina mimarisine göre rüzgârın kullanılacağı mahallin (salon, atrium, ayvan vs) konumuna en kısa düşey shaft ile ulaşılması amacıyla belirlenmiş yerine göre yapılmıştır [106]. Alt sınıflar yelgel işlevi açısından bir farklılık oluşturmamaktadır.
	D1. Salon ve atriuma bağlantı	
	D2. Sadece atriuma bağlantılı	
	D3. Salona köşeden bağlantılı	
E	Soğutma ölçütlerine Göre	Soğutma sistemli yelgeller shaftları içinde kullanılan buharlaşmalı soğutma elemanları olan küpler, ıslak yüzeyler, küçük su havuzları (Şekil 17), toprak altı su kanalları ile veya yelgellerden gelen havanın yönlendirildiği havuz fiskiyeleri ile soğutmanın sağlandığı yelgeller.
	E1. Soğutma sistemli yelgeller	
	E2. Soğutmasız yelgeller	



Şekil 16. Modern veya ticari yelgeller: (a) Nottingham Üniversitesi [95]. (b) Güney Londra'da, Beddington Sıfır Enerji Gelişimi Projesi (BedZED Wind Cowl System) [95, 156].



Şekil 17. Buharlaştırma sistemleri örnekleri: (a) Şaft dibindeki su havuzu. (b) Su sızdıran çömlek ve havuz. (c) toprak altı duyulur soğutma ve havuz [137]. (d) Ünlü Mısırlı Mimar Hasan Fethi'nin şaft içinde su havuzlu bir 20. yüzyıl yelgel tasarımı [157].

Yelgelerin sınıflandırılması: GELENEKSEL – İŞLEVSEL PERSPEKTİF

Tablo 7'de verilen farklı ölçütlere göre, literatürdeki geleneksel yelgelerin sınıflandırılması, yelgelerin ısı konfor ve havalandırma açısından performansını etkileyen geometrileri ve bileşenleri açısından çok fazla bilgi vermemektedir. Bu bağlamda, bu çalışmanın alanı geleneksel yelgel türleri ve sistemleri olduğu için, Tablo 8'de koyu olarak yazılmış ve yukarıda açıklanmış gruplar içinde literatürde yer alan tüm yelgel türlerinin (A1, B1, C, D, E), ısı ve kütle transferini etkileyecek farklılıkları açısından sınıflandırılması Tablo 9'da yapılmış ve aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 9: Geleneksel – işlevsel yelgelerin sınıflandırılması.

GELENEKSEL - İŞLEVSEL YELGEL TÜRLERİ			
YELGEL TÜRÜ	YELGEL GÖVDE KESİTİ	İÇ BÖLME KESİTİ	
1	Tek yönlü	Dikdörtgen	İç bölmesiz
		Kubbe üstü daire	İç bölmesiz
2	İki yönlü	Dikdörtgen	
3	Üç yönlü	Dikdörtgen	Bitişik
			Ayrık
4	Dört yönlü	Kare	×
			+
			×
			+
			I
5	Altıgen	Altıgen	H
			K
			*
6	Sekizgen	Sekizgen	*
7	Silindirik	Daire	Daire
8	Özel Tasarım		Daire

Tablo 9'da yapılan sınıflandırma, ROAF'ın çalışmasında [137] verdiği istatistiklerle de uyum içindedir. ROAF, doktora teziyle günümüze kadar en büyük alan çalışmasını yapmıştır. Daha sonra yapılan hemen her çalışmada ROAF'ın bulgularına referans verilmiştir. ROAF'ın ana çalışma sahası UNESCO Dünya Mirası listesinde yer alan İran'ın Yazd şehridir. Yazd şehri geçmişte ticaret yolu üzerinde oldukça öneme sahip bir şehirdir. Bu konumu ile elde ettiği zenginlikle günümüze sayısız mimari miras bırakmıştır. Sahip olduğu geleneksel yelgeller ile büyük bir ilgi çeken şehirde mevcut 713 yelgel ve buldukları özgün

binarlar ROAF tarafından incelenmiştir. Yelgellerin çeşitli türleri için ROAF'ın verdiği rakamlardan hesaplanan, Tablo 9 ile uyumlu türlerin oranları Tablo 10'da verilmiştir.

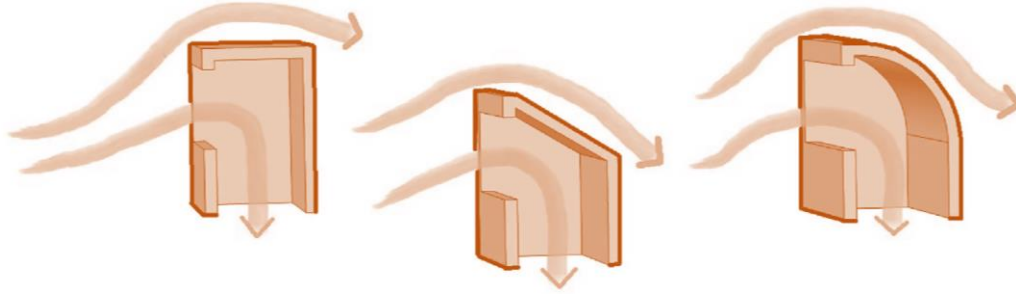
Tablo 10. ROAF'ın [137] incelediği Yazd kentindeki 713 yelgelin türlerine göre dağılımı.

Yelgel türü	Yelgel sayısı	Oran(%)
Tek yönlü yelgeler	22	3,1
İki yönlü yelgeler	127	17,8
Dört yönlü (kare) yelgeler	113	15,8
Dört yönlü (dikdörtgen) yelgeler	388	54,4
6 veya 8 yönlü yelgeler	20	2,8
Özel - Tekil tasarımlar	21	2,9
Yelgel kalıntısı	19	2,7
İki katlı yelgeler	3	0,4
Toplam	713	100

Tek Yönlü Yelgeler

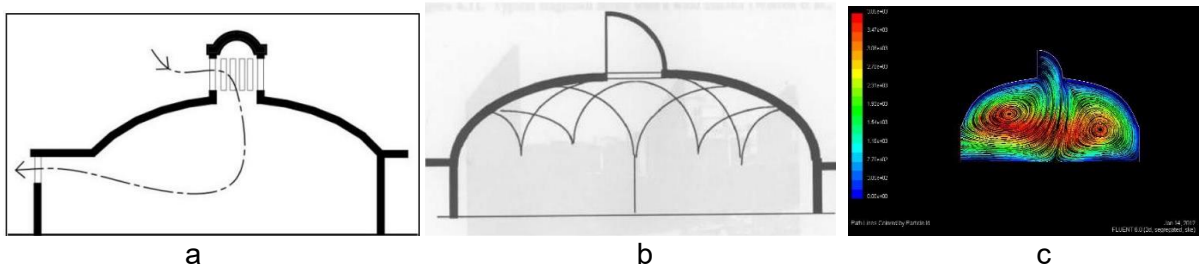
1	Tek yönlü	Dikdörtgen	
		Kubbe üstü daire	

Şekil 14'te örnekleri görülen tek yönlü yelgeler, en eski örneği Mısır'daki duvar resminde (Şekil 9a) görülen, Mısır'da "malkaf" veya "malqaf" olarak İngilizce literatüre aktarılmış, en basit ve en eski yelgel türüdür. Genellikle tavanda açılan bir açıklık üzerine konulmuş, hâkim rüzgâra karşı bir yüzü açık, tavanı eğik, düz veya eğrisel olabilen bir yapıdır (Şekil 18). BAYRAMZADE'ye göre Ardakan kentinde çok kullanılan bir tür olduğu için Ardakani olarak da adlandırılmaktadır [116].



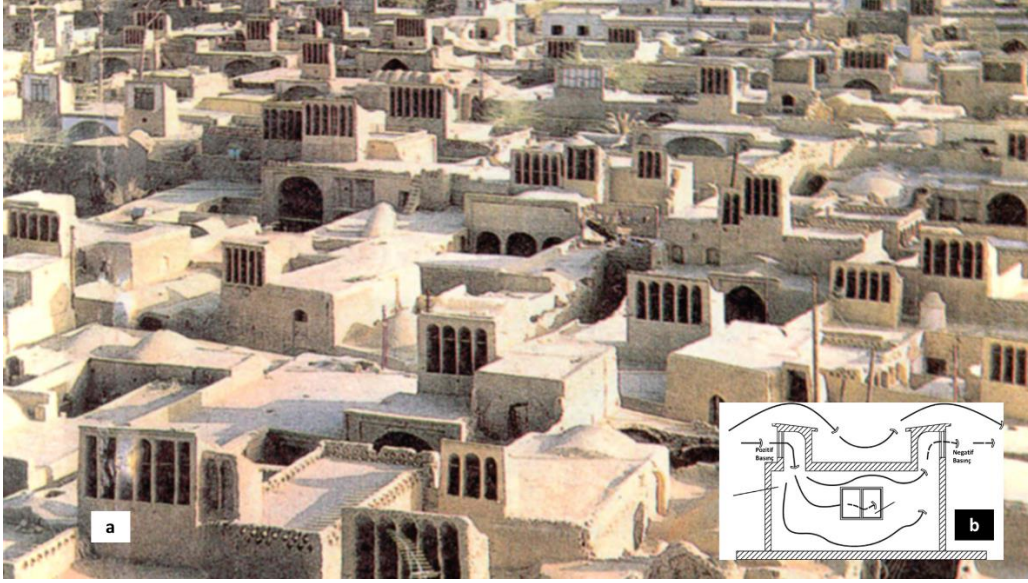
Şekil 18. Tek yönlü yelgel mimarisi ve rüzgâra karşı açıklıktan taze hava girişi [154].

Tek yönlü yelgellerin bir başka türü de Afganistan'da geleneksel kubbe yapıların üzerinde kullanılan "Badnivil" olarak adlandırılan yelgelerdir (Şekil 19).



Şekil 19. Afganistan kubbe üstü yelgelleri. (a),(b) önden ve yandan görünüş [112]. (c) CFD analizi ile akım elde edilen çizgileri [158].

Üçgen prizma tek yönlü iki yelgel, biri pozitif açıklık basıncı için rüzgâra karşı, diğeri negatif açıklık basıncı için hâkim rüzgâr yönüne bakan şekilde birbirinden ayrı olarak da çatılarda kullanılmıştır. Böylelikle bir yelgelden pozitif basınçla giren dış hava ile hacmin havasıyla karıştıktan sonra diğeri yelgelden dışarıya çıkmaktadır (Şekil 20).



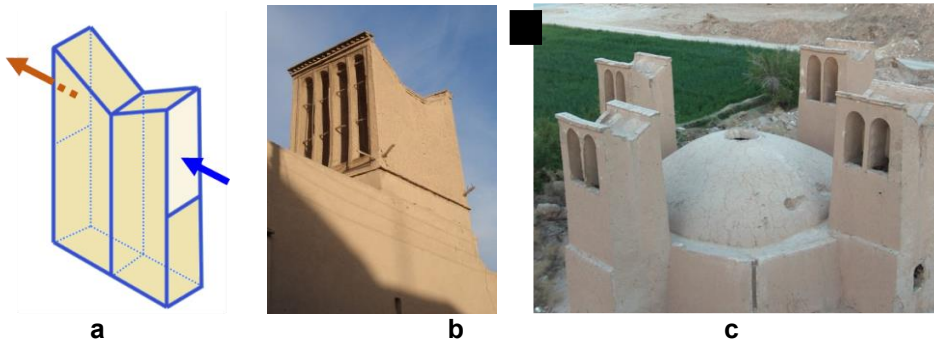
Çok Yönlü yelgeller aşağıdaki şeklin yeri değişmiş önceki yerinde olmalı

İki Yönlü Yelgeller

2 **İki yönlü**

Dikdörtgen

İki yönlü yelgeller genellikle tek yönlü yelgellerin hâkim rüzgâr doğrultusunda bitişik olarak kullanılması ile oluşmaktadır (Şekil 21) Yelgel çatısı iki eğik veya tek yatay bir yüzey olabilir. İki yönlü yelgeller hâkim rüzgâra karşı açıklık önünde oluşan pozitif basınç ile dış havayı bağlı olduğu mahallere yönlendirmekte, hâkim rüzgâr yönüne bakan şaft önünde oluşan negatif basınç da bağlı olduğu diğer şafttan mahaldeki sıcak ve kirli hava dışarıya atmaktadır. Gece rüzgârın olmadığı zamanlarda dış havanın mahal sıcaklıklarından düşük olması durumunda soğuk hava yerçekimi ile şaftlardan mahal içine iner. Bu süreçte eğer varsa dış açıklıklardaki kolonlar ve ana şaft içindeki bölümler soğu depolar. İç mahal sıcaklıklarının dış ortamdan yüksek olduğu zamanlarda yelgeller baca etkisi ile mahalde hava değişimine katılır.

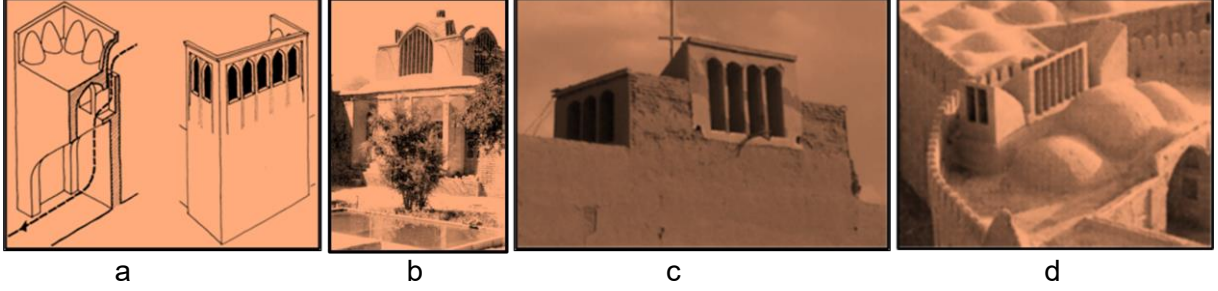


Şekil 21. (a) İki yönlü yelgelde rüzgâr altında hava hareketleri. (b) İki yönlü yelgel uygulaması [98]. (c) Bir sarnıç uygulamasında iki yönlü yelgeller [121].

Üç Yönlü yelgeller

Üç yönlü yelgeller hâkim rüzgâra yönelmiş açıklığı büyük ve bu açıklığın iki ucunda hâkim rüzgâra dik doğrultuda zıt yönde iki küçük açıklığı olan yelgellerdir (Şekil 22). Hâkim rüzgâr yön değiştirdiğinde

yanlardaki açıklıkların çalışması söz konusudur. Bu yelgellerin uygulandığı yapılarla ilgili bilgiler BAHADORİ ve DEHGHANİ-SANİJ [89] tarafından verilmiştir. Üç yönlü yelgeller ortak sınırları olan bitişik (Şekil 22 a,b,c) ve ortak sınır olmayan ayırık (Şekil 22 d) üç yönlü yelgeller olarak sınıflandırılmaktadır [89].



Şekil 22. Bitişik ve ayırık üç yönlü yelgeller [89].

Üç yönlü yelgeller araştırmalarda ilgi görmeyen ve literatüre göre az sayıda uygulaması olan yelgellerdir. Sadece Tabes (İran) kentinde uygulamaları olduğu not edilmiştir [100]. Bazı çalışmalarda anılmış ancak bir tür olarak yapılan sınıflandırmaya alınmamış [116,89], bazı çalışmalarda çok fazla uygulanmadığı not edilerek sınıflandırılmış [100,118], bazı araştırmalarda da herhangi bir özelliğinden bahsedilmeksizin bir tür olarak sınıflandırmaya alınmıştır [81,90,123, 141,145,159]. ROAF [137] üç yönlü yelgelleri kırsal kesimde kullanılan geleneksel yelgeller içinde sınıflandırmıştır.

Dört Yönlü yelgeller aşağıdaki şeklin yeri değişmiş önceki yerinde olmalı

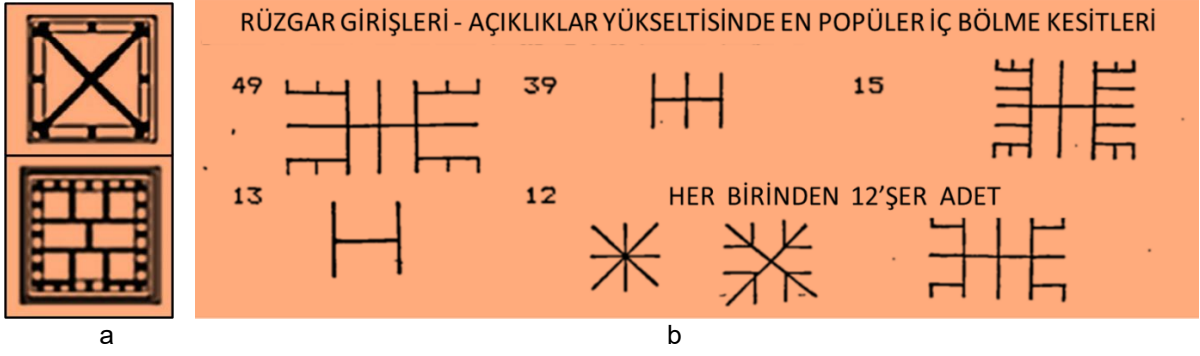
Dört ayrı yöne açıklıkları ve bunlara bağlı şaftları olan yelgeller dört yönlü yelgellerdir (Şekil 23). İran ve Körfez ülkelerinde çok kullanılan yelgel türleridir. Literatürde kare ve dikdörtgen kesitli olmak üzere iki alt sınıflandırma yapılmaktadır. Önceki üç yelgel türüne göre sonradan geliştirilmiş bu yelgellerin şaftlarında çok farklı geometrilerde iç bölmeler söz konusudur. Kare kesitli yelgelerde kullanılan iç bölmeler diyagonal (x) ve dört kare (+) formlarındadır (Şekil 24 a). Dikdörtgen kesitli yelgellerdeki iç bölme kesitlerinin ise ROAF'ın çalışmasındaki [137] sınıflandırılmamış çizimler esas alınarak sembollerle kısmi olarak sınıflandırılmışlardır.

4	Dört yönlü	Kare	x
			+
		Dikdörtgen (tek ve iki katlı)	x
			+
			I
			H
		K	



Şekil 23. Dört yönlü kare (a,b) [115,169] ve dikdörtgen (c,d) [161, 162] kesitli yelgel uygulamaları.

Yaz'da 713 yelgeli detaylarıyla inceleyen ROAF [137], en popüler iç bölme kesitlerini Şekil 24 b'de olduğu gibi vermiş, 60'a yakın farklı bölme kesiti de tezinde yer almıştır. Daha sonraları bu geometriler ile alfabe'deki harfler ve aritmetik semboller arasında benzeşimler kurularak bölme tiplerinin x, +, I, H, K olarak literatürde sınıflandırıldığı görülmektedir [99,162,106,115,127,154,]. Ancak ROAF'ın çizimleri bu sembolik görüntülerin ötesinde karmaşık kesitlerin olduğunu da göstermektedir.

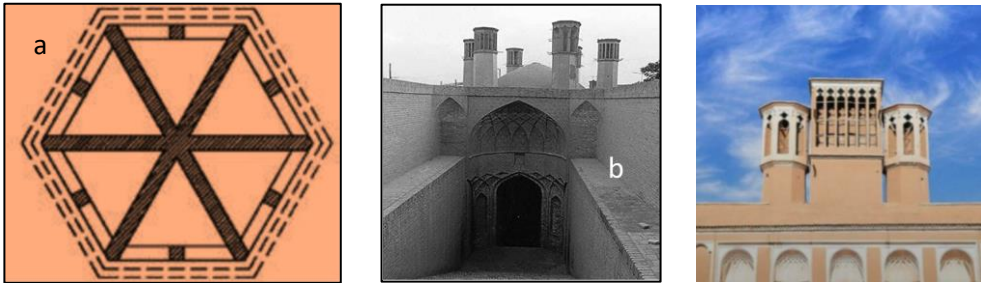


Şekil 24: (a) Kare kesitli yelgelerde iç bölme geometrisi örnekleri [154]. (b) ROAF'ın incelediği dört yönlü yelgelerde kullanılan en popüler iç bölme kesitlerinin orijinal çizimleri (Şekillerin yanındaki rakamlar Yazd şehrindeki aynı iç bölme konfigürasyonuna sahip yelgel sayılarıdır) [137].

Altıgen Yelgeller

5	Altıgen	Altıgen	*
---	---------	---------	---

Altıgen, sekizgen ve silindirik yelgeller rüzgâr açıklıkları hemen her yönde olan geleneksel yelgellerin en son evrimleştiği yapılardır. Bu yapılarla birlikte yelgellerin estetik özellikleri de artmıştır. Hem rüzgâr basıncı ile havanın mahallere iletilmesinde, hem de egzoz bacası olarak kullanılmaktadırlar. Altıgen ve sekizgen yelgeller genellikle sarnıçların havalandırılmasında ve buharlaşma ile soğutulmasında kullanılan geç zamanlarda gelişen, estetik özellikler de taşıyan yelgellerdir. Altıgen yelgelerde yönlere bağlı olarak diyagonal altıgen formda iç bölmeler mevcuttur (Şekil 25).

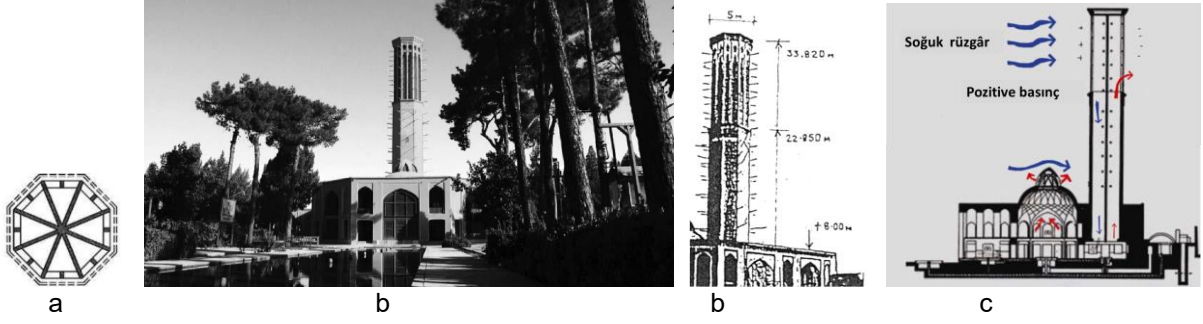


Şekil 25. (a) Altıgen yelgelerin iç bölmeleri [128]. (b) İran'daki dörtten fazla altıgen yelgele sahip tek kamusal sarnıç [163]. (c) Altıgen ve dikdörtgen yelgelerin yan yana kullanıldıkları bir uygulama [164].

Sekizgen yelgeller

6	Sekizgen	Sekizgen	*
---	----------	----------	---

Sekizgen yelgeller ana yönlere ve ara yönlere bakan sekiz açıklığı ve sekiz eş iç bölmesi olan yelgellerdir (Şekil 26). Bu yelgellerin uygulanması diğerlerine göre çok azdır. Yazd şehrindeki Dowlat-Abat Bahçesindeki örneği, şehirdeki en yüksek (yaklaşık olarak 33 metre) ve gövdesi 5.5 metreyi bulan yelgeldir (Şekil 26 b,c) [163]. Bulduğu yapı İran bahçelerinin bir parçası olarak 2011 yılında UNESCO Dünya Mirasları listesine alınmıştır [165]. 1975-76 senelerinde restore edilmiştir [137]. Sekiz yönlü yelgelin bir başka (bedesten) uygulaması Şekil 27 de verilmiştir.



Şekil 26. (a) Sekiz yönlü yelgel iç bölme kesiti. (b) Dowlat-Abad Bahçesindeki sekiz yönlü yelgel [163]. (c) Sekiz yönlü yelgel ve binanın kesiti [176].



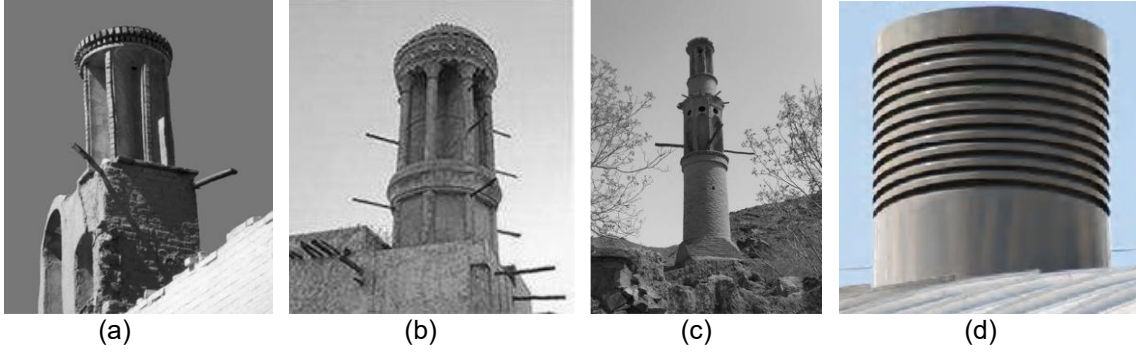
Şekil 27. Sekiz yönlü yelgel uygulaması (Geleneksel yelgelerin yanında, İran'da çok kullanılan mekanik evaporatif soğutmalı ısıl konfor ve havalandırma cihazları-IH görülüyor) [156].

Silindirik yelgeller

7	Silindirik	Daire	Daire
---	------------	-------	-------

Geleneksel silindirik yelgeller en son gelişen ve en az görülen yelgel türüdür (Şekil 28 a,b). Silindirik yelgellerin nadir görülen örneklerinden biri, Ardestan'daki Sarhang Abad bahçesinde yer alan iki katlı yelgeldir (Şekil 28 c) [116]. Bu yelgelerde düşey iç bölmeler çap boyunca diyagonal uzanmaktadır. Günümüz teknolojiyle yeniden yorumlanan tasarım önerileri [104,121] ve uygulamaları söz konusudur (Şekil 28 d) [81].

Bir çalışmada [118], altıgen ve sekizgen yelgeller dairesel olarak tanımlanmıştır. Gövdenin yatay geometrisine göre yapılan sınıflandırma açısından bu sınıflandırma uygun değildir. Silindirik yelgellerin inşaatı, tüm diğer yelgel türlerine göre daha zordur ancak aerodinamik açıdan daha yüksek verime sahip oldukları belirtilmektedir [89,127].



Şekil 28. (a,b) Geleneksel silindirik tek katlı yelgeller [89, 104,121,]. (c) Çift katlı [89] ve (d) Kidderminster kolejindeki modern bir silindirik yelgel [81,167]

aşağıdaki şekli yeri değişmiş önceki yerinde olmalı

Özel Tasarım Yelgeller

8	Özel Tasarım		Daire
---	---------------------	--	-------

Özel tasarım yelgeller aerodinamik açıdan aynı prensiplerle çalışan ancak mimari formları ile geleneksel diğer yelgellerden çok farklı tekil uygulamalardır. Bunların en güzel örneklerinden biri, Sircan (İran) kentinde boru elemanların kullanılmasıyla yapılan yelgeldir (Şekil 29) .



Şekil 29. Özel tasarım boru yelgel [168,170].

Geleneksel yelgellerin çift katlı olarak kullanıldığı anıtsal yelgel tasarımları da özel tasarımlar arasında sayılabilir (Şekil 30)



Şekil 30. Özel tasarım çift katlı yelgeller: (a,b) Ağazade evi (Abarkooh, İran), tek katlı ve çift katlı dikdörtgen kesitli yelgeller [121,171]. (c) Kare kesitli ve altıgen kesitli iki yelgelin iki katlı uygulaması [89].

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, biyolojik havalandırma-solunumun evriminde, yüzey/hacim oranı giderek küçülerek, tek hücreli mikro organizmalardan çok hücreli ve gelişmiş hayvanlara doğru geçişte, hücrelerin atmosfer ile olan uzaklığının artması nedeniyle, temel kütle transferi mekanizmasının difüzyon olduğu kanallı solunum sistemlerinin geliştirildiği, atmosfer - hücre yolunun yetersiz olduğu hayvanlarda ikincil akışkanlı zorlanmış taşınım sistemlerinin oluştuğu, böceklerin kendi kanallı solunum sistemlerini, ilk yapay mimariler olan yuvalarının inşasında biyomimetik örnek olarak kullandıkları gözlenmiştir. Böcek yuva mimarisine biyomimetik bir yaklaşım ise antik çağlardaki konutlarda, rüzgâr basıncını kullanan tek yönlü yelgelerde görülmüştür. 2000'li yıllara kadar turistik ve akademik ilgiden öteye gitmeyen yelgel mimarisinin 21. yüzyılda çağdaş mimari ve mühendisliğin ilgi alanına girdiği izlenmiştir. Çalışmada literatürde çok farklı ölçütlerle, farklı amaçlarla ve kapsamda yapılan sınıflandırmalar incelenmiş, mimarlık ve mühendislik açısından antik ve modern yelgel türlerinin tümünü kapsayan genel bir sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 9).

Biyolojik havalandırma-solunumun evrimsel gelişimine benzer bir gelişmeyle, antik İran ve Mısır'da ilk örnekleri görülen ve daha sonraki çağlarda geliştirilen yelgeler, binaların havalandırılması için, mimarlığın ve mühendisliğin transdisipliner iş birliğinde bir oyun değiştirici adım olarak görülmektedir. İngiltere'de yapılan uygulamalar, Katar Üniversitesi'ndeki büyük boyutlu prestijli yelgelli kampüs binaları bu adımın 21.yüzyıldaki ilk örnekleridir (Şekil 31). Geleneksel yelgelerin yanında [104], güncel uygulamaların ilk değerlendirmeleri de yapılmaya başlanmıştır [102].



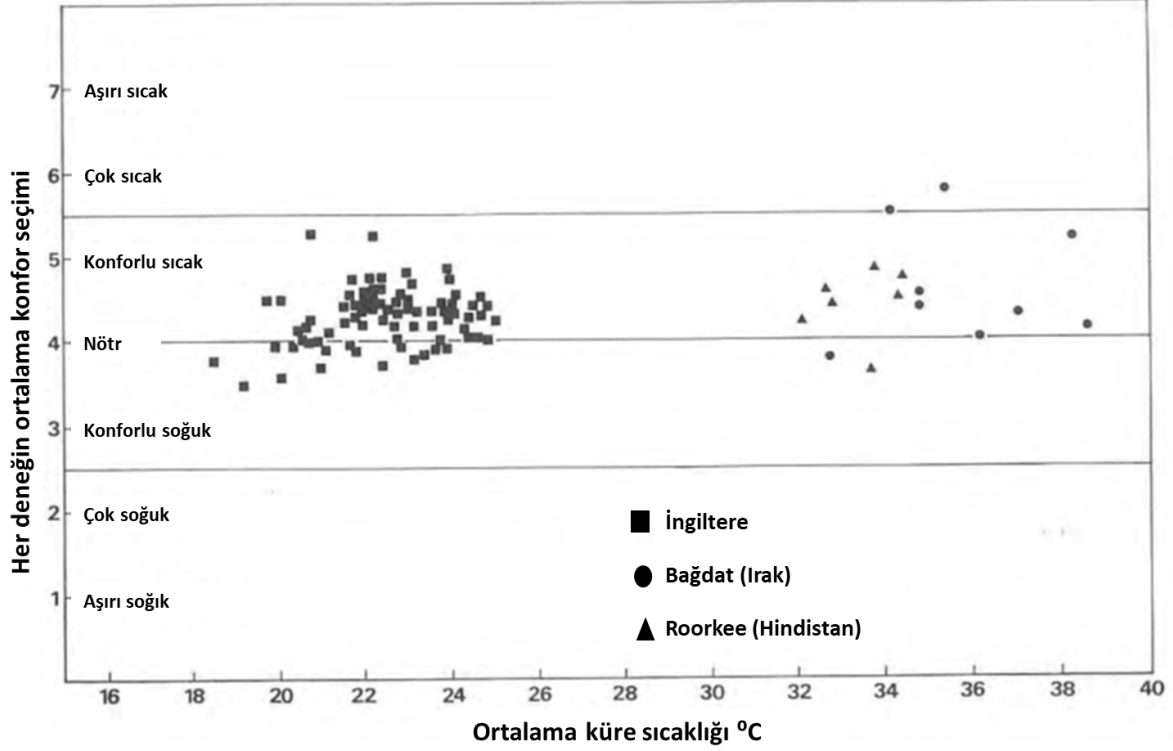
Şekil 31. Katar Üniversitesindeki yelgel uygulamaları [82,172].

Teknoloji, enerji sorununa yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak rüzgâr türbinlerinin ürettiği elektrik enerjisini tüketiciye sunmuştur. Yelgeleri ile doğrudan havalandırmaya katılan bir binanın “rüzgâr > yelgel > kanallar > yaşam alanı” yolundaki toplam enerji ve madde tüketimi, “rüzgâr > türbin > iletim hatları > fanlar > kanal sistemi > yaşam alanı” yolunda enerji ve madde tüketen bir binadan çok daha verimli olacaktır. Günümüz planlama, tasarım, üretim ve kontrol araçları (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi, Sensör Teknolojisi, Yapay Zekâ ve Nesnelerin İnterneti), yelgelerin kullanımıyla havalandırmaya katılan özgün mimari tasarımların geliştirilmesi ve uygulanması için çok geniş fırsatlar yaratmaktadır. Bu bağlamda ulusal kurumların, mimarlık ve mühendislik profesyonel sivil toplum örgütlerinin ulusal projelerle, planlı araştırma ve geliştirme çalışmalarında öncü olması, destek vermesi, önemli bir adım olarak görülmektedir.

Yelgelerin günümüzde uygulaması en başta iki temel soruya cevap vermeyi gerektirmektedir. İki, daha çok sıcak ve kuru iklim bölgelerinde kullanılan yelgelerin, Batı dünyasında yerleşik ısı konfor ölçütlerine göre yüksek sıcaklıklarda ısı konforu nasıl sağladığı sorusudur. HANSEN'in araştırmasına göre [173], sıcak ve kuru bölgelerde dış hava sıcaklığının, uyumlanmış iklim şartlarının belirlediği konfor sıcaklığı civarında olması (Şekil 32), zemin seviyesinden az da olsa aerodinamik tedbirlerle önlenebilecek

rüzgârla birlikte taşınacak partikül kirliliği dezavantajı bir kenara bırakılırsa, bu bölgelerde sıfır enerjili bir havalandırmayı mümkün kılmaktadır.

HANSEN'in araştırması, ısı konfor ölçütlerinin (sıcaklık, havanın hızı, metabolizma, giysi, nem) [174] yanında yerel değişkenlerin ve yaşam kültürlerinin de göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 32. Bireylerin tahmini ortalama oylarının ışınlım sıcaklığı ile değişimi [173].

İkinci soru yelgellerin diğer iklim bölgelerinde benzer avantajlar ile kullanılıp kullanılamayacağıdır. Günümüz bilgi ve teknolojisi ışığında çağdaş uygulamalar,

1. HAD ile tasarımılanmış,
2. hava kirliliği için filtrelerin kullanıldığı,
3. rüzgârsız zamanlar ve filtrelerin basınç düşümünü karşılamak için gerektiğinde yardımcı fanların kullanıldığı [93],
4. düşük sıcaklıklarda ısı yükleri merkezi sistemde göz önüne alınmış,
5. gece düşük sıcaklıktan yararlanmak üzere etkin ısı depolarının entegre edildiği,
6. mekanik sistemlerle giriş kontrolü yapılarak rüzgâra bağlı hava debisi değiştirilebilen,
7. buharlaşmalı soğutma sistemi ile entegre edilmiş,
8. yapay Zekâ (YZ-AI)⁵⁶ ve Nesnelerin İnterneti (NI-IoT)⁵⁷ ile kontrol edilen,
9. fotovoltaik güneş panellerin beslediği

modern yelgeller ile mümkün görünmektedir.

Bu özelliklerin bir kısmı (2, 3, 5, 7, 6) yelgellerin geleneksel ve modern uygulamalarında yeni tasarımlarla önerilmekte [97] ve uygulamalar da gözlenmektedir [169]. Yelgellerin performansının (hava değişim sayısı, yarattığı ısı konfor), geometrisine ve ilintili olduğu hacimlerin geometrik ilişkisine bağlı olduğu yapılan rüzgâr tünelleri testleri ile gözlenmiş [97], yapılan öncü HAD çalışmalarıyla uygun korelasyonlar elde edilmiş, grid uyum tekniğinin de (grid adaption technique) güvenilir sonuçlar elde edebilmek için iyi bilinen bir teknik olduğu belirtilmiştir [98]. Bu nedenle tasarım esnasında binanın üç boyutlu geometrisi

⁵⁶ AI: Artificial Intelligence

⁵⁷ IoT: Internet of Things

göz önüne alınarak yelgellerle hacimler arasındaki geometrilerin, rüzgâr dağılımına ve çevre engellerine göre akış analizlerinin HAD tekniği ile yapılması öngörülmelidir.

Modern yelgeller ile her iklim bölgesinde, toplam enerji tüketimi mekanik konfor sistemlerinden daha az gerçekleşecek, yer seviyesinde yüksek partikül kirliliği hava giriş seviyesinin yükseltilmiş olması nedeniyle azalacaktır.

Teşekkür

Yelgeller alanında yoğun emek harcanmış, yelgeller yanında bölge mimarisi için de öncü bir çalışma olan Suzan ROAF'ın doktora tezi, bulunduğu kütüphanede (Kings Norton Library Cranfield University) %5'sinden fazlası kopyalanamayan, sadece üniversitenin öğretim üyelerine ve öğrencilere açık bir kısıtlılıkta olması nedeniyle önceleri ulaşılamamıştır. Bu tezi referans veren ulaşılabilen araştırmacılardan da kopyası edinilememiştir. İngiltere'deki meslektaşım Prof.Dr. Orhan Ekren'in ısrarlı takibi ile teze konulan kısıtlamanın kütüphane yetkililerince yanlış olduğu ortaya çıkmış ve kaldırılmıştır. Böylelikle tez herkese açık hale getirilmiş, ulaşmak mümkün olmuştur. Prof. Dr. Orhan EKREN'e bu değerli yardımı için hem kendi adıma hem de aynı alanda teze ulaşmak isteyecek araştırmacılar adına çok teşekkür ederim.

Teşekkür

Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunu kurarak, bu çalışmanın da dahil olduğu projeleri destekleyen Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesine çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- [1]. ROAF-u Tube, 2020. www.youtube.com/watch?v=b2aC6gnJT2w
- [2]. FOWLER D. vd. "A Chronology of Global Air Quality". Phil. Trans. R. Soc. A 378: 20190314, 2020.
- [3]. CENTNEROVA, L. H. "On the History of Indoor Environment and It's Relation to Health and Wellbeing". ASHRAE Journal, April 2018.
- [4]. PİR HAYATİ, M. vd. "Ancient Iran, the Origin Land of Wind Catcher in the World Research Journal of Environmental and Earth Sciences 5(8): 433-439, 2013.
- [5]. DOUGLAS, L. "Health and Hygiene in the Nineteenth Century", 1991. <https://victorianweb.org/science/health/health10.html>.
- [6]. GARWIN, A. "Coming Clean: The Health Revolution of 1890-1920 and Its Impact on Infant Mortality." Master's Thesis, University of Tennessee, 2000. https://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/4240.
- [7]. SUNDELL, J. "On the history of indoor air quality and health". Indoor Air, 14 (Suppl 7): 51–58, 2004.
- [8]. <https://www.air-quality.org.uk/02.php>
- [9]. SUNDELL, J. "Reflections on the History of Indoor Air Science, Focusing on the Last 50 Years". Indoor Air, 27:708-724, 2017.
- [10]. OLESEN, B.W. vd. "New Danish standard for Mechanical, Natural and Hybrid Ventilation Systems". The REHVA European HVAC Journal — April 2022.
- [11]. "Residential Heat Recovery Ventilation". (Ed. Jarek Kurnitski), European Guidebook, No 29, 2019.
- [12]. LUBLINER, M. vd. "Residential Ventilation Systems". ASHRAE Journal, March 2020.
- [13]. SPINGER, D. "Residential Air Quality - Results Report". California Energy Codes and Standards Enhancement (CASE) Program, August 2018.

- [14]. KEMPE, P. "Frosting in Residential Heat Recovery Units". The REHVA European HVAC Journal, April 2022.
- [15]. KURNITSKI, J. ve MIKOLA, A. "Ventilation Requirements and Results in Renovation of Estonian Apartment Buildings with Kredex Scheme". The REHVA European HVAC Journal — April 2022.
- [16]. KITTRELL, J. A. "New England Continues to Experience Poor Air Quality due to Smoke from Canadian Wildfires on Saturday July 1, 2023". <https://www.epa.gov/newsreleases/new-england-continues-experience-poor-air-quality-due-smoke-canadian-wildfires-3>.
- [17]. SHAW, S. "NYC to Consider Indoor Air Quality Regulations". July 14, 2023. <https://www.jdsupra.com/legalnews/nyc-to-consider-indoor-air-quality-5981919/>.
- [18]. REHVA. "Health-Based Target Ventilation Rates and Design Method for Reducing Exposure to Airborne Respiratory Infectious Diseases", 21.12.2022.
- [19]. ADDINGTON, D.M. "The History and Future of Ventilation". Indoor Air Quality Handbook (Editors: D. Michelle Addington, J.D. Spengler, J.D. Jonathan M. Samet, JOHN F. McCarthy), Mc. Graw Hill, 2001.
- [20]. MATSON, N.E., SHERMAN, M.H. "Why We Ventilate Our Houses: An Historical Look". May 14, 2004. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc780616/>
- [21]. TEMPEL, M. vd. "Ventilation Techniques in the 19th Century: Learning from the Past". WIT Transactions on The Built Environment, Vol 118, WIT Press, 2011.
- [22]. OLSSON, D. "History of Ventilation Technology". Swegon Air Academy, December 2016.
- [23]. SCHOENEFELDT, H. "The Historic Ventilation System of the House of Commons, 1840–52: Re-Visiting David Boswell Reid's Environmental Legacy". The Antiquaries Journal, 98, pp. 245–295, 2018.
- [24]. TERDGOLD, T. "The Principles of Warming and Ventilating Public Buildings, Dwelling-Houses, Manufactories, Hospitals, Hot-Houses, Conservatories". London, 1824.
- [25]. EI-SHORBAGY, A. "Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings". International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:10 No:03,2010.
- [26]. STAMATI, K., MUDERA, V., CHEEMAL, U. Evolution of Oxygen Utilization in Multicellular Organisms and Implications for Cell Signalling in Tissue Engineering". Journal of Tissue Engineering, 2(1), 2010.
- [27]. HARRISON, P. "Feature: A Brief History of Indoor Air Quality". February 1, 2022. <https://airqualitynews.com/features-opinion/a-brief-history-of-indoor-air-quality>.
- [28]. "Air Pollution a Centuries Old Problem". Encyclopedie Environnement. <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/zoom/air-pollution-a-centuries-old-problem/>.
- [29]. JANSSEN J, E. The History of Ventilation and Temperature Control. ASHRAE Journal, 41: 47–52, 1999.
- [30]. SUNDELL J. "On the History of Indoor Air Quality and Health". Indoor Air, 14 (Suppl 7): 51–58, 2004.
- [31]. "Schuyler Wheeler, The Men Behind the Electric Fan". <https://steemit.com/steemiteducation/@maulida/schuyler-wheeler-the-men-behind-the-electric-fan>.
- [32]. TOKSOY, M. "Amerika Birleşik Devletlerinde Konut Havalandırması". MMO İzmir Şubesi, Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Gurubu, Proje 6, 2023. (Yayına hazırlanıyor).
- [33]. "The History of Home Ventilation", Air Assurance, March 12,2019. <https://www.airassurance.com/blog/2019/03/12/the-history-of-home-ventilation>.
- [34]. EPA (Environmental Protection Agency). "History and Origin of EPA". <https://www.epa.gov/history>.
- [35]. Medical Research Center, Center for Environment and Health. Imperial College London. <https://environment-health.ac.uk/about-us>.
- [36]. WHO (World Health Organization). "Indoor Air Pollution - National Burden of Disease estimates". WHO/SDE/PHE/07.01rev, 2007.
- [37]. "IAQM Indoor Air Quality Guidance: Assessment, Monitoring, Modelling and Mitigation" (version [tbc]). Institute of Air Quality Management, London, 2021.
- [38]. Air Quality Expert Group. "Indoor Air Quality". 2022. https://uk-air.defra.gov.uk/library/reports.php?report_id=1101.

- [39]. TRIFONOF, E.N. "Vocabulary of Definitions of Life Suggests a Definition". *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 29:2, 259-266, 2011. DOI: 10.1080/073911011010524992.
- [40]. PASCAL, R. vd. "5. Prebiotic Chemistry, Biochemistry, Emergence of Life (4.4–2 Ga)". *Earth, Moon, and Planets*, 98, 153–203, 2006. DOI 10.1007/s11038-006-9089-3.
- [41]. DILL, K.A. ve AGOZZINO, L. "Driving Forces in the Origins of Life". *Open Biol.* 11: 20032, 2021. <https://DOI.org/10.1098/rsob.200324>.
- [42]. BAZALUK, O. "The Theory of Evolution: From a Space Vacuum to Neural Ensembles and Moving Forward". Cambridge Scholars Publishing, 2016.
- [43]. "Origin and Evolution of Life and Introduction to Classification". chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.nios.ac.in/media/documents/SrSec314NewE/Lesson-01.pdf>
- [44]. MARTIN, W.F. ve PREINER, M. 2017. *Origin of Life, Theories of*. DOI:10.1016/B978-0-12-809633-8.02403-1.
- [45]. DEMİRSOY, A. "Kalıtım ve Devrim". Metaksan 1994.
- [46]. CHOI, C.Q. ve DUTFIELD, S. "7 Theories on the Origin of Life". *Live Science*, February 14, 2022. <https://www.livescience.com/13363-7-theories-origin-life.html>
- [47]. National Academy of Sciences (US). "Science and Creationism: A View from the National Academy of Sciences". Second Edition. Washington (DC): National Academies Press (US); 1999. *The Origin of the Universe, Earth, and Life*. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK230211/>.
- [48]. DAVEY, R. "What is the Theory of Abiogenesis?". (Last updated February 1,2023). <https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-the-Theory-of-Abiogenesis.aspx>.
- [49]. JOHNSON, A.P. vd. "The Miller Volcanic Spark Discharge Apparatus". *Science*, Vol: 322, 17 October 2008. DOI: 10.1126/science.1161527.
- [50]. MONROE, R. "Stanley Miller's Forgotten Experiments, Analyzed". Jun 25, 2014. <https://scripps.ucsd.edu/news/stanley-millers-forgotten-experiments-analyzed>.
- [51]. "Hypotheses About the Origins of Life", Khan Academy, 2023. <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/origins-of-life-on-earth/a/hypotheses-about-the-origins-of-life>
- [52]. "Theories of Origin of Life". University of Lucknow, 2020. 202004261258144367alka_maths_theories_of_life.pdf.
- [53]. TREFIL, J. vd. "The Origin of Life". *American Scientist*, Vol: 97, No: 3, pp: 206, May-June 2009. DOI: 10.1511/2009.78.206 <https://www.americanscientist.org/article/the-origin-of-life>.
- [54]. SHKLIAREVSKY, G. "The Universal Evolution and The Origin Of Life April, 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.18564.86404
- [55]. PROSS, A, ve PASCAL, R. "The Origin of Life: What We Know, What We Can Know and What We Will Never Know". *Open Biology*, 3: 120190, 2013. <http://dx.DOI.org/10.1098/rsob.120190>.
- [56]. PROSS, A. "Toward a General Theory of Evolution: Extending Darwinian Theory to Inanimate Matter". *Journal of Systems Chemistry*, 2:1, 2011. <http://www.jsystchem.com/content/2/1/1>.
- [57]. ÖZTÜRK, F.S. vd. "Origin of Biological Homochirality by Crystallization of an RNA Precursor on a Magnetic Surface". *Sci. Adv.* 9, eadg8274, 7 June 2023.
- [58]. "Then vs. Now: The Age of the Universe" National Aeronautics and Space Administration (NASA). https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/featured_science/tenyear/age.html#.
- [59]. BRATERMAN, P.S. "How Science Figured Out the Age of Earth". *Scientific American*, October 20, 2013. <https://www.scientificamerican.com/article/how-science-figured-out-the-age-of-the-earth/>.
- [60]. Smithsonian National Museum Natural History. "Early Life on Earth-Animal Origin". <https://naturalhistory.si.edu/education/teaching-resources/life-science/early-life-earth-animal-origins>.
- [61]. HSIA, C.V.W. vd. "Evolution of Air Breathing: Oxygen Homeostasis and the Transitions from Water to Land and Sky". *Compr Physiol.* 3(2): 849–915, April 2013. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3926130/>.
- [62]. RAFFERTY, J.P. "Ediacaran Period: Geochronology". <https://www.britannica.com/science/Ediacaran-Period>.
- [63]. "Insect Natural History Traced". *Nature* 515, 166, 2014. <https://DOI.org/10.1038/515166c>.

- [64]. DUNNING, H. "Intricacies of Insect Evolution Revealed", Natural History Museum, 7 November 2014. <https://www.nhm.ac.uk/discover/news/2014/november/intricacies-insect-evolution-revealed.html>.
- [65]. "Antik Uzaylılar". History HD, 23:30, 25 Haziran 2023.
- [66]. <https://www.vedantu.com/question-answer/mention-the-contribution-of-sl-millers-class-12-biology-cbse-5f8d3d3401e7fb4de0b6d779>.
- [67]. <https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/seven-new-things-we-learned-about-human-evolution-in-2021-180979271>.
- [68]. <https://humanorigins.si.edu/education/introduction-human-evolution>.
- [69]. HARIRI, Y. N." Sapiens: A Brief History of Humankind", Vintage Books, 2014.
- [70]. KIRKEGAARD vd. "Aerotaxis in the Closest Relatives of Animals". Biophysics and Structural Biology, 2016. DOI: 10.7554/eLife.18109.
- [71]. MONAHAN-EARLEY, R. vd. "Evolutionary Origins of Evolutionary Origins of the Blood Vascular System and Endothelium". Journal Thromb Haemost, 11(Suppl 1): 46–66, June 2013. DOI:10.1111/jth.12253."
- [72]. "Insect Gas Exchange. "<https://thealevelbiologist.co.uk/gas-exchange/>.
- [73]. "Systems of Gas Exchanges". <https://opentextbc.ca/biology/chapter/20-1-systems-of-gas-exchange/>.
- [74]. TOKSOY, M. ve KARADENİZ, Z.H. "Doğada Havalandırma". MMO İzmir Şubesi, Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Gurubu, Proje 2, 2023. (Yayına hazırlanıyor).
- [75]. "New Atlas of Insect Respiratory Systems Produced Using CT Scanning". America Museum of Natural History, 2023. <https://www.amnh.org/explore/news-blogs/research-posts/new-atlas-of-insect-respiratory-systems-produced-using-ct-scanning>.
- [76]. TURNER, J.S. "Termites as Models of Swarm Cognition". Swarm Intell, 5:19-43, 2010. DOI 10.1007/s11721-010-0049-1.
- [77]. LAUGHTON, E. "What Ancient Persia Can Teach Us About Energy Efficiency in Buildings". ASHRAE HVAC&R Industry News June 22, 2023.
- [78]. BARAN, M. "Halk Mimarisinin Halkbilimi Bağlamında Değerlendirilmesine Harran Evleri Örneği". <http://www.millifolklor.com>, 2023].
- [79]. BAŞARAN, T. "Thermal Analysis of the Domed Vernacular Houses of Harran, Turkey". Indoor Built Environment, 20,5, 543-554,2011.
- [80]. <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/sanliurfa/gezilecekyer/harran-kumbet-evleri>
- [81]. KHATAMI, N. "The Wind-Catcher, a Traditional Solution for a Modern Problem". Master of Philosophy Thesis, University of Glamorgan/ Prifysgol Morgannwg, August 2009.
- [82]. <http://www.qu.edu.qa/newsroom/Qatar-University/Qatar-University-ranks-224-globally-in-QS-World-University-Rankings-2022>
- [83]. AMBARE, A. "Urban Wind Towers". August 16, 2021. <https://www.iaacblog.com/programs/urban-wind-towers/>
- [84]. KING, D.A. "The Wind-Catchers of Medieval Cairo and Their Secrets". Part I, 2020. https://www.academia.edu/439961https://www.academia.edu/43996180/The_wind_catchers_of_medieval_Cairo_and_their_secrets_1001_years_of_renewable_energy_Part_One_Of_Two.
- [85]. David A. King, "The Wind-Catchers of Medieval Cairo and Their Secrets". Part II, 2020. https://www.academia.edu/439961https://www.academia.edu/43996180/The_wind_catchers_of_medieval_Cairo_and_their_secrets_1001_years_of_renewable_energy_Part_Two_of_Two.
- [86]. AXLEY, J.W. "Application of Natural Ventilation for U.S. Commercial Buildings Climate Suitability Design Strategies & Methods Modeling Studies". U.S. Department of Energy Office of Building Systems, GCR-01-820, December 2001.
- [87]. KİLCİ, M. "Güneş Enerjisi Kazanımlarına Dayalı Güneş Bacalarının Doğal Havalandırma ve Soğutma Sistemine Etkilerinin Deneysel Yolla İncelenmesi". Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2005.
- [88]. JONES, B.M. ve KIRBY. R. "Quantifying the Performance of a Top-Down Natural Ventilation Windcatcher". Building and Environment, 2009. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.01.004
- [89]. BAHADORI, M.N. ve DEHGHANI-SANIJ, A. "Wind Towers-Architecture, Climate and Sustainability". (Editor: Ali Sayigh). Springer, 2014."

- [90]. HEJAZI, B. ve HEJAZI, M. "Persian Wind Towers: Architecture, Cooling Performance and Seismic Behavior". *Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol: 9, No: 1, 56–70, 2014. DOI: 10.2495/DNE-V9-N1-56-70
- [91]. JAFARIA, D. vd. "Experimental and Numerical Study of Natural Ventilation in Four-Sided Wind Tower Traps". *Energy Equip. Sys.*, Vol:6, No:2, 167-179, June 2018.
- [92]. NOROOZİ, A. "Augmenting Traditional Wind Catcher with Combined Evaporative Cooling System and Solar Chimney". Ph.D. Thesis, Nat. Tech. University of Athens School of Architecture, November 2019.
- [93]. MAHYARI, A. "The Wind Catcher: A Passive Cooling Device for Hot Arid Climate". Ph.D. Thesis. Department Of Architectural and Design Science, The University of Sydney September, 1996.
- [94]. AL-SHAALI, R.K. "Maximizing Natural Ventilation by Design 'n Low Rise Residential Buildings Using Wind Catchers in The Hot Arid Climate Of UAE". Master Thesis. University of Southern California, School of Architecture, August 2002."
- [95]. ABDALLA, A. M. ve ELZAIIDABI, A.A.M. "Low Energy, Wind Catcher Assisted Indirect - Evaporative Cooling System for Building Applications". PhD Thesis. University of Nottingham, September 2008.
- [96]. MONTAZERI, H. ve AZIZIAN, R. "Experimental Study on Natural Ventilation Performance of One-Sided Wind Catcher". *Building and Environment* on 9 January 2008.
- [97]. ATTIA, S. ve HERDEPLEA, A. "Designing the Malqaf for Summer Cooling in Low-Rise Housing an Experimental Study". 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009.
- [98]. H. MONTAZERI, H. vd. "Two-sided Wind Catcher Performance Evaluation Using Experimental, Numerical and Analytical Modeling". *Renewable Energy*, Vol: 35, Pages 1424–1435, January 2010.
- [99]. MALEKI, B.A. "Wind Catcher: Passive and Low Energy Cooling System in Iranian Vernacular Architecture". *IJTPE Journal*, Issue 8, Vol: 3, No:3, 130-137, September 2011.
- [100]. GHADIRI, M.H. vd. "The Effect of Wind Catcher Geometry on the Indoor Thermal Behavior". January 2011. <https://www.researchgate.net/publication/281774033>.
- [101]. Lim Chin Haw. vd. ""Case Study of Wind-Induced Natural Ventilation Tower in Hot and Humid Climatic Conditions"". *IEEE Business, Engineering & Industrial Applications Colloquium*, 2012.
- [102]. M. Afshin, M. vd. "An Experimental Study on the Evaluation of Natural Ventilation Performance of a Two-Sided Wind-Catcher for Various Wind Angles". *Renewable Energy*, 85, 1068-1078, 2016.
- [103]. KHANI, S.M.R. vd. "Performance Evaluation of a Modular Design of Wind Tower with Wetted Surfaces". *Energies*, 10, 845, 2017. DOI:10.3390/en10070845.
- [104]. JOMEHZADEH, F. vd. "A Review on Windcatcher for Passive Cooling and Natural Ventilation in Buildings, Part 1: Indoor Air Quality and Thermal Comfort Assessment". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70. pp. 736-756, 2016. DOI.org/10.1016/j.rser.2016.11.254
- [105]. HEIDARI, A. vd. "Natural Ventilation in Vernacular Architecture of Sistan, Iran; Classification and CFD Study of Compound Rooms". *Sustainability* 9, 1048, 2017. DOI:10.3390/su9061048"
- [106]. ZARANDI, M.M. "Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution Towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd)". *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering* Vol:3, No:6, 2009. "
- [107]. VARELA-BOYDO, C.A. "Analysis of Traditional Windcatchers and the Effects Produced by Changing the Size, Shape, and Position of the Outlet Opening". *Journal of Building Engineering*, Vol: 33, January 2021.
- [108]. ALZAED, A. ve BALABEL, A. "A New Modern Design of Four-Sided Windcatcher for Natural Ventilation in Residential Building in Saudi Arabia". *International Journal of Applied Environmental Sciences*, Vol: 12, No: 1, pp. 27-36, 2017.
- [109]. KHAN, M.N. ve JANAJREH, I. "Transevaporative Cooling Performance of a Three-Sided Wind Catcher". *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol: 11, No: 4, December. 2017.
- [110]. KATONA, A.L. vd. "CFD Simulation Supported Development of Wind Catcher Shape Topology in a Passive Air Conduction System (PACS)". *Buildings*, 12, 2022. 1583. DOI.org/10.3390/buildings12101583.

- [111]. OBEIDAT, B. vd. "CFD Analysis of an Innovative Wind Tower Design with Wind-Inducing Natural Ventilation Technique for Arid Climatic Conditions". *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 86–97, 2021. <https://DOI.org/10.12911/22998993/130894/>.
- [112]. AYÇAM, İ. ve VARSHABI, N. "The Analysis of Form, Settlement Pattern and Envelope Alternatives on Building Cooling Loads in Traditional Yazd Houses of Iran". *GU J Sci*, 29(3), 503-514, 2016.
- [113]. ALİ, A.A.A. ve KUTYAY, C. "Performance of the Wind Catcher in Hot Dry Regions, Khartoum - Sudan". *GU J Sci, Part B*, 9(1), 29-41, 2021.
- [114]. ROAF, S. "'Air-Conditioning Avoidance: Lessons from the Windcatchers of Iran'". *International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment"*. Santorini, Greece, May 2005."
- [115]. SAADATIAN, O. vd. "Review of Windcatcher Technologies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1477– 1495, 2012.
- [116]. BAHRAMZADEH, M. vd. "Identifying the Identity of Iranian Wind Catchers and their types". *Journal of Basic and Applied Scientific Research.*, 3(2s)12-19, 2013.
- [117]. Amiri KORDESTANI, K. "Natural Air Conditioning – Traditions and Trends: High Performance Of Sustainable Indoor Ventilation in a Hot And Dry Climate". Thesis, Université de Montréal, Mai 2013.
- [118]. PIRHAYATI, M. vd. "Ancient Iran, the Origin Land of Wind Catcher in the World". *Research Journal of Environmental and Earth Sciences* 5433-439, 2013.
- [119]. BOLOORCHI, H. ve EGHTESSADI, N. "Investigation of the Middle East Windcatchers and Comparison between Windcatchers in Iran and Egypt in Terms of Components". *International Journal of Architecture and Urban Development Vol:4, No:1, Winter 2014*.
- [120]. KAZEMI, M. ve AKBARIAN/ M. "Investigating the Thermal Behavior of Wind Catcher Room of Rasoulia House in Yazd and Proposing Some Methods for its Improvement. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 4 (2): 131-136, 2014.
- [121]. DEGHANI-SANIJ, A.R. vd. "A New Design of Windtower for Passive Ventilation in Buildings to Reduce Energy Consumption in Windy Regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,42,182–195, 2015.
- [122]. ÇAKAN, M. "Rüzgar Kapanları". *TTMD Dergisi*, Temmuz-Ağustos 2016.
- [123]. ZARGARI, S.S. ve IŞIK, B. "Wind Catchers and Energy Efficiency in Buildings". *International Journal of Architecture and Design (A+ArchDesign)*, Year 2, No: 2, 27-38, 2016.
- [124]. MELİKOĞLU, Y. "Geleneksel Yaşam Alanlarından Öğrenilen Sürdürülebilir Dersler: Şanlıurfa'nın Geleneksel Rüzgâr Yakalayıcıları". Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi, Haziran 2018
- [125]. ATAN, İ. "Tarihi Hamam Yapılarındaki İşlevsel Sistemlerin Gelişimi ve Günümüz Teknolojisine Yansıması". Yüksek Lisans Tezi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Temmuz 2021.
- [126]. ARMANFAR, A. vd. "İran'da Rüzgar Bacalarının Tarihçesi". *ASOS Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*,10, No:134, 2022.
- [127]. SANGDEH, P.K. ve NASROLLAHI, N. "Windcatchers and Their Applications in Contemporary Architecture". *Energy and Built Environment*, 3, 56–72, 2022.
- [128]. CHOCHAN, A.H. ve AWAD, J. "Wind Catchers: An Element of Passive Ventilation in Hot, Arid and Humid Regions, a Comparative Analysis of Their Design and Function". *Sustainability*, 14, 2022. <https://DOI.org/10.3390/su141711088/>.
- [129]. REZAEIAN, M. vd. "Science Foresight Using Life-Cycle Analysis, Text Mining and Clustering: A Case Study on Natural Ventilation". *Technological Forecasting & Social Change*, 118, 270–280, 2017.
- [130]. SOFLAEI, F. vd. "'Traditional Iranian Courtyards as Microclimate Modifiers Considering Orientation, Dimensions, and Proportions'". *Frontiers of Architectural Research*, Vol: 5, No: 2, 225-238, June 2016.
- [131]. "ABDOLHAMIDI, S. "Iran's Wind Catchers Stand as a Reminder of How Ancient Civilizations Have Adapted to the Region's Harsh Desert Environment". 27th September 2018. <https://www.bbc.com/travel/article/20180926-an-ancient-engineering-feat-that-harnessed-the-wind>".
- [132]. <https://www.hisour.com/windcatcher-31993/>.

- [133]. NEET, M. ve TORO, T. "Natural Energy in Vernacular Architecture". 2009.
https://www.academia.edu/8742003/Natural_Energy_in_Vernacular_Architecture_2009__.
- [134]. EL-SHORBAGY, A. "Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings". Int. j. of Civil & Environmental Engineering (IJCEE-IJENS), Vol:10, No: 03, January 2010.
- [135]. ARYAN, A. vd. "Wind Catchers: Remarkable Example of Iranian Sustainable Architecture". Journal of Sustainable Development Vol: 3, No: 2; June 2010.
- [136]. SULIMAN, A. "Wind Catchers and Sustainable Architecture in the Arab World". Civil and Environmental Research, Vol:6, No:12, 2014".
- [137]. ROAF, S.C. "The Windcatchers of Yazd". PhD Thesis. Department of Architecture at Oxford Polytechnic. November 1988.
- [138]. WILKINSON, C.K. "Egyptian Wall Paintings". The Metropolitan Museum of Art's Collection of Facsimiles, 1983.
- [139]. HANSEN, B.N. "How Did the Ancient Egyptians Cool Their Homes?". Aug 10, 2022.
<https://www.thecollector.com/ancient-egyptians-cooling-air-condition//>
- [140]. https://artsandculture.google.com/asset/papyrus-from-the-book-of-the-dead-of-nakht/UwFRb_KDOcVjM.
- [141]. EI-BOROMBALY, H. ve MOLINA-PRIETO, L.F. "Adaptation of Vernacular Designs for Contemporary Sustainable Architecture in Middle East and Neotropical region". Article in Asian Journal of Computer Science and Information Technology, November 2015
- [142]. BERNARD A. NAGENGAST, B.A. "How HVAC&R Changed the World". ASHRAE J. September 2019.
- [143]. KOÇİN, A. "Divan Şiirinde Bad-ı Sabah". Selçuk Üniversitesi/Seljuk University Fen-Edebiyat Fakültesi/Faculty of Arts and Sciences Edebiyat Dergisi/Journal of Social Sciences Yıl/ Year: 2008, Sayı/No: 20, 1-19, 2008.
- [144]. "Nişanyan Sözlük". <https://www.nisanyansozluk.com/kelime/gel->
- [145]. ISMAIL, S.T. ve MIRAN, F.D. "The Revival of Traditional Passive Cooling Techniques for School Buildings Through Windcatchers". International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. Vol: 11 No:5, 2020".
- [146]. HAYATY, H. vd. "A Comparison of Traditional and Modern Louvers in Warm and Dry Climate". Open Journal of Ecology, 6, 537-544, 2016. DOI.org/10.4236/oje.2016.69051/
- [147]. NAKHI, A.A. vd. "Strategic Analysis on Utilization Potentialities of Louvers in Central Cities of Iran". Spectrum: A Journal of Multidisciplinary Research Vol: 3, No:10, pp. 448-462, (Special Issue on Basic and Applied Sciences), October 2014.
- [148]. BAHRAMZADEH, M. vd. "A Comparative Study to Compare the Wind Catcher Types in the Architecture of Islamic Countries". J. Basic. Appl. Sci. Res., 3(2s), 312-316, 2013.
- [149]. MELİKOĞLU, Y. ve BEKLEYEN, A. ""Şanlıurfa'nın Geleneksel Rüzgâr Yakalayıcıları: Kaybolan Bir Geleneğin Günümüze Kadar Gelen Örnekleri"". El-Cezerî Journal of Science and Engineering Vol: 8, No: 1, 268-286, 2021. <https://DOI.org/10.31202/ecjse.835131>".
- [150]. YÜKSEK, İ. ve ESİN, T. "Yapılarda Enerji Etkinliği Bağlamında Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Önemi". Tesisat Mühendisliği - No: 125, Eylül/Ekim 2011.
- [151]. TOKSOY, M. "Pompa ve Tarihi: Kısa bir Bakış". TTMD Dergisi Eki, Ekim Aralık 2021.
- [152]. VAHDATPOUR, S. ve ARIAEL, A.R. "Effect of Air-Shaft Partition Walls' Arrangement on Structural Behavior and Construction Technology of Wind Catchers in Iran". International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, Vol: 15, No: 6, December, pp. 793-803, 2020."
- [153]. <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/73578>.
- [154]. JOMEHZADEH, F. vd. "Natural Ventilation by Windcatcher (Badgir): A Review on The Impacts of Geometry, Microclimate and Macroclimate". Energy & Buildings, 226, 110396, 2020.
- [155]. Fotoğraf : Diego Delso, CC BY-SA 4.0.
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52136980>
- [156]. RAOF, B.Y. "Developing Vernacular Passive Cooling Strategies in (Kurdistan-Iraq)". International Journal of Scientific & Technology Research, Vol:7, No:3, MARCH 2018.
- [157]. MOHAMED, M.A.A.ve EI-AMIN, M.F. "Inward and Outward Opening Properties of One-Sided Windcatchers: Experimental and Analytical Evaluation". Sustainability, 14, 4048, 2022.
<https://DOI.org/10.3390/su14074048>

- [158]. AINI, A.H. "Numerical Study of Flow Patterns in the Windcatchers in Herat, Afghanistan by using Computational Fluid Dynamic". International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST) Vol:1, No:1, May 2016.
- [159]. NEJAT, P. ve JOMEHZADEH, F. "Windcatcher as a Persian Sustainable Solution for Passive Cooling". Review Article Vol:6, No:1, July 2018.
- [160]. http://earthsci.org/mineral/energy/wind_tower_iran/wind_towers.html.
- [161]. https://www.researchgate.net/figure/Four-sided-wind-tower-of-Isa-bin-Ali-House-in-Muharraq-Bahrain-21_fig1_329265222/download.
- [162]. GHAEMMAGHAMI, P.S. ve MAHMOUDI, M. "Wind Tower a Natural Cooling System in Iranian Traditional Architecture". Int.Conf. "Passive and Low Energy Cooling 71 for the Built Environment", Santorini, Greece, May 2005.
- [163]. GROSSO ve AHMAD, M. "Potential Cooling Energy Reduction by a One-Channel Wind Tower: Case Study Modelling in South-Mediterranean Climate". Int. J. of Ventilation, 15:3-4, 267-287, 2016. DOI:10.1080/14733315.2016.1214397.
- [164]. <https://www.bahramabedini.com/en/store/mostofi>
- [165]. <https://www.visitiran.ir/attraction/dowlat-abad-garden>
- [166]. SAKR, A. "The Vernacular Architectural Ventilation Techniques in hot-Dry climates". July 2011. DOI:10.13140/RG.2.1.2728.9126.
- [167]. <https://www.monodraught.com/projects/kidderminster-college>.
- [168]. MOVAHED, K. "Badgir (Wind Catcher) an Example of Traditional Sustainable Architecture for Clean Energy". 2016 the 4th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering, 2016. DOI: 10.1109/SEGE.2016.7589504.
- [169]. SANI, R.M. ve SHOTORBANI, P.M. "Symbolic Use of Wind-Catchers in Iran". open house international Vol:38 No:2, June 2013. DOI:10.1108/OHI-02-2013-B0008.
- [170]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sirjan>.
- [171]. https://en.wikipedia.org/wiki/Windcatcher#/media/File:Aghazade_mansion.jpg.
- [172]. <https://www.arabnews.com/node/2162751/middle-east>.
- [173]. HANSEN, N.F. "An Analysis of Some Observations of Thermal Comfort in Roorkee, India and Baghdad, Iraq". Annals of Human Biology · November 1974. DOI: 10.1080/03014467400000441.
- [174]. TOKSOY, M. "Isıl Konfor", MMO, 1. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 15-17 Nisan 1993.
- [175]. "How Ancient 'Skywells' are Keeping Chinese Homes Cool". High Performance Building (HPB) Monthly Newspaper from HPB Published by ASHRAE, August 2023.
- [176]. HAWKING, S. "Büyük Sorulara Kısa Yanıtlar". Alfa Yayınları 2018

BÖLÜM 4

KONUTLARDA DOĞAL HAVALANDIRMA⁵⁸

Residential Natural Ventilation

Nur ÇOBANOĞLU⁵⁹
Ziya Haktan KARADENİZ⁶⁰

ÖZET

Doğal havalandırma yöntemi günümüz yapı tasarımı ve işletmesi pratiğinde pasif ve kontrol edilemez bir havalandırma yöntemi ve enerji verimliliği açısından da uzak durulması gereken bir havalandırma yaklaşımı olarak görülmektedir. Ancak, 3. Bölüm'de de ayrıntılı şekilde aktarıldığı gibi, mekanik havalandırma sistemlerinin olmadığı dönemlerde sezgisel ve gözlemsel yöntemlerle yapı tasarımında verimli ve konforu sağlayacak şekilde uygulanmıştır. Bina ve bina bileşenlerinin üretim ve yönetim süreçlerinin güncel teknolojik gelişmeler (eklemeli imalat, büyük veri, yapay zekâ, nesnelerin interneti vb.) ışığında yeniden değerlendirildiği günümüzde, doğal havalandırma tasarım ve işletme süreçlerinin "Otonom Havalandırma" kavramı kapsamında yeniden şekillendirilmesi mümkündür. Bu bölümde, İzmir'deki konutlarda doğal havalandırma sistemlerinin yaygınlaşması için tasarıma temel teşkil edecek şekilde, temel doğal havalandırma yöntemleri açıklanarak bina çevre etkileşimi üzerine akademik literatürde mevcut bilgiler derlenmiş, yürürlükteki yerel ve uluslararası standartların doğal havalandırma hakkında koyduğu kurallar bir bütün olarak sunulmuştur. Sonrasında, doğal havalandırma debisinin ve bir binanın doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi için önerilen yaklaşımlar derlenerek İzmir'in doğal havalandırma potansiyeli mevsimsel ve ilçe bazında değerlendirilmiştir.

1. GİRİŞ: DOĞAL HAVALANDIRMA

Doğal havalandırma, herhangi bir mekanik sistem kullanmadan dış ortamdaki taze havayı iç ortama sağlayarak bina enerji kullanımını önemli ölçüde azaltabilir ve bina sakinlerinin iç ortamdan memnuniyetini artırabilir. Binalardaki doğal havalandırma mekanizması iki temel prensibe dayanır. İlk prensip, bina cephesi boyunca rüzgâr basıncındaki farklılıklardan kaynaklanan rüzgâr sürücülü havalandırmadır. Rüzgâr sürücülü havalandırmanın en iyi bilinen örneği olan yelgellerdir, bu konu kitabın 3. Bölüm'ünde ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. İkinci prensip ise, bina cephesindeki çeşitli açıklıklar arasındaki sıcaklık farklılıklarından (hava yoğunluğu değişimlerine neden olan) kaynaklanan kaldırma kuvveti kaynaklı havalandırmadır [1, 2]. İç-dış sıcaklık farkı genellikle zamanla sürekli değişim gösterir ve büyük dalgalanma bileşenleri içermez. Bu nedenle kaldırma kuvveti kaynaklı doğal havalandırmanın potansiyeli, karmaşık hava akışı özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda ortalama akış ve kararsız türbülanslı dalgalanmadan oluşan rüzgâr kuvvetinin neden olduğu rüzgâr sürücülü doğal havalandırmaya göre daha kolay tahmin edilebilmektedir [3].

Doğal havalandırma, bina enerji kullanımını azaltmak, ısıl konfor sağlamak ve iç mekân hava kalitesini iyileştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir [1, 4]:

- **Enerji verimliliği:** Doğal havalandırma, geçiş mevsimlerinde mekanik havalandırmanın yerini alma potansiyeline sahiptir ve araştırmalar, doğal havalandırmanın veya doğal havalandırma ve mekanik havalandırmayı birleştiren hibrit havalandırmanın enerji tasarrufu etkisini

⁵⁸ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun (2023) oluşturduğu "Konut Havalandırma Sistemleri, Havalandırma Etkinliği ve Enerji Verimliliği" adlı 4. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

⁵⁹ ME, Dr. Araştırmacı

⁶⁰ Doç. Dr., Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir, Türkiye

doğrulamıştır [5–10]. Doğal havalandırma kullanımı, yerel iklim farklılıklarına göre enerji tüketiminde %20-40'a kadar tasarruf sağlayabilmektedir [11].

- **Isıl konfor:** Uyarlanabilir ısı konfor modeline göre, doğal havalandırılmalı binalardaki kişiler, klimalı binalardakilere göre daha geniş bir sıcaklık aralığını tolere edebilmektedirler [1]. Ayrıca, ayarlanabilir pencereler aracılığıyla hava akışını kontrol etme olanağı sağlamak, genel ısı konforlarını artırabilir [12–15].
- **İç çevre kalitesi:** Araştırmalar, iyi bir doğal havalandırma tasarımının hava yoluyla bulaşan hastalıkların etkili bir şekilde önlenmesine yardımcı olabileceğini göstermiştir [16]. Buna ek olarak, daha düşük karbondioksit konsantrasyonu [17] ve iyileştirilmiş ısı konforu nedeniyle mekanik havalandırılmalı binalardaki gibi doğal havalandırılmalı binalarda da bina sakinlerinin verimliliğinin arttığı kanıtlanmıştır [18, 19].

Geçtiğimiz yıllarda küresel ısınma, enerji krizi ve sağlık sorunu gibi tehdit edici sorunlara tanık olunmuştur ve bu sorunlar binalarda uygun şekilde tasarlanmış doğal havalandırma sistemleri ile hafifletilebilir. Doğal havalandırma kullanımının gelecekteki eğilimi, daha yüksek küresel veya yerel sıcaklıklarla sonuçlanması beklenen iklim değişikliğinden [10, 20–22] ve devam eden kentleşmeden [21] etkilenmeyeceğini göstermektedir. Bu faktörler, doğal havalandırmanın kullanılabilirliğini potansiyel olarak sınırlayabilecek ek belirsizliklere katkıda bulunmaktadır. Heiselberg, iç mekan hava kalitesi ve enerji tüketimini dengelerken havalandırmayı optimize etmek için doğal ve mekanik yöntemleri birleştiren hibrit havalandırma kavramını tanıtmıştır [23]. Bölüm 3'de önerilen fan destekli ve filtreli yelgel sistemleri de hibrit havalandırma sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Bunlara ek olarak çift cidarlı sistemler, güneş bacaları ve bina tasarımındaki diğer yenilikçi açıklıklar gibi tasarım stratejilerini entegre eden bir otomatik kontrol sistemi uygulanmasının doğal havalandırma performansını önemli ölçüde artırdığı [24] ve böylece etkinliğini en üst düzeye çıkardığı gösterilmiştir. Doğal havalandırma potansiyelinin ve etkisinin değerlendirilmesi için yapılan çalışmalar, doğal havalandırmadan yararlanmanın fizibilitesini değerlendiren tasarımcılar ve bina sahipleri için sağlam kanıtlar sunmaktadır. Ayrıca, doğal havalandırma olgusunun teorik analizi, etkili hibrit sistemlerin tasarlanmasında çok önemlidir [25–27] ve bu da doğal havalandırma çalışmalarının önemini daha da artırmaktadır.

Doğal havalandırma, sadece pencereyi açıp binaya hava girmesini sağlayan basit bir prosedür olarak düşünülebilse de aslında bu kadar basit değildir. Doğal havalandırmayı incelerken bazı temel soruların cevaplanması gerekmektedir [3]:

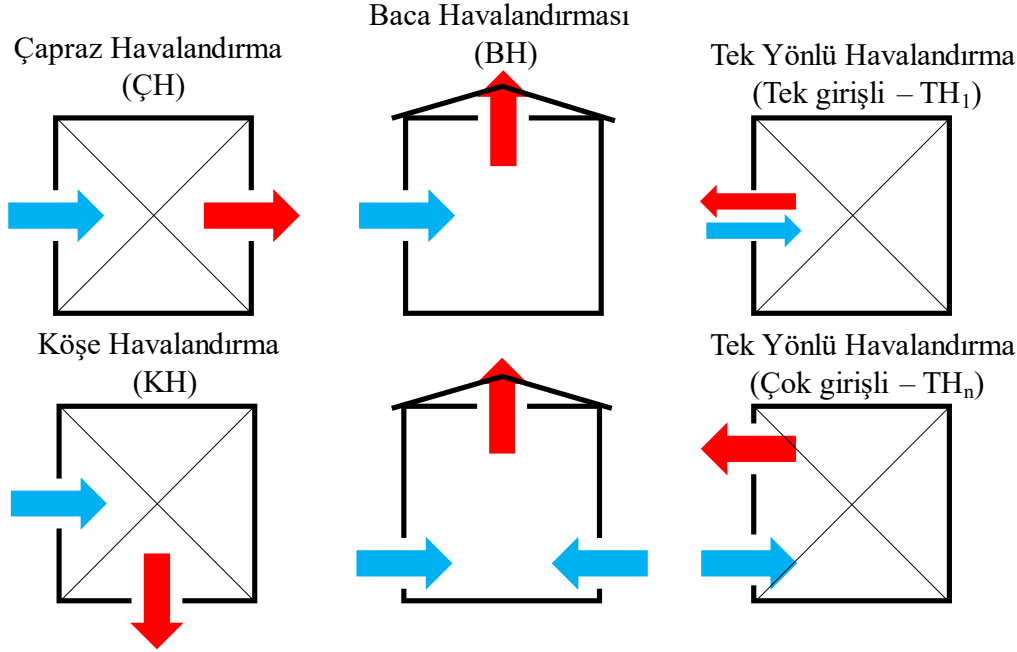
- (a) Binanın bulunduğu konumda mevcut doğal kuvvetin hangisi olduğu (rüzgâr basıncı, kaldırma kuvveti veya bunların kombinasyonu);
- (b) Havalandırma gereksinimlerini karşılamak için doğal havalandırmanın nasıl yönetileceği;
- (c) Doğal havalandırma kullanımının binanın diğer performans unsurlarını olumsuz etkilemeyeceğinden nasıl emin olunacağı, örneğin kirletici seyreltme, güvenlik, ısı ve nem konforu, gürültü kontrolü ve hatta mahremiyet;
- (d) Doğal havalandırmanın soğutma, ısıtma, aydınlatma, cephe tasarımı ve diğer ihtiyaçlarla etkileşiminin nasıl yönetileceği;
- (e) Doğal havalandırmanın dış havanın kirli olduğu durumlarda hala kullanılıp kullanılmayacağı; vb.

Sonuç olarak, rüzgâr basıncı ve kaldırma kuvveti zaman ve mekâna bağlı olarak değişebildiğinden iç ortama yeteri miktarda taze hava sağlayabilecek bir doğal havalandırma tasarımının yapılması mekanik havalandırmadan çok daha zordur. Günümüz pratiğinde doğal havalandırma, uygun infiltrasyon açıklıkları koşullarında kontrolsüz olarak gerçekleştiği için plansız bir havalandırma tekniği olarak kabul edilir. (Plansız) doğal havalandırmanın tutarsız hava akışı, yüksek nüfus yoğunluğu için yetersizliği ve dengesiz havalandırma hızı gibi dezavantajları göz önüne alındığı mevcut durumda yalnızca mekanik havalandırmanın kullanılmadığı durumlarda birincil havalandırma olarak düşünülmektedir. Ancak karmaşık mühendislik problemlerinin çözülmesi için güçlü, hızlı ve gerçekçi bilgisayar benzetimlerinin yapılabildiği değerlendirildiğinde, hem yerel atmosferik koşulların (rüzgâr hızı ve yönü, basınç, nem, sıcaklık vb.) öngörülmesi hem de bina ile çevre etkileşimi ile bina içi hacimlerin havalandırma etkileşiminin bina tasarım sürecinde öngörülmesi mümkündür.

2. DOĞAL HAVALANDIRMA YÖNTEMLERİ

Farklı baskın itici güçler göz önüne alındığında, doğal havalandırma rüzgâr sürücülü havalandırma [28] ve kaldırma kuvvetinden kaynaklı havalandırma [29] veya bunların bir kombinasyonu olarak sınıflandırılmaktadır [3, 30]. Doğal havalandırma genellikle açıklık konumlarına göre dört stratejiye ayrılır: Çapraz havalandırma, köşe havalandırma, baca havalandırması ve tek yönlü havalandırma (TH) (Şekil 1) [3].

Zhong vd. [3] doğal havalandırma stratejilerini kısaca şu şekilde tanımlamıştır: Çapraz havalandırma (ÇH), açıklıklar bir binanın iki farklı cephesinde yer almaktadır. Hava akışı yukarı akış açıklığından girer, iç mekânda ilerler ve aşağı akış açıklığından çıkar. ÇH genellikle rüzgâr sürücüdür ve karşı duvardaki iki açıklık arasındaki basınç farkından kaynaklanır. Köşe Havalandırma (KH) ise çalışma prensibi olarak ÇH'ye benzer ve bitişik cephedeki iki açıklık arasındaki rüzgâr basıncı farkından kaynaklanır. Baca Havalandırması (BH), genellikle sıcak iç hava ile soğuk dış hava arasındaki farkından kaynaklanan kaldırma kuvvetine bağlıdır. ÇH'ye benzer şekilde BH de en az iki açıklık gerektirir, ancak bunların farklı yüksekliklerde konumlandırılması gerekir. Hava akışı, daha sıcak ve kirli iç mekân havasını değiştirerek alt açıklıktan içeri ve üst açıklıktan dışarı doğru hareket eder. ÇH, KH ve BH'nin aksine Tek Yönlü Havalandırma (TH), açıklık sayısına (bir veya birkaç; "n") ve açıklık konumuna bakılmaksızın tüm açıklıklar tek bir bina cephesinde olduğunda meydana gelir. TH'nin mutlaka rüzgâr basıncı ile olması gerekmemektedir. Özellikle açıklıklar farklı yüksekliklere sahipse kaldırma kuvveti veya bunların bir kombinasyonu ile de TH gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1. Doğal Havalandırma Yöntemleri [3].

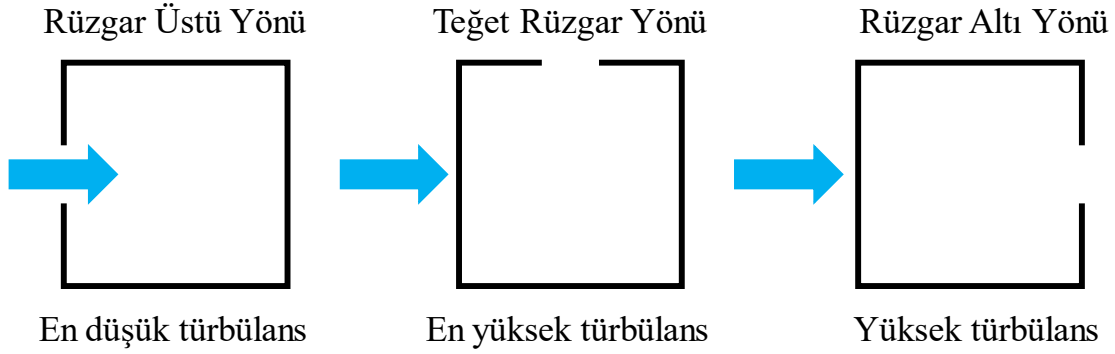
3. DOĞAL HAVALANDIRMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

3.1 ÇEVRESEL FAKTÖRLER

Çevresel unsurlar genellikle yukarı akış/ortam rüzgârı koşulunu (rüzgâr hızı ve yönü) ifade etmektedir [3]. Bu faktörler değerlendirilirken kaldırma kuvvetinden kaynaklı havalandırma için, iç ve dış sıcaklık farkı da göz önünde bulundurulmalıdır. Gelen rüzgâr hızının artması, özellikle pencere boyunca ortalama basınç farkının hava değişimine neden olduğu çarpma hava akışında TH oranını doğrudan artırabilir [31–33]. Kaldırma kuvveti etkisi dikkate alınırca, rüzgâr ve kaldırma kuvveti karşıt kuvvetler olarak hareket etmediği sürece TH oranı genellikle artan rüzgâr hızlarıyla artar [34–36]. Özellikle, havalandırma hızı negatif iç mekan-dış mekan sıcaklık farkları (iç mekan < dış mekan) için rüzgâr hızı

ile artar ve pozitif iç mekan-dış mekan sıcaklık farkları (iç mekan > dış mekan) için rüzgâr hızı ile doğrusal olmayan bir değişim gösterir [34].

Rüzgâr hızı ile doğrudan bağlantılı olan rüzgâr yönü rüzgâr sürücülü doğal havalandırma için çok önemlidir [3]. Gelen rüzgâr açıklığa dik olduğunda (rüzgâr üstü havalandırma), açıklıktaki hava akışı alanları genellikle stabil olacak ve türbülanslı dalgalanma nispeten çok daha düşük olacaktır. Böylece büyük momentumlu (büyük pozitif rüzgâr basıncı) ortalama rüzgâr akışı doğal havalandırma hızını arttırmaktadır (Şekil 2.a). Yukarı akış rüzgâr yönü açıklığa paralel ise (teğet havalandırması), açıklıktaki hava akışı alanları kararsız ve oldukça türbülanslıdır. Bu durumda, havalandırma hızı esas olarak yanal açıklığın etrafındaki kayma katmanlarındaki kararsız dalgalanmaya bağlıdır (Şekil 2.b). Sadece rüzgâr altı açıklıkları (rüzgâr altı havalandırması) olan havalandırma için, kayma sınır tabakaları ve girdaplar, havalandırma hızının baskın itici gücü haline gelen bina arkasında negatif basınç ile büyük bir girdaba yol açmaktadır (Şekil 2.c).



Şekil 2. Rüzgâr Yönü ve Türbülans Etkileri [3].

Türbülanslı dalgalanmalar, çoğu rüzgâr yönünde hava akış alanı özellikleri ve hava değişimi üzerinde oldukça etkili olabilmektedir [3, 37]. Türbülanslı dalgalanmalara bağlı havalandırmanın temel olarak dört farklı fiziksel mekanizması vardır:

- (1) Açıklık boyunca sürekli ve değişken akış;
- (2) Gel-git akışı;
- (3) Girdap penetrasyonu;
- (4) Moleküler difüzyon.

Sürekli hava akışı, dış rüzgâr koşullarındaki değişimlerin neden olduğu türbülanslı dalgalanmalar nedeniyle bir odayı sürekli olarak havalandıran akışın yığın kararsızlığı ile ifade edilmektedir [3]. Atımlı akış genellikle açıklıkların konumuna ve sayısına bağlı olarak iki farklı şekilde sahiptir. Tüm açıklıklardaki dış rüzgâr basıncı eşit olduğunda (örneğin, iki açıklık binanın merkez hattı etrafında simetrik olarak yerleştirildiğinde) veya sadece tek bir açıklık olduğunda, dış basıncın zamansal değişimi, iç ve dış ortam arasındaki pozitif veya negatif basınç farkına bağlı olarak bir açıklığın giriş veya çıkış olarak çalışmasını sağlayabilmektedir. Bir diğer atımlı akış mekanizmasında ise basınç farkı mevcut olduğunda ve iki veya daha fazla açıklık arasında değiştiğinde, açıklıklardan geçen hava akış yönü periyodik olarak değişebilmektedir. Uzunluğu boyunca önemli basınç değişimlerinin meydana geldiği büyük açıklıklar için havalandırmaya, genellikle açıklıktan daha küçük boyutlara sahip türbülanslı girdaplar da eşlik edebilmektedir. Rüzgâr yönünün pencereye paralel olduğu teğet havalandırması için, ortalama akış pencereden odaya neredeyse hiç giremediğinden, girdap penetrasyonu, özellikle büyük bir açıklık için iç-dış hava değişimine önemli ölçüde etki edebilir. Moleküler difüzyon ise havalandırma akışlarının basınç değişimleriyle doğrudan ilişkisi olmayan mikro ölçekli bir havalandırma olgusudur.

Rüzgâr basıncı kaynaklı TH için, havalandırma hızı rüzgâr üstü havalandırma için nispeten kararlıyken teğet ve rüzgâr altı havalandırma için değişkendir [31]. Teğet havalandırmanın havalandırma hızı genellikle rüzgâr üstü ve rüzgâr altı havalandırmadan daha düşüktür, ancak rüzgâr yönü açıklık yüzeyine dik olduğunda rüzgâr altı açıklığının havalandırma hızı rüzgâr üstü açıklığından biraz daha büyüktür [38–41]. Girdap penetrasyonu teğet havalandırmasında ana etkidir ve paralel rüzgâr hızının sıfır olması nedeniyle rüzgâr yönü açıklığa normal olduğunda girdap penetrasyonu rüzgâr yönünde açıklık

için sıfır olabilir [42]. Kaldırma kuvveti etkisi dikkate alındığında, baskın itici güç farklı rüzgâr yönleri için rüzgâr basıncı ve kaldırma kuvvetleri arasında değişecektir [43]. Ancak, bina dizisi durumlarında rüzgâr yönünün TH oranı üzerindeki etkisi çok daha zayıf olacaktır [44]. ÇH için ise rüzgâr üstü havalandırmadan teğet havalandırmaya geçtikçe yani rüzgâr açısının açıklığa dik olma durumundan paralel olma durumuna geçtikçe ÇH performansı azalmaktadır [1]. Farklı rüzgâr açılarındaki ÇH mekanizmasını tanımlamak için Zhang vd. [45] spektral uygun ortogonal ayrıştırma yöntemini uygulayarak ortalama akış ve türbülansın ÇH'ye etkisini 0° (açıklıklar rüzgâr üstü ve rüzgâr altı yönünde) ve 90° (açıklıkların her ikisi de yan tarafta) durumlarında nicel olarak değerlendirmiştir. Açıklıklar yan duvarda yer aldığına, ön duvarın kenarındaki ayrılma akışı odaya nüfuz eden kararsız girdaplar oluşturarak havalandırmayı artırmıştır ve türbülans bu durumda havalandırmaya ana katkıda bulunan unsur olarak kabul edilmiştir. Park [46] ise deneysel çalışmasında ÇH hava akışı üzerindeki rüzgâr hızı ve yönlü dalgalanmayı araştırmıştır. Rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün frekans analizi yapılmış ve rüzgâr yönünün dalgalanma bileşenlerinin rüzgâr hızıyla ilişkili olmadığı görülmüştür; bu da kararsız hava akış oranlarını daha iyi anlamak için rüzgâr yönü ve hızının her ikisinin de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

3.2 MİMARİ TASARIM FAKTÖRLERİ

Mimari unsurlar hem açıklıkların hem de bina konfigürasyonlarının etkisini ifade etmektedir. Mevcut literatürde, açıklıkların sayısı/alanı, konumu, geometrisi ve düzenlenmesi, bina cephe tasarımı ve çevredeki binalar vb. dahil olmak üzere çeşitli mimari unsurların doğal havalandırmanın hava akışı alanı ve hava değişimi üzerindeki etkisi dikkate alınmıştır.

Açıklık sayısı / alanı: Açıklık sayısı arttıkça TH oranı artmaktadır [4]. Açıklık sayısının artması, ve aynı zamanda daha geniş açıklık boyutları toplam açıklık alanını artırarak doğal havalandırma hızını artırır [47–50]. Ancak daha büyük açıklık alanları havalandırma hızına her zaman olumlu katkıda bulunmaz [51]. Rüzgâr altı havalandırmalı TH₂ için, açıklık alanının artırılması çok büyük açıklık boyutlarında bile olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. TH'den ÇH'ye geçişte birden fazla açıklık eklemenin havalandırma hızı üzerindeki pozitif etkisine kıyasla ÇH için rüzgâr altı açıklığının alanını artırmak havalandırma hızını artırmada daha etkili olmuştur [52].

Açıklık konumu: Rüzgâr sürücülü TH₁ için, açıklığın düşey konumu havalandırma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve yükseklik boyunca basınç düşüşü nedeniyle açıklık yerden uzaklaştığında havalandırma hızı düşecektir [42]. Ayrıca, birden fazla açıklığa sahip TH_n durumlarında, açıklıklar arasındaki göreceli yatay mesafe (açıklık ayırımı) havalandırma hızını etkilemektedir. Büyük bir açıklık ayırımının, küçük ve orta ölçekli binalarda, özellikle rüzgâr yönünde veya rüzgâr yönünün tersine havalandırmada havalandırma hızını artırabileceği bulunmuştur [4, 38, 53]. Aynı yüksekliklerde, cephenin merkezine yakın konumlandırılmış iki açıklık, binaların kenarlarına yakın konumlandırılmış açıklıklara kıyasla daha yüksek bir ÇH oranı sağlayabilmektedir [54].

Açıklık geometrisi, tipi ve düzeni: Wang vd. [55] konutlarda yaygın olarak kullanılan altı pencere tipinin havalandırma performansı üzerindeki etkisini incelemiştir: Dikey sürgülü pencere, eğimli pencere, tente penceresi, yatay pivot pencere, dönüş penceresi ve dikey pivot pencere. Çeşitli pencere tipleri için havalandırma oranlarının ortam rüzgârına duyarlılığının oldukça farklı olduğu bulunmuştur. Yatay ve düşey pivot pencere tipleri en iyi havalandırma performansını gösterirken, eğimli pencere tipi en kötü performansa sahiptir. Buna ek olarak, farklı pencere tiplerinin iç ortam ısı profilleri, hız ve hız dalgalanmaları üzerindeki etkisi rüzgâr ve/veya kaldırma kuvveti sürücülü havalandırmada önemlidir [3]. ÇH için açıklığın şekli ve konumu sadece havalandırma hızını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda iç mekan sirkülasyon bölgesi gibi iç mekan hava akışı modelini de belirlemektedir [52, 56].

Binanın cephe tasarımı: Cephe tasarımı balkonları [57], kanat duvarlarını [58], kılavuz kanatları [59] ve akış saptırıcıları [60] içeren özel tasarımı ifade eder. Bu cephe tasarımları, bina cephesindeki basınç dağılımını bozarak hem rüzgâr hem de kaldırma kuvveti kaynaklı doğal havalandırma için havalandırma hızını belirleyebilir [3]. Literatüre göre, bina cephesi tasarım parametrelerinde en çok balkonlar dikkate alınmıştır. Balkonların bina cephesi yakınındaki diş

akış alanını önemli ölçüde değiştirebildiği ve balkon konfigürasyonlarının uygun tasarımlarının normal rüzgâr açısında TH'nin havalandırma hızını artırabildiği bildirilmiştir.

Çevredeki komşu binalar: Kentsel alanlarda, çevredeki binaların veya yapıların doğal havalandırma üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir. Komşu bina ile TH uygulanan bina arasındaki mesafe, binanın etrafındaki ve karşısındaki hava akışı alanı ve hava değişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [44, 51, 59, 61]. Mahalle ölçeğinde, sokak kanyonları kentsel havalandırma açısından her zaman ana unsur olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, sokak kanyonu En Boy Oranı (AR; ortalama bina yüksekliği H/sokak kanyonu genişliği W) baskın bir etki unsuru haline gelmektedir. AR büyüdükçe girdap sayısı da artmaktadır. Girdaplar arasındaki etkileşim, AR çok büyük değilse TH'nin türbülanslı havalandırmasını teşvik etmek için bir fırsat yaratabilmektedir [62, 63]. Bununla birlikte kentsel morfolojik göstergeler de kentsel planlamada yaygın olarak dikkate alınmalı ve rüzgâr akış alanı özellikleriyle yakından ilişkili olmalıdır. Bazı tipik göstergeler arasında Kat Alanı Oranı (FAR), Bina Kapsama Oranı (BCR), Bina Yoğunluğu (BD), Ortalama Bina Yüksekliği ve bunların değişim katsayısı yer almaktadır ve bunlar arasında FAR ve BCR en yaygın kullanılanlardır [64]. FAR, bir bölgedeki toplam bina taban alanının sit alanına oranını ifade eder. BCR ise bina ayak izlerinin toplam alanının sit alanına oranıdır. Bu kentsel morfolojik endeksler, kentsel binaların içinde ve dışında rüzgâr alanı inşasında önemli bir rol oynamaktadır. ÇH'de ise çevredeki binalar ÇH'nin hız alanını büyük ölçüde etkiler ve daha yoğun bir bina yoğunluğu genellikle daha düşük bir havalandırma hızına yol açar.

Görüldüğü gibi doğal havalandırmada, rüzgârın binaya geliş yönü ve şiddeti ile bina yüzeyi ve çevresi önemli etkenlerdir ve bina içerisindeki akışkanın hareketi her duruma özgü tanımlamalar ve özellikler içermektedir. Her binanın doğal havalandırma tasarımı kendine özgü bir mühendislik problemi olarak ele alınmalıdır.

4. STANDARTLARDA DOĞAL HAVALANDIRMA

2012 yılında Avrupa özelinde konutlarda havalandırma üzerine yapılan derleme çalışma hem standart ve regülasyonları incelemiş hem de bu alanda yapılan çalışmaların standartlara uygunluğunu araştırmıştır [65].

Danimarka geri çektiği DS 418:2002 standardında tüm konut için havalandırma hızı $0,5 \text{ h}^{-1}$ olarak tanımlanırken doğal havalandırma sadece salonlar için özelleştirilmiş ve küçük konutlarda açıklığın en az $2,4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ olması gerektiği belirtilmiştir. Almanya'da DIN 1946 Kısım 6'da ise en fazla 2 kişinin konakladığı 50 m^2 'den küçük konutların tamamı için doğal havalandırma debisi $60 \text{ m}^3/\text{h}$; en fazla 4 kişinin konakladığı $50\text{-}80 \text{ m}^2$ konutlar için havalandırma debisi $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ve en fazla 6 kişinin konakladığı 80 m^2 'den büyük konutlar için doğal havalandırma debisi ise $120 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak belirlenmiştir. İtalya'da Ministerial Decree 05.07.75'e göre doğal havalandırma debisi tüm konut için $0,35\text{-}0,5 \text{ h}^{-1}$ aralığında değişirken, Portekiz'de doğal havalandırma için oluşturulan NP 1037-1 Standardına göre havalandırma debisi salon ve yatak odaları için $1,0 \text{ h}^{-1}$ ve mutfak ve banyolar içinse $4,0 \text{ h}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Hindistan ise doğal havalandırma için geliştirdiği IS: 3362-1977 Standart'ta giriş açıklıklarının rüzgâr üstü, çıkış açıklıklarının ise rüzgâr altı havalandırması sağlayacak şekilde konumlandırılması gerekliliğini bildirmiştir. Aynı zamanda zemin alanının %20-30'u arasındaki toplam açıklık alanı (giriş ve çıkış) için, ortalama iç mekân rüzgâr hızı dış ortam hızının yaklaşık yüzde 30'u kadardır ancak açıklık alanının artmasıyla hız artacağından en elverişli koşullar altında bile maksimum ortalama iç mekân rüzgâr hızı dış mekân hızının yüzde 40'ını aşmamalıdır. Rüzgâr yönünün oldukça sabit ve güvenilir olduğu durumlarda, girişin boyutu toplam açıklık alanının yüzde 30 ila 50'si arasında tutulmalı ve bina gelen rüzgâra dik olarak yönlendirilmelidir. Rüzgârın yönü oldukça değişken olduğundan, açıklıklar mümkün olduğunca her tarafta yaklaşık olarak eşit alan olacak şekilde düzenlenebilir. Oturma odalarının pencereleri doğrudan açık alana açılmalı, bir odanın sadece bir duvarının dışarıya açık olması durumunda birden fazla açıklık tercih edilmelidir.

Bu standartlara ek olarak bu bölümde ayrıca ASHRAE/ANSI Standart 62.1-2022 ve 62.2-2022, EN 16798:2019, EN 15251:2007, CEN 14788:2006, EN 15242:2007 standartları doğal havalandırma özelinde detaylı olarak incelenmiştir.

4.1 ASHRAE/ANSI STANDART 62.1: KABUL EDİLEBİLİR İÇ HAVA KALİTESİ İÇİN HAVALANDIRMA

Konut dışı binalar için tanımlanmış olsa da ASHRAE/ANSI Standart 62.1'in önerdiği yöntem binaların geometrik özellikleri ile rüzgâr karakteristikleri arasında bağlantı kurulmasını sağladığı için incelemeye değer bulunmuştur. Standartın önceki versiyonlarında açıklık boyutu havalandırılacak ortamın taban alanının sadece %4'ü kadar alana sahip olacak şekilde ifade edilmişken 2019 yılında güncellenen versiyonunda açıklık boyutları hem havalandırma yoğunluğunun (bina sakinlerinin yoğunluğunun bir fonksiyonu) hem de açıklık geometrisinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır [66].

En güncel versiyon olan ASHRAE/ANSI Standart 62.1-2022'de doğal havalandırma için tasarlanmış herhangi bir hacmin Standartta uygun olarak tasarlanmış bir mekanik havalandırma sistemi içermesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu durum sadece mekanik havalandırmanın sağlanamadığı ve standartın gerekliliklerine uygun tasarlanan açıklığa sahip hacimler ile beklenen doluluk dönemlerinde bu açıklıkların kapatılmasını önleyen kontrollerin mevcut olduğu veya açıklıkların sürekli açık olduğu hacimler için istisnai durum içermektedir.

Mekanik havalandırmanın yanında doğal havalandırma ihtiyacında açıklık tasarımı için gerekli olan minimum havalandırma debisi hesabı için Eşitlik 1 kullanılmaktadır.

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad (1)$$

Burada V_{bz} solunum hacminde gerekli dış hava akış hızı, A_z hacim taban alanı (m^2), P_z ise hacmi kullanan kişi sayısını ifade etmektedir. ASHRAE/ANSI Standart 62.1-2022'de Tablo 6-1 ise farklı ortamlar için Kişi Başına Dış Hava Miktarı ($R_p - L/s$ kişi) ve Alan Başına Dış Hava Miktarı ($R_a - L/s m^2$) değerlerini sunmaktadır. Bu akış hızı, sadece kaldırma kuvveti kaynaklı akış hesaba katılarak, açıklıkların gerekli açılabilir alanını belirlemek için kullanılacaktır. Rüzgâr kaynaklı akış ise sadece minimum akış hızının tüm dolu saatler boyunca sağlandığının gösterilebildiği durumlarda kullanılması önerilmektedir.

Havalandırılacak hacmin taban alanı açıklık sayısı ve yerleşimlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Doğal havalandırma ile havalandırılacak olan alan TH ve ÇH için tavan yüksekliğine bağlı olarak, KH içinse açıklıklar arası mesafe ve tavan yüksekliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

ASHRAE/ANSI Standart 62.1-2022'de açıklık boyutu kullanılabilir net taban alanının yüzdesi olarak tanımlanmıştır. Bu yüzde değerleri hacmin tek bir açıklık veya aynı yükseklikte bulunan birden fazla açıklık kullanılarak havalandırıldığı durumlar için ve hacmin farklı yüksekliklerde bulunan iki açıklık veya bu tür açıklıkların birden fazla çifti kullanılarak havalandırıldığı durumlar için belli kabuller altında geçerli tablolar sunulmuştur. Standartta ayrıca dış mekâna doğrudan açıklığı olmayan iç hacimlerin veya hacim kısımlarının bitişik hacimlerden havalandırıldığı durumlar için yöntemler sunulmuştur.

4.1 ASHRAE/ANSI STANDART 62.2: KONUT BİNALARINDA HAVALANDIRMA VE KABUL EDİLEBİLİR İÇ HAVA KALİTESİ

ASHRAE/ANSI Standart 62.2 kapsamında yaşam alanlarında açıklık boyutu havalandırılacak ortamın taban alanının %4'ünden küçük veya $0.5 m^2$ den küçük olmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Tuvalet ve yardımcı odalarda (kurutucu egzoz kanalı bulunan hizmet odaları ve banyolardaki tuvalet kabinleri dışında) ise açıklık boyutu havalandırılacak ortamın taban alanının %4'ünden küçük veya $0.15 m^2$ den küçük olmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Görüldüğü gibi konut dışı binalar için önerilen hesaplama ayrıntılarına kıyasla konutlar için doğal havalandırma hesabı çok basit şekilde geçilmiştir.

4.2 EN 16798:2019 : BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSI - BİNALAR İÇİN HAVALANDIRMA - BÖLÜM 1: İÇ HAVA KALİTESİ, TERMAL ÇEVRE, AYDINLATMA VE AKUSTİĞİ ELE ALAN BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSININ TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN İÇ ORTAM GİRDİ PARAMETRELERİ - MODÜL M1-6

Konutlardaki doğal havalandırma sistemleri için varsayılan tasarım açıklık alanlarını tanımlamak için bir metodoloji sunar. Açıklık alanları besleme/çekme menfezleri, baca kanalları, pencere menfezleri veya benzer bir sistem olarak sağlanmalıdır. Tasarım açıklık alanları ile tasarım yapılırken yerel iklim koşulları dikkate alınmalıdır.

Açıklık alanları mutfak, banyo ve tuvaletler için (çekme) oda başına 100 cm², oturma ve yatak odaları için (besleme) 60 cm² olarak belirlenmiştir. Yatak odaları ve oturma odaları için değerler m² taban alanı başına veya oda başına sabit değerler olarak verilebilir.

4.3 EN 15251:2007 : İÇ HAVA KALİTESİ, TERMAL ÇEVRE, AYDINLATMA VE AKUSTİĞİ ELE ALAN BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSININ TASARIMI VE DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN İÇ ORTAM GİRDİ PARAMETRELERİ

Doğal havalandırılmalı binalardaki havalandırma oranları, EN 15242'ye göre bina yerleşimi, konumu ve hava koşullarına göre hesaplanır.

4.4 EN 15242:2007 : BİNALAR İÇİN HAVALANDIRMA - İNFİLTASYON DAHİL BİNALARDAKİ HAVA AKIŞ HIZLARININ BELİRLENMESİ İÇİN HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

EN 15242:2007 Standardında pencere açıklıkları vasıtasıyla bina içerisinde havanın doğal olarak değişimi "airing" olarak isimlendirilmiştir. Bu kapsamda hava debisi hesabı için pencere açıklığı alanı, rüzgâr hızı ve türbülansı ile baca etkisini hesaba katan katsayılar, pencerenin serbest alan yüksekliği, 10 m yükseklikteki meteorolojik rüzgâr hızı ve iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı kullanılmaktadır.

Alttan menteşeli pencereler için ise pencere açıklığı, açıklık açısına bağlı olarak elde edilen katsayının tamamen açık pencere alanı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

Konutlar özelinde önerilen yaklaşım, pervazlı pencereler (yüksekliği oda yüksekliğine yakın olan pencereler için değil) ve eğimli pencere bölümünün yaklaşık 1:1 ila 2:1 arasındaki yükseklik/genişlik oranlarına sahip pencereler için geçerlidir.

İç hava kalitesi sadece pencerelerin açılmasına bağlı olduğunda, kullanıcı davranışlarının gerekli olandan daha yüksek hava akış hızlarına yol açtığı dikkate alınmıştır. Bu noktada C_{airing} isimli bir katsayı tanımlanmıştır. C_{airing} , pencerelerin açılmasıyla ilgili kullanıcı açma verimliliğini (ancak gerekli hava akış hızlarının karşılandığını varsayarak) ve aynı zamanda odanın doluluk modelini de dikkate alır. Bu katsayı, özellikle pencerelerin açılması tek başına olası bir havalandırma sistemi olarak düşünülüyorsa ulusal düzeyde tanımlanmalıdır.

Bu standartta sadece tek taraflı havalandırma etkileri dikkate alınmaktadır, yani bu pencere açıklığından kaynaklanan havalandırma etkisinin diğer açık pencerelerden veya ek havalandırma sistemi akışlarından bağımsız olduğu kabul edilmektedir.

Yaz mevsiminde konfor şartlarını sağlamak içinse çapraz havalandırmanın ya iteratif ya da doğrudan tanımlanacak şekilde dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

5. DOĞAL HAVALANDIRMA DEBİSİNİN BELİRLENMESİ

Doğal hava akışları ampirik ve analitik modeller, ağ modelleri ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak modellenmektedir. Standartlar genellikle ampirik ve analitik modelleri önermektedir [67]. Tüm bina içindeki her bir durum parametresinin homojenliğini varsaymaktadırlar. Hava akışları basınç

kuralları ile hesaplanmaktadır [68]. Bu modeller basit olmasına rağmen denklem sistemini çözebilmek için çok sayıda kabul ve varsayım yapıldığı için rüzgâr etkileriyle ilgili düşük güvenilirlikle sonuçlanır [69]. Ampirik ve analitik modeller, standartlaştırılmış basınç katsayıları ve ortalama rüzgâr hızları ve yönlerinin kullanılması nedeniyle rüzgâr etkilerini zorlukla ele almaktadır [68, 70]. Ancak, tek taraflı havalandırma ve çapraz havalandırma ile ilgili rüzgâr etkilerinin daha iyi dikkate alınmasına yönelik güncel literatürde önemli çalışmalar yapılmaktadır, bu da güvenilirliklerinin artmasına büyük ölçüde katkıda bulunacaktır [71–74].

Ağ modelleri Bernoulli denklemlerinin çözümüne dayanmakla birlikte; COMIS, CONTAM veya MATHYS gibi bilgisayar yazılımları gerektirmektedir. Bölgeler bina içinde homojen durum parametreleri ile tanımlanmakta ve bölgeler arasındaki transferler basınç yasalarına dayanmaktadır. Zhai vd. [75] ana ağ modelleme programlarını incelemiştir. Bu çalışmada, CONTAM'ın bir versiyonu da yakın zamanda ABD Enerji Bakanlığı'nın (DOE) en yeni bina enerji simülasyon aracı EnergyPlus'a eklenmiştir. Bu nedenle, bu dört araç karşılaştırma için incelenmiştir. İnceleme, COMIS ve CONTAM hava akışı modellerinin aynı ilkelere dayandığını ve aynı şekilde yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. EnergyPlus'a dahil edilen hava akışı ağ modülünün aynı ağ modelinin başka bir versiyonu olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, EnergyPlus içindeki hava akışı ağ modülünün ESP-r ile birleştirilmiş ağ modeliyle neredeyse aynı şekilde çalıştığını kanıtlamaktadır.

Daha karmaşık bir çözüm sunan HAD çözümlerinde hesaplama maliyetini azaltmak için güncel iki yöntem mevcuttur. Navier-Stokes denklemlerinin hesaplanmasında bir türbülans periyodunun ortalaması alınabilir; buna Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) yöntemleri denir. Daha iyi bir türbülans çözümü içinse, çok küçük ölçekli girdapları göz ardı etmek için daha kaba bir ağ tanımlanabilir (kaba hali bile RANS'dakine göre oldukça küçük) ve bu yöntem Büyük Girdap Benzetimi (Large Eddy Simulation-LES) yöntemi olarak adlandırılır. Van Hooff vd. [76] bu HAD modellerinden elde ettikleri sonuçları bir rüzgâr tüneline yapılan küçültülmüş ölçekli bir deneyden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırıldığında, LES yönteminin RANS yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiğini, ancak hesaplama süresinin 80-100 kat arttığını bulmuşlardır. RANS ve LES modellerinde bile hesaplama maliyeti önemlidir. Aynı zamanda modelin doğrulama tekniği her çalışmada farklıdır, bu da modellerin güvenilir bir şekilde karşılaştırılmasını engellemektedir. Doğrulama, durum parametrelerinin ölçümü [77], Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (Particle Image Velocimetry-PIV) [78] diğer çalışmalarla karşılaştırma [79] ve izleyici gaz [80] ile yapılabilir.

Literatürde bulunan çapraz havalandırma ve tek yönlü havalandırmada havalandırma debisinin belirlenmesi için önerilen basit modeller Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Doğal havalandırma modelleri [81, 82]

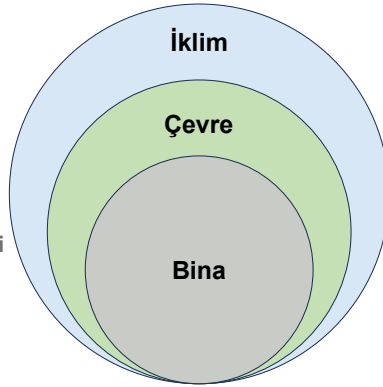
Havalandırma Yöntemi	Model	Açıklamalar
ÇH [82]	$\dot{V}_{kaldırma} = C_D A_b \sqrt{\frac{2\Delta T g H}{T_M}}$ $\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(\sum_{n=1}^n A_n)^2} + \frac{1}{(\sum_{m=1}^m A_m)^2}$	<p>Isıl kaldırma kuvveti nedeniyle iki yükseklikte bulunan "m + n" açıklıktan geçen basınç kaynaklı hava akışını (m³/s) hesaplamak için genel bir ifadedir.</p> <p>Pencere açıklıkları için tahliye katsayısı C_D genellikle 0,60 ile 0,75 arasındadır, ΔT iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı (K), g yerçekimi ivmesi (m/s²), H iki açıklık seviyesi arasındaki mesafe (m), T_M iç ve dış ortam havası arasındaki ortalama sıcaklık (K) ve A_b "m + n" açıklıkların alanıdır (m²). N ve m ise açıklık sayısını ifade etmektedir. İç ortam sıcaklığı dış ortam sıcaklığından yüksekse, n-açlıkları nötr düzlem seviyesinin üzerinde (ısıtılmış havanın dışarıya doğru aktığı) ve m-açlıkları nötr düzlem seviyesinin altında (soğuk</p>

ÇH [82]	$\dot{V}_{rüzgar} = C_D A_w U(z = BH) \sqrt{ C_{P,1} - C_{P,2} }$ $\frac{U(z)}{U(10)} = \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha$	<p>havanın içeri doğru aktığı) olacaktır.</p> <p>İç ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığından daha düşük olduğu durumlarda ise tam tersidir. Bir açıklık nötr düzlem seviyesi ile kesilirse, alanı n ve m açıklık toplamına bölünmelidir.</p> <p>Rüzgâr kaynaklı havalandırma durumunda geçerlidir.</p> <p>A_w, A_b ile aynı şekilde hesaplanabilir, ancak bu durumda açıklıklar pozitif C_p (basınç katsayısı) değerlerine sahip açıklıklardır, aksi takdirde m- açıklıklardır. $U(z = BH)$ bina yüksekliğindeki rüzgâr hızı ve $C_{P,i=1,2}$ basınç katsayılarıdır.</p> <p>α arazi pürüzlülüğüne bağlıdır ve 0,10 ila 0,45 arasında değişir.</p>
British Standard'ına göre $\frac{U(z=BH)}{\sqrt{\Delta T}} < 0.26 \sqrt{\frac{A_b H}{A_w \Delta C_p}}$ eşitsizliği sağlandığında ısı kaldırma kuvvetine bağlı havalandırma şartı için önerilen model, aksi takdirde rüzgâr kaynaklı havalandırma durumu için önerilen model kullanılır.	<p>TH WARREN [83]</p> $\dot{V}_{kaldırma} = \frac{1}{3} A_{eff} C_d \sqrt{\frac{\Delta T H_0 g}{T_M}}$ $\dot{V}_{rüzgar} = 0,025 A_{eff} U_{ref}$ $\dot{V}_T = maks(\dot{V}_{kaldırma}; \dot{V}_{rüzgar})$	<p>A_{eff} = efektif alan (m²) H_0 = açıklık yüksekliği (m) U_{ref} = referans hız (m/s)</p>
TH PHAFF ve De GİDS [84]	$\dot{V}_T = \frac{1}{2} A \sqrt{D_1 U_{10}^2 + D_2 H_0 \Delta T + D_3}$	<p>$D_{i=1,2,3}$ = ampirik sabitler A = alan (m²) U_{ref} = referans hız (m/s)</p>
TH LARSEN ve HEİSELBERG [43]	$\dot{V}_T = \frac{1}{2} A \sqrt{C_1 f(\theta)^2 C_p U_{ref}^2 + C_2 H_0 \Delta T + C_3 \frac{\Delta C_p \Delta T}{U_{ref}^2}}$	<p>$C_{i=1,2,3}$ = ampirik sabitler f = frekans (Hz) θ = rüzgâr açısı</p>
TH WANG ve CHEN [42]	$\bar{v} = \frac{C_d l \sqrt{C_p} \int_{z_0}^{H_0} \sqrt{z^{\frac{2}{7}} - z_n^{\frac{2}{7}}} dz}{z_{ref}^{1/7}}$ $\sigma_{qp}^2 = \left(C_d l z_{ref}^{-\frac{1}{7}} \sqrt{C_p} \int_{z_0}^{H_0} \sqrt{z^{\frac{2}{7}} - z_n^{\frac{2}{7}}} dz \right)^2 \sigma_u^2$ $\sigma_{qe}^2 = C'^2 A^2 \bar{U} \int_{\bar{U}/l}^{\infty} S(\hat{n}) d\hat{n}$ $\sigma_q = \sqrt{\sigma_{qp}^2 + \sigma_{qe}^2}$ $\dot{V}_T = \bar{v} + \sigma_q$	<p>\bar{v} = rüzgâr esintisine bağlı havalandırma hızı (m³/s) l = açıklık genişliği (m) z_0 = aerodinamik pürüzlülük yüksekliği (m) σ_q = dalgalanan havalandırma hızı (m³/s) σ_{qe} = girdap penetrasyonu nedeniyle dalgalanan havalandırma hızı (m³/s) σ_{qp} = titreşimli akış nedeniyle dalgalanan havalandırma hızı (m³/s) \bar{U} = ortalama hız (m/s) S = güç spektrumu \hat{n} = güç spektrumunun frekansı (Hz)</p>
TH CACIOLO vd. [72]	$\dot{V}_T = \frac{1}{3} A C_d \sqrt{\Delta T \Delta T^* H_0 g / T_M}$ $\Delta T^* = 1,355 - 0,179 U_{ref}$	

6. DOĞAL HAVALANDIRMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Binalardaki doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesinde en etkili faktörlerden biri dış ortam koşullarıdır. Bamdad vd. [85] doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi için geliştirdikleri yeni indisi önerdikleri çalışmada, doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi için kullanılan parametreleri iklim, çevre ve bina ölçeklerinde sınıflandırmıştır (Şekil 3). En geniş kapsamlı ölçek olan iklimde, binanın bulunduğu yerde havanın sıcaklığı ve nemi gibi parametreler doğal havalandırma potansiyelini belirlemektedir [86–88]. Binanın çevresinde ise meteorolojik parametrelerin yanı sıra kentsel morfoloji ve planlama stratejileri [89, 90], gürültü ve atmosferik kirlilik [91] gibi parametreler de önem taşımaktadır. Bina ölçeğinde tanımlanan parametreler binaların tasarım aşamasında kullanışlıdır ve tasarımcıların bina kabuğunun termal özellikleri, açıklıkların konfigürasyonu, güneş ve iç ısı kazancı gibi bina parametrelerinin doğal havalandırma potansiyeli üzerindeki etkileşimli etkisini bulmalarını sağlar. Bu parametrelerin etkisi genellikle sayısal [57, 92] ve/veya deneysel yöntemler [93] kullanılarak araştırılmıştır.

- Havanın sıcaklığı ve nemi
İndisler: CPNV, CCP, NVH,
CPENV ve TCPNV
- Ortamın hava kirliliği
- Kentsel morfoloji ve
planlama
- Gürültü kirliliği
- Bina zarfının ısı özellikleri
- Açıklık tasarımı
- Güneş ve iç ısı kazanımı
İndisler: NVE, VPI, SNVH,
NVCE ve CPUR



Şekil 3. Doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi için kullanılan ölçekler [85]

Tüm bu ölçütler kapsamında doğal havalandırma potansiyelini incelemek için birçok indis önerilmiştir. Ancak; iklimin doğal havalandırma potansiyeli üzerindeki etkisini araştırmak ilk adım olmalıdır. Yoon vd. [94] tarafından yapılan çalışmada doğal havalandırma potansiyeli metriklerinin kapsamlı bir incelemesi sunulmuştur. Bu çalışmada ise tüm metrikler Tablo 2'de derlenmiştir.

Tablo 2. Doğal havalandırma potansiyelini belirlemek için kullanılan metrikler.

Metrik	Formülasyon	Açıklamalar
Hacimsel Hava Debisi - V_{bz}	$\dot{V} = V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z$	bkz. Bölüm 4.1
Saat başına hava değişimi – ACH [95–98]	$ACH = \frac{3600 (s)\dot{V}}{vol}$	\dot{V} = hava debisi (m ³ /s), vol = odanın hacmi (m ³)
Saat başına hava değişimi – ACH (Tracer-Gas Decay Yöntemi) [70, 99]	$ACH = 3600 \ln \frac{C_0}{C_r} \frac{1}{\tau}$	C_0 = başlangıçtaki CO ₂ konsantrasyonu, C_r = τ zamanındaki CO ₂ konsantrasyonu

Doğal
Havalandırma
için İklim
Potansiyeli⁶¹ -
CPNV
[87]

$$CPNV = \frac{\sum_{i=1}^n h_{NV,i}}{h_{tot}}$$

ya da

$$CPNV = \left(\frac{1}{h_{tot}} \sum_{d=d_s}^{d_f} \sum_{i=i_s}^{i_f} h_{NV,d,i} \right) \times 100$$

$$h_{NV,d,i} = \begin{cases} 1, & T_{l,j} \leq T_{o,d,i} \leq T_{u,j} \text{ ve } BN_l \leq BN_{o,d,i} \leq BN_u \\ 0, & \text{Diğer} \end{cases}$$

Alt ve üst sıcaklık kriterleri ASHRAE Std. 55'in uyarlanabilir modeli ile belirlenmiştir, ancak CEN Standardı EN 15251 gibi diğer uyarlanabilir modellerin de kullanılabileceğini belirtilmiştir. Maksimum ve minimum nem oranları %30 ve %70 bağıl nem oranlarına göre belirlenmiştir. h_{tot} = bir yıldaki toplam saat sayısı $h_{NV,i}$ = yılın i. saatindeki iklim koşulları ısı kriterleri sağlıyorsa 1, sağlamıyorsa 0. $h_{NV,d,i}$ = yılın d. gününün i. saati i_s = başlangıç zamanı i_f = bitiş zamanı d_s = başlangıç günü d_f = bitiş günü T = sıcaklık BN = nem oranı l = alt limit u = üst limit o = dış ortam $T_{u,j}$ = $0,31(T_{m,j}) + 21,3$ $T_{l,j}$ = $0,31(T_{m,j}) + 14,3$ $T_{m,j}$ = aylık ortalama dış ortam kuru hava sıcaklığı ($j = 1, \dots, 12$).

Basınç Farkı
Pascal Saatleri⁶²
- PDPH
[100]

$$PDPH = 1hr^* \sum_{hours} (\Delta P_{eff} - \Delta P_R)$$

$\Delta P_{eff} - \Delta P_R > 0$ koşulunda geçerlidir. ΔP_{eff} = Efektif basınç farkı

⁶¹ Doğal Havalandırma için İklim Potansiyeli: Climate Potential for Natural Ventilation (CPNV)

⁶² Basınç Farkı Pascal Saatleri: Pressure Difference Pascal Hours (PDPH)

		<p>$\Delta P_R =$ Gerekli efektif basınç farkı, ASHRAE Standart 62.2P'deki minimum gerekliliklere göre olası iç yükler ihmal edilerek belirlenmiştir.</p>
<p>İklim Soğutma Potansiyeli⁶³ - CCP [87]</p>	$CCP = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{h=h_i}^{h_f} m_{n,h} (T_{b,n,h} - T_{e,n,h})$	<p>$h =$ saat ($h = 0, \dots, 23$) $h_i =$ gece havalandırmasının başlangıç saati $h_f =$ gece havalandırmasının bitiş saati $T_b =$ bina sıcaklığı $T_e =$ dış sıcaklık $\Delta T_{crit} =$ gece havalandırması için kritik sıcaklık farkı $T_b - T_e \geq \Delta T_{crit}$ durumunda $m = 1 \text{ hr}$ $T_b - T_e < \Delta T_{crit}$ durumunda $m = 0$</p>
<p>Havalandırma Performans Göstergesi⁶⁴ - VPI [101]</p>	$VPI = \sqrt{\frac{Q^2}{g'H^5}}$	<p>$Q =$ odaya giren hacimsel hava debisi (m³/s) $g' = g\beta(T - T_0)$ $g =$ yer çekimi ivmesi (m/s²) $\beta =$ ısı genleşme katsayısı $T =$ iç ortam sıcaklığı $T_0 =$ dış ortam sıcaklığı $H =$ Katın yüksekliği (m)</p>
<p>Doğal Havalandırma Etkinliği⁶⁵ - NVE [102]</p>	$NVE = \frac{\sum \alpha}{n}$	<p>$ACH_{avail} \geq ACH_{req}$ ise $\alpha = 1$ $ACH_{req} = 0$ ise $\alpha = 1$ Diğer durumlarda $\alpha = \frac{ACH_{avail}}{ACH_{req}}$ $ACH_{avail} =$ açıklıklar aracılığıyla sağlanacak saat başına mevcut hava değişimi</p>

⁶³ İklim Soğutma Potansiyeli: Climate Cooling Potential (CCP)

⁶⁴ Havalandırma Performans Göstergesi: Ventilation Performance Indicator (VPI)

⁶⁵ Doğal Havalandırma Etkinliği: Natural Ventilation Effectiveness (NVE)

<p>Doğal Havalandırma Soğutma Etkinliği⁶⁶ - NVCE [94]</p>	$NVCE_{ts} = \frac{q_{avail}}{q_{req}}$ $NVCE = \frac{\sum_{n_{ts}} NVCE_{ts}}{n_{ts}}$	<p>ACH_{req} = saat başına gerekli hava değişimi n = saat sayısı Kararlı durum için geçerlidir.</p> <p>q_{avail} = doğal havalandırma yoluyla mevcut soğutma gücü q_{req} = iç ortam sıcaklığını arzu edilen bir sıcaklığa getirecek gerekli soğutma gücü ts = time step n_{ts} = benzetim döneminin zaman adımı sayısıdır; bir zaman adımı bir saat ve benzetim dönemi bir yıl ise bu sayı 8760'tır.</p>
<p>İklim Potansiyeli Kullanım Oranı⁶⁷ - CPUR [94]</p>	$CPUR = \frac{NVCE}{CPNV}$	<p>ASHRAE Standart 55, çalışma sıcaklığının 25°C'den yüksek olması durumunda hava hızına bağlı adaptif termal konforun üst kabul edilebilirlik sınırında bir artışa izin vermektedir. Binalardaki ortalama hava hızı 1,2 m/s olduğunda üst kabul edilebilirlik sınırı 2,2°C'ye kadar yükseltilebilir. Bu artış, doğal havalandırmanın iklimsel potansiyelini genişletebilir. Tavan vantilatörleri veya pasif stratejiler gibi bazı düşük enerjili cihazların</p>

<p>Genişletilmiş Doğal Havalandırmanın İklimsel Potansiyeli⁶⁸ - CPENV [85]</p>	$CPENV = \left(\frac{1}{h_{tot}} \sum_{d=d_s}^{d_f} \sum_{i=i_s}^{i_f} h_{ENV,d,i} \right) \times 100$ $= \begin{cases} 1, & T_{u,j} \leq T_{o,d,i} \leq (T_{u,j} + \Delta T) \text{ ve } BN_l \leq BN_{o,d,i} \leq BN_u \\ 0, & \text{Diğer} \end{cases}$	<p>ASHRAE Standart 55, çalışma sıcaklığının 25°C'den yüksek olması durumunda hava hızına bağlı adaptif termal konforun üst kabul edilebilirlik sınırında bir artışa izin vermektedir. Binalardaki ortalama hava hızı 1,2 m/s olduğunda üst kabul edilebilirlik sınırı 2,2°C'ye kadar yükseltilebilir. Bu artış, doğal havalandırmanın iklimsel potansiyelini genişletebilir. Tavan vantilatörleri veya pasif stratejiler gibi bazı düşük enerjili cihazların</p>
---	---	--

⁶⁶ Doğal Havalandırma Soğutma Etkinliği: Natural Ventilation Cooling Effectiveness (NVCE)

⁶⁷ İklim Potansiyeli Kullanım Oranı: Climate Potential Utilization Rate (CPUR)

⁶⁸ Genişletilmiş Doğal Havalandırmanın İklimsel Potansiyeli: Climatic Potential of Extended Natural Ventilation (CPENV)

kullanımıyla, iç mekân hava hızı gerekli seviyeye ulaşabilir ve DH hala soğutma amacıyla kullanılabilir.
 $h_{ENV,d,i}$ = yılın i. saati
 $\Delta T = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

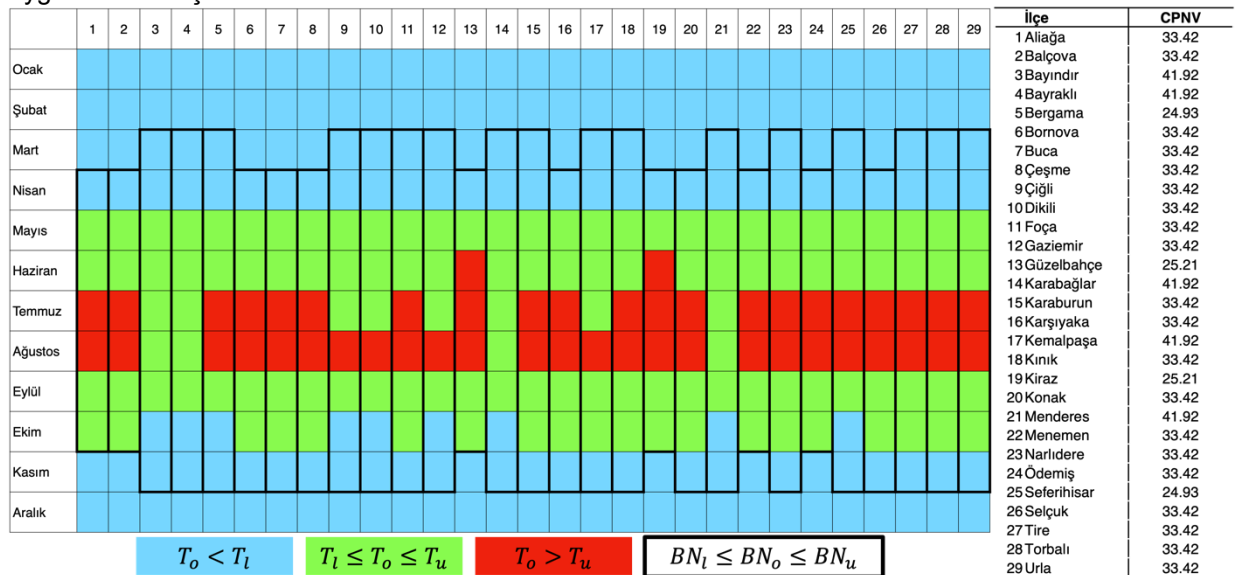
Doğal
 Havalandırmanın
 Toplam İklimsel
 Potansiyeli⁶⁹ –
 TCPNV [85]

$$TCPNV = CPNV + CPENV$$

7. İZMİR İLİ İÇİN İKLİMSEL DOĞAL HAVALANDIRMA POTANSİYELİ

İzmir için iklimsel doğal havalandırma potansiyeli (CPNV) yerel olarak Beydağ ilçesi hariç (güvenilir meteorolojik veri bulunmamıştır) tüm ilçeler için incelenmiştir. CPNV kullanılarak araştırılan doğal havalandırma potansiyeli kapsamında dış ortam kuru termometre sıcaklığı [103], dış ortam sıcaklığı ve dış ortam bağıl nemi [104] aylık ortalama olarak hesaba katılmıştır. Doğal havalandırmanın iklimsel olarak uygunluğu tüm ilçeler için Şekil 4'te sunulmuştur.

Şekil 4'te mavi bölgeler dış ortam sıcaklığının konfor sıcaklığından düşük olduğu ayları, yeşil bölgeler doğal havalandırma için uygun olan ayları ve kırmızı bölgeler ise doğal havalandırmanın yüksek dış ortam sıcaklığı nedeniyle uygun olmadığı durumları göstermektedir. Kalın kenarlar ile ifade edilen bölgeler ise bağıl nem açısından uygun olan ayları ifade etmektedir. Her ne kadar bağıl nem çoğu ay için doğal havalandırmaya uygun olsa da sıcaklık farkı doğal havalandırma potansiyelini belirleyen etken olmuştur. Genellikle Kasım-Nisan ayları arasında düşük dış ortam sıcaklığı nedeniyle doğal havalandırma uygun gözüküyor olsa da mahalin ısı yükü de göz önünde bulundurulduğunda bu aylarda yine doğal havalandırma potansiyeli tekrar değerlendirilebilir. Yeşil bölgeler için de ısı yüküne bağlı olarak soğutma gerekebileceğinden kırmızıya dönüşme ihtimali dikkate alınmalıdır. Bayındır, Bayraklı, Karabağlar ve Menderes gibi rakımı yüksek olan bölgelerde doğal havalandırma yaz ayları için uygun bulunmuştur.

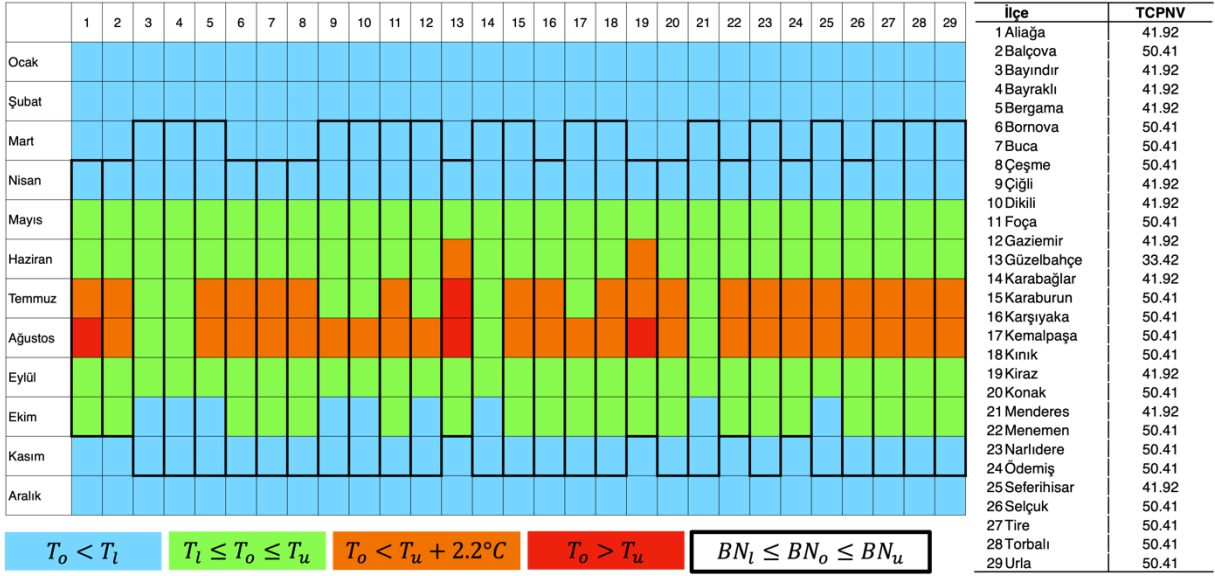


Şekil 4. İzmir için yerel doğal havalandırma potansiyeli ve CPNV değerleri

⁶⁹ Doğal Havalandırmanın Toplam İklimsel Potansiyeli: Total Climatic Potential (TCPNV)

ASHRAE Standart 55, çalışma sıcaklığının 25°C'den yüksek olması durumunda ortalama hava hızı 1,2 m/s olduğunda adaptif termal konforun üst kabul edilebilirlik sınırında 2,2°C'ye kadar bir artışa izin vermektedir. Bu artış, doğal havalandırmanın iklimsel potansiyelini genişletebilir ve Bamdad vd. [85] bu kapsamda Genişletilmiş Doğal Havalandırmanın İklimsel Potansiyeli (CPENV)'yi önermişlerdir. CPNV ve CPENV'nin toplamı ise Doğal Havalandırmanın Toplam İklimsel Potansiyeli (TCPNV)'ni vermektedir (Tablo 2). Kırmızı ile gösterilen aylar TCPNV kapsamında tekrar değerlendirildiğinde ise genellikle yaz aylarının doğal havalandırma için uygun olduğu görülmektedir (Şekil 5).

Mevcut binalarda yaz aylarında tavan vantilatörleri gibi bazı düşük enerjili cihazlar veya pasif stratejilerin kullanımıyla, iç mekân hava hızı gerekli seviyeye ulaşabilir ve doğal havalandırma hala soğutma amacıyla kullanılabilir. Bu kapsamda TCPNV değerlendirildiğinde (turuncu alanlar) ise İzmir'de birçok bölgede yaz ayları (özellikle Temmuz ve Ağustos) için de doğal havalandırma uygun bulunmuştur (Şekil 6).

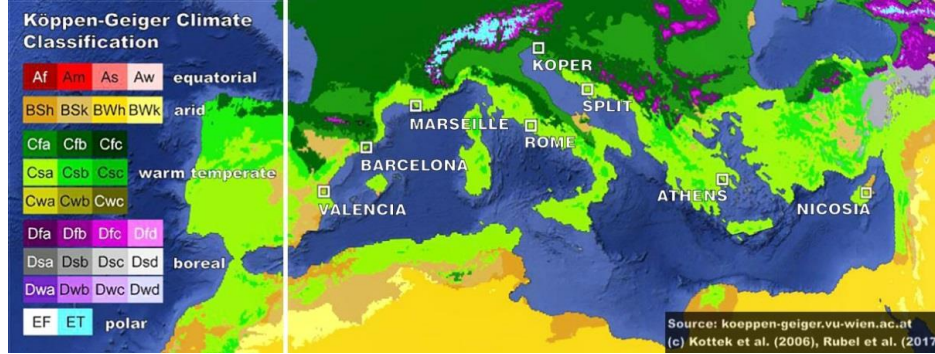


Şekil 5. İzmir için yerel doğal havalandırma potansiyeli ve TCPNV değerleri



Şekil 6. İzmir için Temmuz ve Ağustos aylarında CPNV ve TCPNV değerleri ([105] kullanılarak haritalar oluşturulmuştur) Renk ölçeği Şekil 5 ile aynıdır.

Güncellenmiş Köppen-Geiger iklim sınıflandırması dünya haritası [106] incelendiğinde, kuzey Akdeniz kıyı şeridi boyunca en çok dört iklim tipinin temsil edildiği görülmektedir: "Csa" (sıcak-yaz Akdeniz iklimi); "Cfa" (nemli subtropikal iklim); "Bsh" (sıcak yarı-kurak iklim); ve "Bsk" (soğuk yarı-kurak iklim) (Şekil 7). "Csa" Akdeniz bölgesindeki tipik iklimdir, "Bsh" tipi İberya kıyı şeridi boyunca izole edilmiş alanları ve Kıbrıs'ın büyük bir bölümünü kapsarken, iç kesimlerdeki hava koşullarından etkilenen kısımlar "Bsk" tipi olarak tanımlanmaktadır. Kıyı şeridi boyunca ağırlıklı olarak kıtasal ve alçak dağlık alanlar "Cfa" olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında Csa iklim tipine sahip İzmir ili için doğal havalandırma potansiyeli (CPNV) yedi AB ülkesindeki sekiz coğrafi konum ile karşılaştırılmıştır, bunların başlıcaları büyük bölgesel liman şehirleridir: Valensiya (İspanya), Barselona (İspanya), Marsilya (Fransa), Roma (İtalya), Koper (Slovenya), Split (Hırvatistan), Atina (Yunanistan) ve Lefkoşa (Kıbrıs). Çalışma sonuçları Akdeniz iklimine sahip diğer şehirler ile kıyaslandığında ise İzmir'in iklimsel doğal havalandırma potansiyelinin biraz daha düşük olduğu gözükmemektedir (Tablo 3).



Şekil 7. Akdeniz Bölgesi İklim Tipleri [106, 107]

Tablo 3. İzmir ili için CPNV değerinin diğer şehirler ile karşılaştırılması

	İzmir	Valensiya	Barselona	Marsilya	Roma	Koper	Split	Atina	Lefkoşa
CPNV	41.92	60	50	65	55	54	66	71	64

SONUÇ

Bu çalışmada doğal havalandırma sistemlerinin İzmir'deki konutlar için uygunluğu araştırılmıştır. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır:

- Literatür taraması: Temel doğal havalandırma yöntemleri ve bina çevre etkileşimi kapsamında akademik literatür verilerinin sunulması, yürürlükteki yerel ve uluslararası standartların doğal havalandırma için önerdiği kuralların derlenmesi, doğal havalandırma debisinin ve bir binanın doğal havalandırma potansiyelinin belirlenmesi için literatürde önerilen yaklaşımların sunulması;
- İzmir'in doğal havalandırma potansiyeli mevsimsel ve ilçe bazında değerlendirilmesi.

Doğal havalandırmada rüzgârın yönü ve şiddetinin yanında bina ve çevre arasındaki etkileşim de büyük önem taşıdığından her binanın doğal havalandırma tasarımı kendine özgü bir mühendislik problemi olarak ele alınmalıdır.

İklim özellikleri açısından İzmir'in doğal havalandırma potansiyeli incelendiğinde ise bağıl nem ve sıcaklıklar açısından doğal havalandırmanın kış aylarında düşük sıcaklıklar nedeniyle hiçbir ilçe için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Havanın ısındığı ve bağıl nemin de uygun olduğu bahar aylarında CPNV açısından doğal havalandırma çoğu ilçe için elverişlidir. Yaz aylarındaki (özellikle Temmuz ve Ağustos) yüksek sıcaklık nedeniyle CPNV açısından uygun olmayan doğal havalandırma koşulları, ASHRAE Standart 55 şartları kapsamında adaptif termal konforun üst kabul edilebilirlik sınırının 2,2°C artırılmasıyla TCPNV indisi ile değerlendirilmiş ve birçok ilçe için uygun bulunmuştur. İzmir aynı zamanda aynı iklim özelliklerine sahip yedi AB ülkesindeki sekiz şehir arasında doğal havalandırma için en düşük uygunluk oranına sahip olarak bulunmuştur. Ancak tüm bu değerlendirmeler sadece iklim verilerine göre yapılan değerlendirme kapsamında elde edilen sonuçlardır. Konut içerisindeki ısı yükünün hesaba katılması halinde, kış aylarında uygun gözükmeyen doğal havalandırmaya ihtiyaç

duyulabilirken, elverişli olarak bulunan bahar ve yaz aylarında ise doğal havalandırmanın yetersiz kalabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Doğal havalandırma yapılabilmesi için iklimsel uygunluğun yanında, dış havanın Bölüm 1'de ayrıntılı şekilde aktarılan kirleticilerden arınmış olması ve istenilen miktarda taze havanın iç ortama girebilmesi için gerekli akış koşullarının sağlanması da zorunluluktur.

Teşekkür

Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunu kurarak, bu çalışmanın da dahil olduğu projeleri destekleyen Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesine çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- [1]. JIANG, Z., vd. "A literature review of cross ventilation in buildings". *Energy and Buildings*, 113143, 2023.
- [2]. LINDEN, P.F. "The fluid mechanics of natural ventilation". *Annual review of fluid mechanics*, 31(1), 201–238, 1999.
- [3]. ZHONG, H.-Y., vd. "Single-sided natural ventilation in buildings: a critical literature review". *Building and Environment*, 212, 108797, 2022.
- [4]. da GRAÇA, G.C. ve LINDEN, P. "Ten questions about natural ventilation of non-domestic buildings". *Building and Environment*, 107, 263–273, 2016.
- [5]. HOMOD, R.Z. ve SAHARI, K.S.M. "Energy savings by smart utilization of mechanical and natural ventilation for hybrid residential building model in passive climate". *Energy and Buildings*, 60, 310–329, 2013.
- [6]. OROPEZA-PEREZ, I. ve ØSTERGAARD, P.A. "Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions—A case study of Mexico". *Applied energy*, 130, 20–32, 2014.
- [7]. SALCIDO, J.C., vd. "From simulation to monitoring: Evaluating the potential of mixed-mode ventilation (MMV) systems for integrating natural ventilation in office buildings through a comprehensive literature review". *Energy and Buildings*, 127, 1008–1018, 2016.
- [8]. CHEN, Y., vd. "Achieving natural ventilation potential in practice: Control schemes and levels of automation". *Applied energy*, 235, 1141–1152, 2019.
- [9]. PARK, B. ve LEE, S. "Investigation of the energy saving efficiency of a natural ventilation strategy in a multistory school building". *Energies*, 13(7), 1746, 2020.
- [10]. BAMDAD, K., vd. "Impact of climate change on energy saving potentials of natural ventilation and ceiling fans in mixed-mode buildings". *Building and Environment*, 209, 108662, 2022.
- [11]. CHEN, Y. vd. "Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations". *Building and Environment*, 122, 386–396, 2017.
- [12]. NICOL, J.F. ve HUMPHREYS, M.A. "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings". *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572, 2002.
- [13]. WAGNER, A., vd. "Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—Results of field studies in German low energy office buildings". *Energy and Buildings*, 39(7), 758–769, 2007.
- [14]. de DEAR, R. vd. "A review of adaptive thermal comfort research since 1998". *Energy and Buildings*, 214, 109893, 2020.
- [15]. CARLUCCI, S. vd. "Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents". *Building and Environment*, 137, 73–89, 2018.
- [16]. ESCOMBE, A.R., vd. "Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion". *PLOS Medicine*, 4(2), e68, 2007.
- [17]. ALLEN, J.G., vd. "Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments". *Environmental Health Perspectives*, 124(6), 805–812, 2016.
- [18]. LIPCZYNSKA, A. vd. "Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics". *Building and Environment*, 135, 202–212, 2018.
- [19]. KAUSHIK, A., vd. "Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis". *Building and Environment*, 180, 107021, 2020.

- [20]. GILANI, S. ve O'BRIEN, W. "Natural ventilation usability under climate change in Canada and the United States". *Building Research & Information*, 49(4), 367–386, 2021.
- [21]. JI, W. vd. "The trend of natural ventilation potential in 74 Chinese cities from 2014 to 2019: Impact of air pollution and climate change". *Building and Environment*, 218, 109146, 2022.
- [22]. LOMAS, K.J. ve JI, Y. "Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: Advanced natural ventilation and hospital wards". *Energy and Buildings*, 41(6), 629–653, 2009.
- [23]. HEISELBERG, P. "Principles of hybrid ventilation". 2002.
- [24]. CHIESA, G., vd. "Innovations in Ventilative Cooling", Springer, 2021.
- [25]. LEDO GOMIS, L., vd. "Potential and practical management of hybrid ventilation in buildings". *Energy and Buildings*, 231, 110597, 2021.
- [26]. ZHAI, Z. J., vd. "Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations". *Energy and Buildings*, 43(9), 2251–2261, 2011.
- [27]. LI, Y. ve HEISELBERG, P. "Analysis Methods for Natural and Hybrid Ventilation - a Critical Literature Review and Recent Developments". *International Journal of Ventilation*, 1(4), 3–20, 2003.
- [28]. SEIFERT, J., vd. "Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(12), 925–947, 2006.
- [29]. REN, X.-H., vd. "Thermal driven natural convective flows inside the solar chimney flush-mounted with discrete heating sources: Reversal and cooperative flow dynamics". *Renewable Energy*, 138, 354–367, 2019.
- [30]. ALLOCCA, C., vd. "Design analysis of single-sided natural ventilation". *Energy and Buildings*, 35(8), 785–795, 2003.
- [31]. AI, Z.T. ve MAK, C.M. "Analysis of fluctuating characteristics of wind-induced airflow through a single opening using LES modeling and the tracer gas technique". *Building and environment*, 80, 249–258, 2014.
- [32]. COCKROFT, J.P. ve ROBERTSON, P. "Ventilation of an enclosure through a single opening". *Building and Environment*, 11(1), 29–35, 1976.
- [33]. MOKHTARZADEH-DEHGHAN, M.R., vd. "Transfer rates in single-sided ventilation". *Building and Environment*, 25(2), 155–161, 1990.
- [34]. PARK, J., vd. "Effect of wind and buoyancy interaction on single-sided ventilation in a building". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 171, 380–389, 2017.
- [35]. WANG, J., vd. "Numerical investigation of single-sided natural ventilation driven by buoyancy and wind through variable window configurations". *Energy and Buildings*, 168, 147–164, 2018.
- [36]. WANG, J., vd. "Numerical investigation of gaseous pollutant cross-transmission for single-sided natural ventilation driven by buoyancy and wind". *Building and Environment*, 172, 106705, 2020.
- [37]. MALINOWSKI, H.K. "Wind effect on the air movement inside buildings". 1971.
- [38]. DAISH, N.C., vd. "Impact of aperture separation on wind-driven single-sided natural ventilation". *Building and Environment*, 108, 122–134, 2016.
- [39]. CHU, C.R., vd. "A laboratory experiment of shear-induced natural ventilation". *Energy and Buildings*, 43(10), 2631–2637, 2011.
- [40]. SUN, X., vd. "Uncertainty quantification of upstream wind effects on single-sided ventilation in a building using generalized polynomial chaos method". *Building and Environment*, 125, 153–167, 2017.
- [41]. MA, X.-Y., vd. "Full Numerical Investigations on the Wind Driven Natural Ventilation: Cross Ventilation and Single-sided Ventilation". *Procedia Engineering*, 205, 3797–3803, 2017.
- [42]. WANG, H. ve QINGYAN, C. "A new empirical model for predicting single-sided, wind-driven natural ventilation in buildings". *Energy and Buildings*, 54, 386–394, 2012.
- [43]. LARSEN, T.S. "Single-sided natural ventilation driven by wind pressure and temperature difference". *Energy and Buildings*, 40(6), 1031–1040, 2008.
- [44]. KING, M.F., vd. "Investigating the influence of neighbouring structures on natural ventilation potential of a full-scale cubical building using time-dependent CFD". *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 169, 265–279, 2017.
- [45]. ZHANG, B., vd. "Turbulence-induced ventilation of an isolated building: Ventilation route identification using spectral proper orthogonal decomposition". *Building and Environment*, 223, 109471, 2022.
- [46]. PARK, J. S. "Long-term field measurement on effects of wind speed and directional fluctuation on wind-driven cross ventilation in a mock-up building". *Building and Environment*, 62, 1–8, 2013.
- [47]. HAGHIGHAT, F., vd. "The influence of turbulent wind on air change rates—a modelling approach". *Building and Environment*, 26(2), 95–109, 1991.
- [48]. EL TELBANY, M. M. M., vd. "Single-sided ventilation — Part II. further considerations". *Building*

- and Environment, 20(1), 25–32, 1985.
- [49]. GAN, G. "Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation". Energy and Buildings, 31(1), 65–73, 2000.
- [50]. FAVAROLO, P.A. ve MANZ, H. "Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening". Building and Environment, 40(5), 689–699, 2005.
- [51]. ZHONG, H.Y., vd. "Wind-driven pumping flow ventilation of highrise buildings: Effects of upstream building arrangements and opening area ratios". The Science of the total environment, 722, 137924, 2020.
- [52]. ZHANG, X., vd. "Cross-ventilation of a generic building with various configurations of external and internal openings". Building and Environment, 207, 108447, 2022.
- [53]. ALBUQUERQUE, D.P., vd. "Experimental and numerical investigation of pumping ventilation on the leeward side of a cubic building". Building and Environment, 179, 106897, 2020.
- [54]. HAWENDI, S. ve GAO, S. "Impact of windward inlet-opening positions on fluctuation characteristics of wind-driven natural cross ventilation in an isolated house using LES". International Journal of Ventilation, 17(2), 93–119, 2018.
- [55]. WANG, H. ve QINGYAN, C. "Modeling of the Impact of different Window Types on Single-sided Natural Ventilation". Energy Procedia, 78, 1549–1555, 2015.
- [56]. SHETABIVASH, H. "Investigation of opening position and shape on the natural cross ventilation". Energy and Buildings, 93, 1–15, 2015.
- [57]. IZADYAR, N., vd. "A numerical investigation of balcony geometry impact on single-sided natural ventilation and thermal comfort". Building and Environment, 177, 106847, 2020.
- [58]. GHADIKOLAEI, F.M., vd. "Effects of wing wall at the balcony on the natural ventilation performance in medium-rise residential buildings". Journal of Building Engineering, 31, 101316, 2020.
- [59]. ARINAMI, Y., vd. "Performance evaluation of single-sided natural ventilation for generic building using large-eddy simulations: Effect of guide vanes and adjacent obstacles". Building and Environment, 154, 68–80, 2019.
- [60]. GIANNISSI, S.G., vd. "Mitigation of buoyant gas releases in single-vented enclosure exposed to wind: Removing the disrupting wind effect". International Journal of Hydrogen Energy, 41(6), 4060–4071, 2016.
- [61]. GOUGH, H.L., vd. "Evaluating single-sided natural ventilation models against full-scale idealised measurements: Impact of wind direction and turbulence". Building and Environment, 170, 106556, 2020.
- [62]. MARZBAN, S., vd. "An Evolutionary Approach to Single-sided Ventilated Façade Design". Procedia Engineering, 180, 582–590, 2017.
- [63]. SYRIOS, K. ve GARY R. H. "Passive air exchanges between building and urban canyon via openings in a single façade". International Journal of Heat and Fluid Flow, 29(1), 364–373, 2008.
- [64]. KU, C.-A. ve TSAI, H.-K. "Evaluating the Influence of Urban Morphology on Urban Wind Environment Based on Computational Fluid Dynamics Simulation". ISPRS International Journal of Geo-Information, 9(6), 399, 2020.
- [65]. DIMITROULOPOULOU, C. "Ventilation in European dwellings: A review". Building and Environment, 47, 109–125, 2012.
- [66]. SAS-WRIGHT, T. ve CLARK, J.D. "Numerical assessment of indoor air quality in spaces in the United States designed with the ASHRAE 62.1–2019 Natural Ventilation Procedure". Building and Environment, 243, 110671, 2023.
- [67]. REMION, G., vd. "Review of tracer gas-based methods for the characterization of natural ventilation performance: Comparative analysis of their accuracy". Building and Environment, 160, 106180, 2019.
- [68]. WULLENS, S. Étude numérique de la ventilation naturelle, mise en oeuvre d'un modèle fin dans une simulation de thermique du bâtiment, 2015.
- [69]. OMRANI, S., vd. "Natural ventilation in multi-storey buildings: Design process and review of evaluation tools". Building and Environment, 116, 182–194, 2017.
- [70]. BELLERI, A., vd. "Natural ventilation design: An analysis of predicted and measured performance". Building and Environment, 81, 123–138, 2014.
- [71]. LARSEN, T.S. "Natural ventilation driven by wind and temperature difference". 2006.
- [72]. CACIOLO, M., vd. "Development of a new correlation for single-sided natural ventilation adapted to leeward conditions". Energy and Buildings, 60, 372–382, 2013.
- [73]. LARSEN, T.S., vd. "Calculation methods for single-sided natural ventilation: Now and ahead". Energy and Buildings, 177, 279–289, 2018.
- [74]. da GRAÇA, G. C. "A technical note on simplified modeling of turbulent mixing in wind-driven

- single sided ventilation". *Building and Environment*, 131, 12–15, 2018.
- [75]. ZHAI, Z. J., vd. "Review of natural ventilation models". *Energy Procedia*, 78, 2700–2705, 2015.
- [76]. van HOOFF, T., vd. "On the accuracy of CFD simulations of cross-ventilation flows for a generic isolated building: Comparison of RANS, LES and experiments". *Building and Environment*, 114, 148–165, 2017.
- [77]. ELSHAFEI, G., vd. "Numerical and experimental investigations of the impacts of window parameters on indoor natural ventilation in a residential building". *Energy and Buildings*, 141, 321–332, 2017.
- [78]. BANGALEE, M.Z.I., vd. "Flow visualization, PIV measurement and CFD calculation for fluid-driven natural cross-ventilation in a scale model". *Energy and Buildings*, 66, 306–314, 2013.
- [79]. IKEGAYA, N., vd. "Effect of turbulent flow on wall pressure coefficients of block arrays within urban boundary layer". *Building and Environment*, 100, 28–39, 2016.
- [80]. NIKOLOPOULOS, N., vd. "Experimental and numerical investigation of the tracer gas methodology in the case of a naturally cross-ventilated building". *Building and Environment*, 56, 379–388, 2012.
- [81]. Al, Z.T. ve MAK, C.M. "Determination of single-sided ventilation rates in multistory buildings: Evaluation of methods". *Energy and Buildings*, 69, 292–300, 2014.
- [82]. FREIRE, R.Z., vd. "On the improvement of natural ventilation models". *Energy and Buildings*, 62, 222–229, 2013.
- [83]. WARREN, P.R. "Ventilation through openings on one wall only", *Heat Transfer in Buildings*, Proceedings of ICHMT seminar. Hemisphere. New York, EE. UU, 1977.
- [84]. WOUTERS, P., vd. "Ventilation rates and energy consumption due to open windows: a brief overview of research in the Netherlands". *Air infiltration review*, 4(1), 4–5, 1982.
- [85]. BAMDAD, K., vd. "Introducing extended natural ventilation index for buildings under the present and future changing climates". *Building and Environment*, 226, 109688, 2022.
- [86]. CAUSONE, F. "Climatic potential for natural ventilation". *Architectural Science Review*, 59(3), 212–228, 2015.
- [87]. ARTMANN, N., vd. "Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe". *Applied Energy*, 84(2), 187–201, 2007.
- [88]. UPADHYAY, A.K. "Climate information for building designers: a graphical approach". *Architectural Science Review*, 61(1–2), 58–67, 2018.
- [89]. HSIE, T.-S. ve WARD, I.C. "A GIS-based method for determining natural ventilation potentials and urban morphology", 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, Citeseer, 2006.
- [90]. GERMANO, M., vd. "Potential for natural ventilation in urban context: an assessment method". *Proceedings: Indoor Air*, , 832–835, 2002.
- [91]. GERMANO, M. ve ROULET C.-A. "Multicriteria assessment of natural ventilation potential". *Solar Energy*, 80(4), 393–401, 2006.
- [92]. MATOUR, S., vd. "Double skin façade's energy performance in a mixed-mode office building", *Proceedings of the 2022 Australasian Building Simulation Conference*, Brisbane, Australia, 20–21 July 2022, 2022, , 136–149, .
- [93]. MICHAEL, A., vd. "Natural ventilation for cooling in mediterranean climate: A case study in vernacular architecture of Cyprus". *Energy and Buildings*, 144, 333–345, 2017.
- [94]. YOON, N., vd. "Dynamic metrics of natural ventilation cooling effectiveness for interactive modeling". *Building and Environment*, 180, 106994, 2020.
- [95]. HIYAMA, K. ve GLICKSMAN, L. "Preliminary design method for naturally ventilated buildings using target air change rate and natural ventilation potential maps in the United States". *Energy*, 89, 655–666, 2015.
- [96]. LIU, T. ve LEE, W.L. "Influence of window opening degree on natural ventilation performance of residential buildings in Hong Kong". *Science and Technology for the Built Environment*, 26(1), 28–41, 2019.
- [97]. CHOU, P.-C., vd. "Natural ventilation efficiency in a bedroom with a central-pivoting window". *Indoor and Built Environment*, 17(2), 164–172, 2008.
- [98]. HORAN, J. M. ve FINN, D.P. "Sensitivity of air change rates in a naturally ventilated atrium space subject to variations in external wind speed and direction". *Energy and Buildings*, 40(8), 1577–1585, 2008.
- [99]. JIN, X., vd. "Numerical investigation of particle transport characteristics in an isolated room with single-sided natural ventilation". *Building Simulation*, 9(1), 43–52, 2015.
- [100]. YANG, L., vd. "Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China". *Building and Environment*, 40(6), 738–746, 2005.

- [101] ACRED, A. ve HUNT, G.R. "Stack ventilation in multi-storey atrium buildings: A dimensionless design approach". *Building and Environment*, 72(72), 44–52, 2014.
- [102] YOON, N. ve MALKAWI, A. "Predicting the Effectiveness of Wind-Driven Natural Ventilation Strategy for Interactive Building Design", *Building Simulation Conference Proceedings*, 2017.
- [103] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM - MONTHLY IRRADIATION DATA.
- [104] <https://weatherandclimate.com/turkey/>.
- [105] İzmir Map, paintmaps.com.
- [106] KOTTEK, M., vd. "World map of the Köppen-Geiger climate classification updated". 2006.
- [107] PESIC, N., vd. "Assessment of Advanced Natural Ventilation Space Cooling Potential across Southern European Coastal Region". *Sustainability*, 10(9), 2018.

BÖLÜM 5

KONUTLARDA EGZOZ HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ⁷⁰

Residential Exhaust Ventilation Systems

Ahmetcan Yetiş⁷¹
Ziya Haktan KARADENİZ⁷²

ÖZET

Egzoz havalandırma sistemleri, basit kurulum ve düşük maliyetleri ile günümüz mühendislik pratiğinde özellikle tuvalet, banyo ve mutfaklarda kullanılmaktadır. Standartlarda tüm konutun egzoz havalandırma ile havalandırılması ile ilgili yöntemler önerilmiş olsa da güncel enerji verimliliği ve havalandırma etkinliği ihtiyaçları değerlendirildiğinde başlı başına bir yöntem olarak kullanılması uygun görülmemektedir. Bu bölümde, konutlarda kullanılacak egzoz havalandırma sistemlerinin çalışma prensibi, tasarım yaklaşımları, havalandırma etkinliği ve enerji verimliliği üzerine literatürdeki çalışmalar sunulmuş, yerel ve uluslararası standartların egzoz havalandırma sistemlerine dair belirttikleri esaslar derlenmiştir. Egzoz havalandırma sistemlerinin İzmir için uygulanabilirliği iklim ve hava kalitesi parametreleri üzerinden değerlendirilerek bu sistemlerin kullanım potansiyeli tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Egzoz havalandırma, Konut, İç hava kalitesi

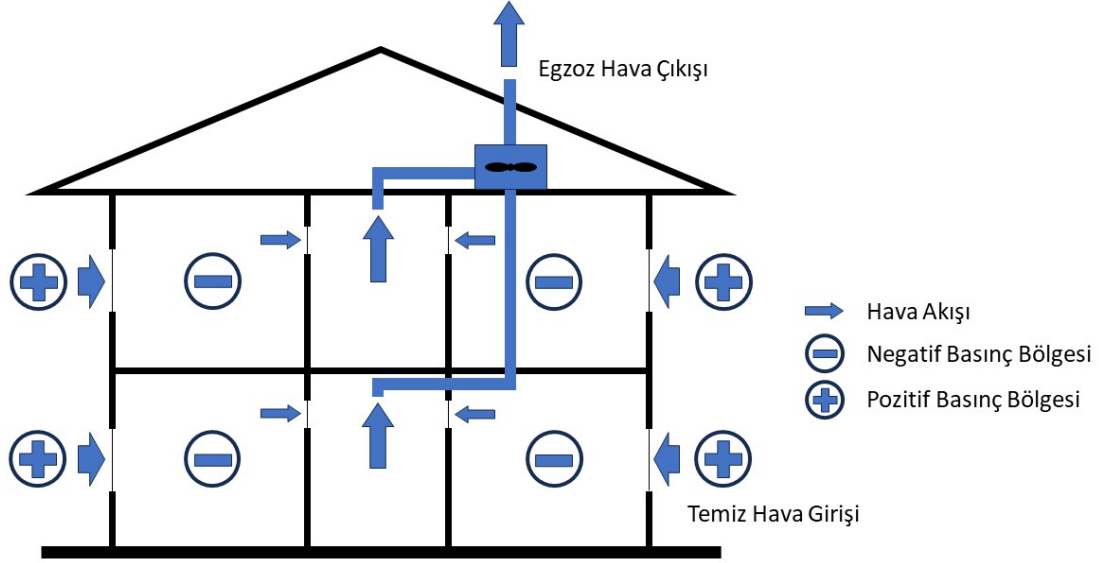
1. KONUTLARDA EGZOZ HAVALANDIRMA

Konut egzoz havalandırma sistemleri, kirli havayı ve kirlenici maddeleri kapalı alanlardan uzaklaştırmak ve sürekli temiz hava akışı sağlamak için tasarlanmıştır. Bu sistemler, enerji tasarruflu ve geçirgenliği düşük yapıların doğal havalandırma eksikliğine yol açabileceği modern evlerde özellikle hayati öneme sahiptir. Egzoz havalandırma sistemleri, havalandırılan mahal ile dış ortam arasında bir negatif basınç farkı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu durum mahaldeki kirli havanın dış ortama tahliye edilmesini sağlamaktadır. Tahliye sonucunda meydana gelen negatif basınç, yapının dış ortama açılan açıklıklarından (kapı, pencere, menfez, panjur vb. havalandırma girişleri gibi) temiz havanın girmesiyle dengelenir. Bu akış ile mahalın havalandırma ihtiyacının kısmen veya tümünden sağlandığı tasarımlar yapmak mümkündür. Şekil 1’de planlanmış ve kontrol edilebilir (ideal) bir egzoz havalandırma sistemi kurulu bir konut için basınç bölgeleri ve konut dışından içeriye ve iç ortamdaki hava akışları temsili olarak gösterilmiştir.

⁷⁰ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun (2023) oluşturduğu “Konut Havalandırma Sistemleri, Havalandırma Etkinliği ve Enerji Verimliliği” adlı 4. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

⁷¹ Yük. Müh., Araş. Gör., Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir, Türkiye

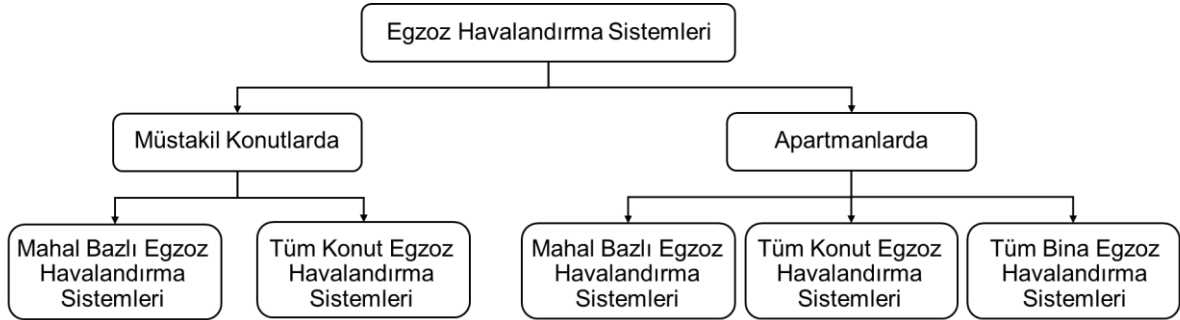
⁷² Doç. Dr., Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir, Türkiye



Şekil 1. İdeal egzoz havalandırma sistemi şeması

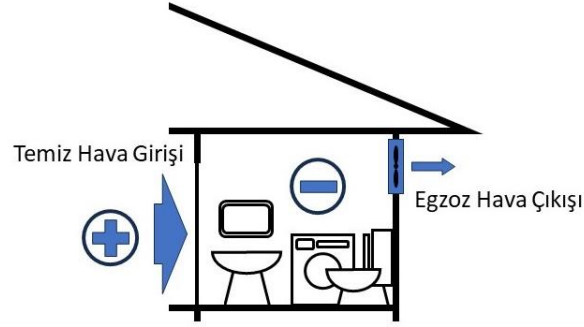
1.1. Konutlarda Egzoz Havalandırma Sistemleri

Egzoz havalandırma sistemleri müstakil tip konutlarda veya apartmanlarda uygulanabilmektedir. İki konut tipinde de ortak olarak mahal bazlı veya tüm konut egzoz havalandırma sistemleri bulunmaktadır. Apartmanlarda birden fazla konutu içerecek şekilde tüm bina egzoz havalandırma sistemi uygulamaları da mevcuttur (Şekil 2).



Şekil 2. Egzoz havalandırma yöntemleri

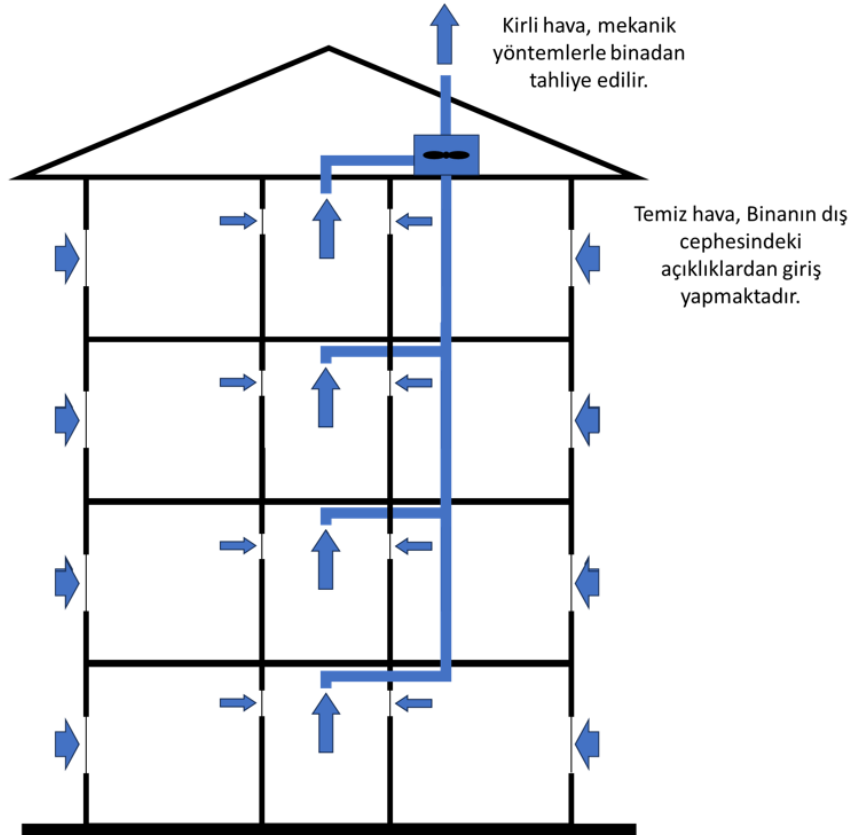
Mahal bazlı egzoz havalandırma sistemleri, tuvalet, banyo ve mutfak gibi odalarda ortaya çıkan kirlenmeleri (koku, su buharı, partikül madde, biyoaerosol) uzaklaştırmak ve konutun diğer bölgelerine yayılmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Tuvalet ve banyolardaki biyoaerosol partikülleri uzaklaştırmak için de kullanılan yaygın bir enfeksiyon, nem ve koku kontrol önlemidir (Şekil 3). Mutfaklarda kirlenme kaynağının kontrolü davlumbazlar yardımıyla sağlanmaktadır. Temiz hava mutfaka, pencerelerden, kapılardan veya diğer hacimlerle arasındaki bağlantılardan girmektedir.



Şekil 3. Tek oda egzoz havalandırma sistemi.

Egzoz havalandırma sistemleri, mutfak, banyo ve tuvalet gibi, kirletici partikül miktarının yüksek olduğu hacimlerde mahal odaklı olarak uygulanabilmesinin yanı sıra, tüm konutun havalandırmasında da kullanılmaktadır. Bu yöntemde, kirli hava konutun belirli noktalarından egzoz fanı yardımıyla atılırken, temiz hava, bina dış açıklıkları; pencereler, kapılar veya duvarlara yerleştirilen menfez, panjur gibi pasif havalandırma ekipmanları, yardımıyla iç ortama alınmaktadır. Havanın konut içerisinde dağılımı ise mahaller arasındaki kanallar, transfer menfezleri veya kapı altı boşluğu gibi iç açıklıklar yardımıyla gerçekleştirilir.

Apartmanlarda, birden çok konutu kapsayacak biçimde tüm bina egzoz havalandırma sistemi de yapılabilmektedir. Bu uygulamalarda apartman boyutuna göre bir veya daha fazla egzoz fan ünitesi, ihtiyaç halinde kanal tesisatı yardımıyla veya iç açıklıklar vasıtasıyla bütün binaya ulaşarak kirli havanın dışarıya atımını gerçekleştirmektedir. Temiz havanın bina içerisine alınması ve dağıtılması, mahal bazlı veya tüm konut egzoz havalandırma sistemlerine benzer olarak, bina dış ve iç açıklıklarından sağlanmaktadır. (Şekil 4).



Şekil 4. Apartmanlarda tüm bina egzoz havalandırma sistemi örneği.

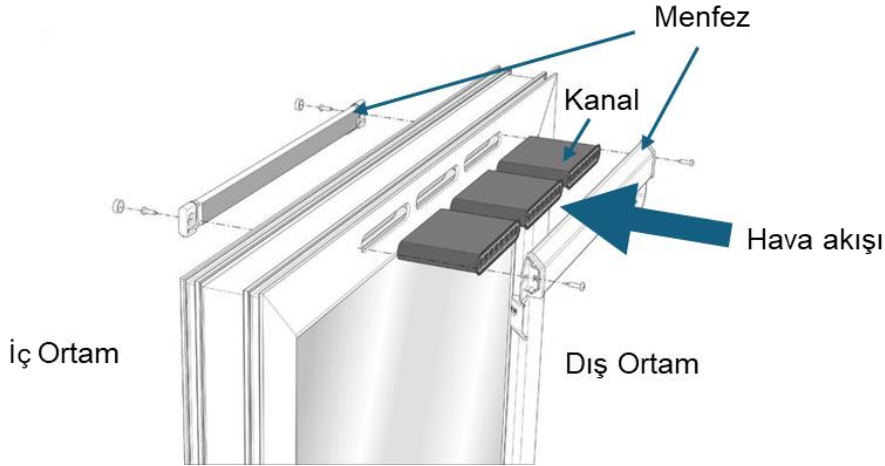
Konut egzoz havalandırma sistemlerinin temel bileşenleri; egzoz fanları, kanal tesisatı ve menfezler şeklinde sıralanabilir.

Egzoz fanı: Kirletici ve nem derişiminin yüksek olduğu mutfak, banyo ve tuvaletlere yerleştirilerek, kirli havanın konutun diğer mahallerine yayılmadan dışarı atılması sağlanır. Çok konutlu yapılarda merkezi havalandırma yapılacaksa, tüm mahallerden atılan havanın toplanarak uzaklaştırılması için çatı arası veya çatı üstü tercih edilmektedir.

Kanal tesisatı: Konut içerisinde bulunan odaların birbirleriyle bağlantısını sağlayıp havanın bina içerisindeki hareketini mümkün hale getirir. Çok katlı ve/veya çok konutlu yapılarda ya da havalandırılacak hacmin dış ortamla arakesitinin olmadığı durumlarda egzoz fanı tarafından çekilen kirli havanın dışarı atılmasında da kullanılır.

Menfezler: Dış menfezler havalandırma sistemini dış etmenlerden (toz, yağmur, haşere vb.) korumakla beraber, konutun estetik bütünlüğünün sağlanması için de gereklidir. Konuttaki odaları birbirine bağlayan açıklıklara veya kanallara yerleştirilen iç menfezlerin hava akışını yönlendirme görevi de vardır.

Bahsedilen temel bileşenlerin yanı sıra, temiz havanın dış ortamdan transferi için pencere tipi slot menfezler kullanılabilir (Şekil 5) [1]. Bu bölümde değinilen pencere tipi slot menfezler, havalandırma sistemine destek sağlamak için kullanılan, fan içermeyen, iç ve dış ortam basınç farkı sayesinde hava aktarımını sağlayan pasif havalandırma ekipmanlarıdır [1]. Basınç kontrolsüz ve basınç kontrollü slot menfezler olmak üzere iki ayrı modeli bulunmaktadır. Slot menfezler sabit bir açıklığa sahip olup yüksek basınç farkında yüksek debi sağlarken, basınç kontrollü slot menfezler, sahip olduğu klape sayesinde yüksek basınç farklarında hava debisini ayarlayabilmektedir [1]. Pencere tipi slot menfezlerde filtre ve susturucu kullanımıyla, dışarıdan içeriye alınan havanın temizlenmesi ve dış ortam seslerinin konut içerisine tesirinin engellenmesi veya azaltılması mümkündür [2, 3].



Şekil 5. Pencere tipi slot menfez [2].

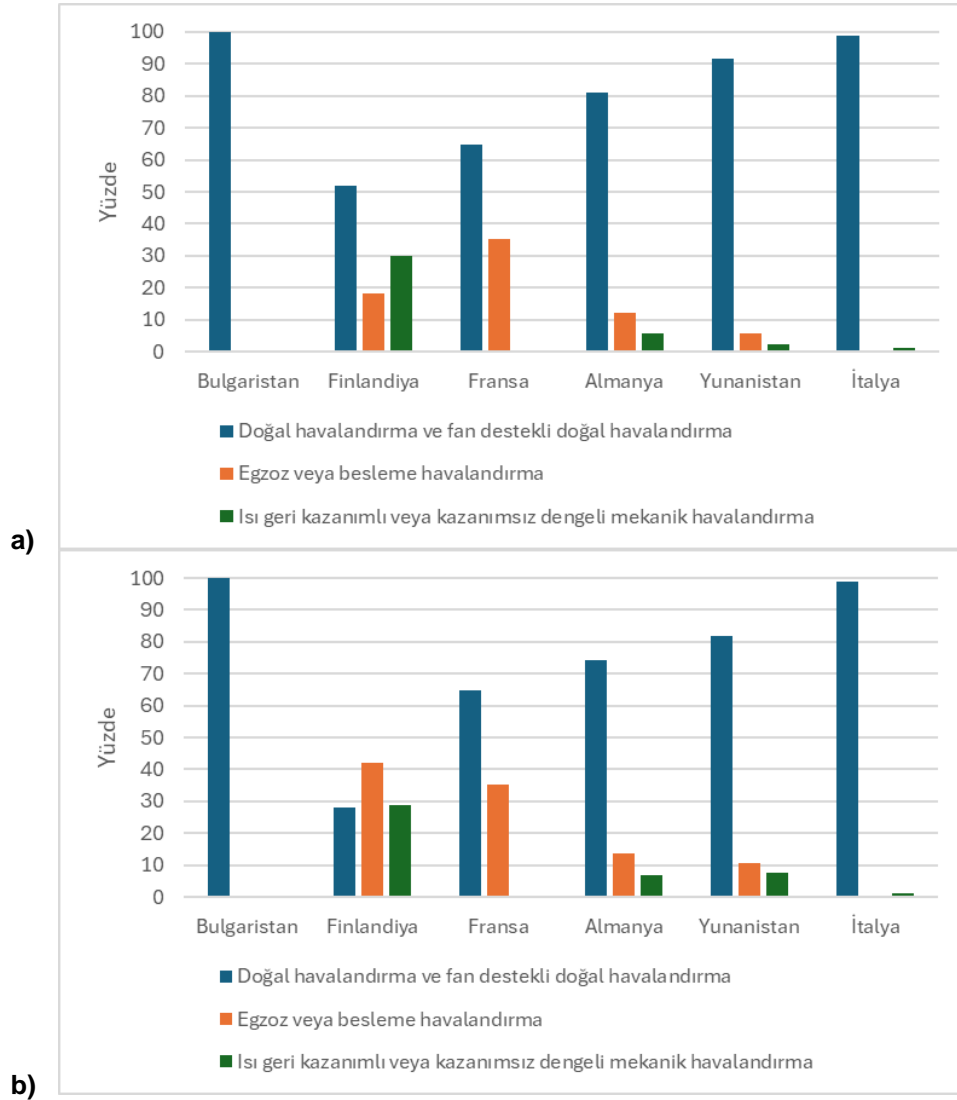
Egzoz havalandırma sistemleri genel olarak kurulumu ve kullanımı kolay, düşük maliyetli sistemlerdir [4]. Sistem bünyesinde karmaşık bir mekanizma içermediğinden, bakım ihtiyacı oldukça azdır. Periyodik fan ve kanal temizliği sistem bakımının temelini oluşturur. Mutfak, banyo gibi ortamlarda biriken nemi, istenmeyen koku, duman ve diğer hava kirleticileri ortamdaki havayı uzaklaştırarak iç hava kalitesini artırır, küf oluşmasını önler. Ancak egzoz havalandırma sistemleri kullanılan konutlarda iç ortam basıncının düşürülmesi pencere, kapı veya havalandırma girişleri gibi bina açıklıklarından hava girişine sebep olmaktadır. Özellikle düşük sızdırmazlığa sahip konutlarda temiz hava girişlerinin kontrolü yetersiz kalmakta ve yeterli iç hava kalitesi sağlanamamaktadır. Bu durumda hava, kirletici derişimi yüksek olabilecek, garaj, çatı katı, bodrum gibi mahallerden konuta girebilir. Yeterli hava girişinin sağlandığı durumlarda, konut dış çevresinde hava kalitesi kötüyse, bina açıklıklarından girecek olan hava, iç hava kalitesini kötüleştirecektir. Binaya giriş yapan hava temiz olsa bile, bina içerisindeki hava akışı doğru yönlendirilmediyse, örneğin hava girişleri bodrum, garaj vb. yerlerden yapıldıysa, havanın bu mahallerdeki kirleticilerle teması, konutun iç hava kalitesini olumsuz etkileyecektir. Besleme havasının binaya nereden ve nasıl geldiği bu sebeplerle büyük önem taşımaktadır [5].

Bununla beraber sadece egzoz havalandırma amacıyla tasarlanmış sistemler, ısı geri kazanım veya nem alma cihazı içermediğinden ısıtma ve soğutmada enerji maliyetlerini arttırır, yüksek nem oranına sahip bölgelerde ise konut yapısını ve hava kalitesini olumsuz etkiler. Havalandırma sisteminin seçiminde bu şartların dikkate alınması gerekmektedir [6].

Diğer havalandırma sistemlerinde olduğu gibi, egzoz havalandırması için de çeşitli standart ve yönetmelikler bulunmaktadır. Bu standartlar, havalandırma debi ihtiyacından havalandırma açıklıklarına kadar birçok parametrede egzoz havalandırma sistemlerini incelemektedirler.

2. EGZOZ HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ İÇİN STANDARTLAR

AB ülkeleri arasında havalandırma uygulamalarında farklılıklar bulunmaktadır. Yerel standartlar, kapsayıcı olmaktan ziyade, ortaya çıktıkları ülkelerin iklimsel ve mimari şartlarına göre şekillenmişlerdir [7]. Şekil 6'da Avrupa Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Dernekleri Federasyonu (REHVA) tarafından 2012'de yayınlanan bir çalışmada paylaşılmış olan, bazı Avrupa ülkelerinde konutlarda uygulanan havalandırma sistemlerinin dağılımı görülmektedir.



Şekil 6. Havalandırma sistemlerinin mevcut bina stokundaki konut sayısına göre yüzdesel dağılımı a) Müstakil evler, b) Apartman daireleri [7].

Çalışmada, Fransa'da sadece egzoz veya besleme havalandırma sistemlerinin yaygın olmasına özellikle değinilmiştir. Buna paralel olarak, egzoz havalandırma sistemleri, iç ve dış ortam sıcaklık farkının düşük olduğu ılıman iklim bölgelerinde konut havalandırma sistemleri pazarında önemli bir paya sahiptir [8]. Isı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemlerinin, Finlandiya'da diğer Avrupa ülkelerine kıyasla daha yaygın olduğu vurgulanmıştır. Bu durum diğer Kuzey Avrupa ülkelerinde de benzerdir. Güney Avrupa ülkelerinde ise doğal havalandırmanın baskın yöntem olduğu görülmektedir [7].

Bu bilgilerin yanında, İngiltere ve Fransa gibi Batı Avrupa ülkelerinin ilgili havalandırma standartlarında egzoz havalandırma sistemlerine ayrıntılı yer verdiği de görülmektedir. Aşağıda, başta bu iki ülkenin standartları olmak üzere, standartlarda egzoz havalandırma sistemleri ile ilgili verilmiş bilgiler derlenmiştir.

2.1. Fransa

Fransa'da konutlarda havalandırma sistemlerine ilişkin esaslar "Konutların havalandırılmasına ilişkin 24 Mart 1982 tarihli karar" 'da verilmektedir. Konut havalandırma sisteminin Tablo 1'de belirtilen egzoz havalandırma gerekliliklerine sahip olması gerekmektedir [9].

Tablo 1. 24 Mart 1982 Tarihli Kararname'ye (Fransa) göre egzoz havalandırma gereklilikleri [9]

Konuttaki ana oda sayısı	Egzoz hava debisi (m ³ /h)				
	Mutfak	Banyo + tuvalet	Tuvalet		Banyo
			Tek	Birden fazla	
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	30	15	15
5 ve üzeri	135	30	30	15	15
Havalandırma miktarları m ³ /h olarak ifade edilmiştir.					
Ana oda, konuttaki oturma ve yatak odaları olarak tanımlanmıştır. Konutun oturma ve yatak odası bir duvar ile ayrılmamışsa, aynı mahalde bulunuyorsa, iki ana oda olarak değerlendirilir.					

Pencere tipi slot menfez, tasarım debisinde, 20 Pa basınç farkına göre seçilmesi, aktarım menfezlerinin, tasarım debisinde, ana oda bağlantılarında 5 Pa, Mutfak, banyo ve tuvaletlerde ise 2,5 Pa basınç düşümüne göre tasarlanması gerektiği belirtilmiştir [9, 10].

2.2. Birleşik Krallık

Tablo 2'de Birleşik Krallık'ta yürürlükte olan 2010 tarihli Yapı Yönetmeliği'ne göre ıslak odalar (tuvalet, banyo ve mutfak) ve malzeme odaları için havalandırma debileri verilmiştir. Yönetmeliğe göre, konuttaki aralıklı ve sürekli sistemler için egzoz havalandırma debisi değerleri, Tablo 2'de belirtilenden daha az olmamalıdır [11].

Standarta göre, bir odada sağlanan sürekli egzoz havalandırma debisi, Tablo 2'de belirtilen minimum yüksek debiye eşit veya bundan yüksekse fazladan havalandırmaya gerek yoktur. Fakat tüm konut sürekli egzoz havalandırma sistemlerinde bu geçerli değildir. Tüm konut sürekli egzoz havalandırma sistemlerinde, konuttaki oturma ve yatak odalarının havalandırmasının sağlanabilmesi için, tüm konut havalandırma debisi, en az Tablo 3'teki gibi olmalıdır. Her ıslak odanın ise, en az Tablo 2'deki yüksek havalandırma debisi değerine sahip olması gerekmektedir.

Tablo 2. Birleşik Krallık'ta yürürlüğe giren 2010 tarihli Yapı Yönetmeliğine göre sürekli egzoz havalandırması gereklilikleri [11]

Mahal Tipi	Aralıklı egzoz havalandırma debisi (l/s)	Sürekli egzoz havalandırma debisi (l/s)	
		Yüksek havalandırma debisi	Sürekli havalandırma debisi
Mutfak (Davlumbaz dış ortama tahliye yapmaktadır.)	30	13	Konuttaki toplam egzoz debisi en az, Tablo 3'teki tüm konut havalandırma debisi olmalıdır.
Mutfak (Davlumbaz filtrasyonun ardından iç ortama tahliye yapmaktadır.)	60	13	
Malzeme Odası	30	8	
Banyo	15	8	
Tuvalet	6	6	

Tablo 3. 2010 tarihli Birleşik Krallık Yapı Yönetmeliğine göre tüm konut havalandırma gereklilikleri [11]

Konuttaki yatak odası sayısı	Yatak odası sayısına göre en az havalandırma debisi (l/s)
1	19
2	25
3	31
4	37
5	43

a. Toplam havalandırma debisi, konut taban yüzey alanına bağlı olarak 0,3 l/ (s m²) den küçük olmamalıdır. Bu durum konutun tüm katlarını kapsamaktadır.
b. Sadece bir yaşam alanının (oturma veya yatak odası) bulunduğu konutlarda, havalandırma debisi en az 13 l/s olarak alınmalıdır.
c. Ek her oda için tablodaki değerlere 6 l/s eklenmelidir.

Standarta göre sürekli egzoz havalandırma uygulamalarında konuta temiz havanın, sürekli besleme fanları veya arka plan havalandırma ekipmanlarıyla sağlanması gerekmektedir. Arka plan havalandırma ekipmanı sayısının, konuttaki yatak odası sayısının iki fazlası olması belirtilmiştir. Örneğin, arka plan havalandırma ekipmanı sayısı, tek yatak odalı bir ev için üç, iki yatak odalı bir ev için dördür. Oda başına toplam havalandırma açıklığı, ana odalarda en az 4000 mm² olmalı, mutfak, banyo ve tuvalet gibi ıslak odalarda ise bulunmamalıdır. Konut içerisinde hava transferinin sağlanabilmesi için iç kapıların altlarında en az 7600 mm² açıklık bulundurulması da gereklidir [11]. Bu yönetmeliğe ait daha fazla bilgi Bölüm 6'da bulunmaktadır.

2.3. ASHRAE 62.2-2022: Konut Yapılarında Havalandırma ve Kabul Edilebilir İç Hava Kalitesi

ASHRAE 62.2, "Konut Yapılarında Havalandırma ve Kabul Edilebilir İç Hava Kalitesi" standardına göre konutta mekanik egzoz, besleme veya bu iki yöntemin kombinasyonu şeklinde kurulacak bir havalandırma sisteminin, Denklem 1 kullanılarak veya bina taban yüzey alanı ve yatak odası sayısına göre belirlenecek havalandırma debisi ihtiyacına (Tablo 4) göre tasarlanması gerektiği belirtilmiştir [12]. Havalandırma debisinin, konut hacmi yerine, yatak odası sayısına göre belirlenmesinin amaçları, anlaşılabilir kolay hükümler sağlaması ve ikamet eden insan sayısının daha kolay belirlenebilmesidir. [13].

$$Q_v = 0,15A + 3,5(N_{br} + 1) \quad (\text{L/s}) \quad (1)$$

Burada,

Q_v = Toplam havalandırma debisini (l/s),

A = Konut yüzey alanını (m²),

N_{br} =Toplam yatak odası sayısını (en az 1 olacak şekilde) tanımlamaktadır.

Tablo 4. ASHRAE 62.2 Standardına göre bina taban yüzey alanı ve yatak odası sayısına hava debisi ihtiyacı

Konut taban yüzey alanı, m ²	Yatak odası sayısına göre hava debisi (l/s)				
	1	2	3	4	5
<47	14	18	21	25	28
47-93	21	24	28	31	35
94-139	28	31	35	38	42
140-186	35	38	42	45	49
187-232	42	45	49	52	56
233-279	49	52	56	59	63
280-325	56	59	63	66	70
326-372	63	66	70	73	77
373-418	70	73	77	80	84
419-465	77	80	84	87	91

Standartta mutfak ve banyo için yerel egzoz havalandırma ihtiyaçları sürekli ve talep kontrollü çalışma durumlarına göre verilmiş olup, konut yapısının özellik ve boyutuna göre sızma oranı ve bunun üzerine havalandırma miktarı hesaplamaları da bulunmaktadır [12]. Bu parametrelere ait daha fazla bilgi Bölüm 7'de verilmiştir. Standartta, diğer ekipmanlar (arka plan havalandırması veya transfer menfezleri) hakkında boyutlandırma bilgisi verilmemiştir.

2.4. EN 15251: İç Mekân Hava Kalitesi ve EN 15665: Binalarda Havalandırma

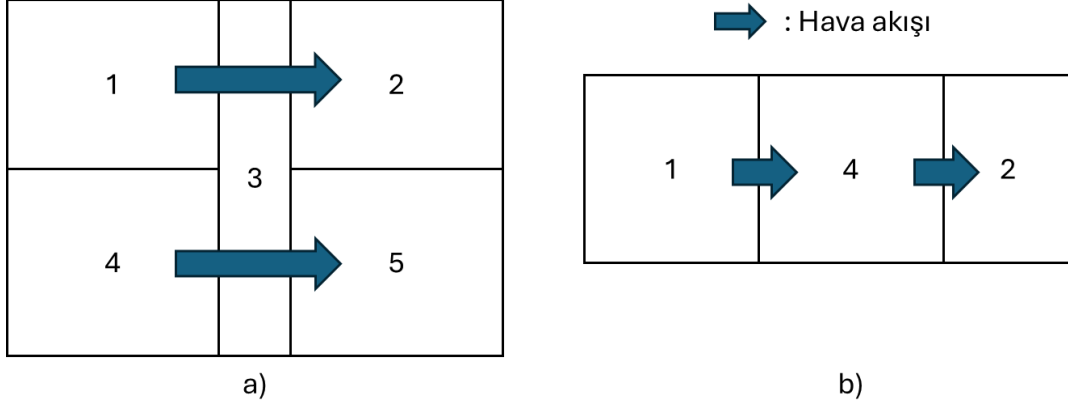
EN15251, "İç Mekân Hava Kalitesi" standardına göre konut havalandırma debileri Tablo 5'te verilmiştir. Mekanik, doğal ve egzoz havalandırma sistemlerinin tasarımında, tablodaki değerlerin kullanılması belirtilmiştir. Havalandırma ihtiyacının mahal sayısına değil boyutlarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir [14].

Tablo 5. EN15251 Avrupa Standardına göre konut havalandırma gereklilikleri [14]

Kategori	Hava değişim oranı ①		Kişi sayısı, oturma ve yatak odalarına göre besleme hava debisi, l/s		Egzoz hava debisi, l/s		
	l/ (s m ²) (1)	ACH	l/ (s kişi) ② (2)	l/ (s m ²) (3)	Mutfak	Banyo	Tuvalet
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7
①	Tavan yüksekliği 2,5 m olduğunda l/ (s m ²) ve ACH (Saatlik Hava Değişimi) cinsinden ifade edilen hava değişim oranları birbirine karşılık gelir.						
②	Bir konutta yaşayanların sayısı yatak odalarının sayısından tahmin edilebilir. Ulusal düzeyde yapılan varsayımlar mevcut olduğunda kullanılmalıdır; enerji ve iç hava kalitesi hesaplamaları için farklılık gösterebilirler.						

Standartta göre havalandırma debisi, sadece tüm konutun yüzey alanına (1) veya konutta ikamet eden kişi sayısı ile (2) oturma/yatak odalarının yüzey alanına (3) göre hesaplanabilir. Hesaplanan bu iki değerden yüksek olanının konut havalandırma ihtiyacı olarak seçilmesi, egzoz havalandırma debisinin de hesaplanan havalandırma ihtiyacına göre düzeltilmesi belirtilmiştir. Örneğin, yüzey alanı küçük konutlarda ihtiyaç duyulan egzoz havalandırma debisi küçülecek, büyük alanlarda ise artacaktır. Egzoz hava debisi, konut havalandırma ihtiyacından küçük olmamalıdır. Standartta transfer menfezleri veya yönlendirici ekipmanlar hakkında bilgi verilmemiştir [14].

EN15665, “Binalarda Havalandırma” standardı, gerekli havalandırma miktarını konut tipine göre hesaplamaktadır. Standarda göre konut tipleri, transfer alanında odası olan veya olmayan konutlar olarak ikiye ayrılarak (Şekil 7), oda sayısına göre “tüm konut besleme hava debisi” belirlenmektedir [15].



Şekil 7. EN15665 Standardına göre konut tipleri, a) transfer alanında odası olmayan, b) transfer alanında odası olan, temsili olarak; (1) yatak odası, (2) banyo/tuvalet, (3) koridor, (4) oturma odası, (5) mutfak olarak tanımlanmıştır [15].

Oda sayılarına ve konut tipine göre “tüm konut besleme hava debisi” değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. EN15665 standardına göre tüm konut besleme hava debisi değerleri [15]

Oda sayısı ①	Kişi sayısı ②	Tüm konut besleme hava debisi (l/s)	
		Transfer alanında odası olmayan	Transfer alanında odası olan
1	1	10	-
2	1	16,7	11,1
	2	19,4	16,7
3	2	25	19,4
	3	27,8	25
4	3	33,3	27,8
	4	37,5	31,9
5	4	41,7	36,1
	5	47,2	38,9

① Oda sayısına oturma odaları ve yatak odaları dahildir.
② "Kişi Sayısı" varsayılan ikamet eden kişi sayısıdır.

Egzoz havalandırma sistemleri için önerilen tüm konut besleme hava debisi, harici olarak monte edilen hava transfer cihazları aracılığıyla sağlanan besleme hava debilerinin toplamından yaklaşık 1/3 daha yüksek seçilmesi önerilmektedir. Aradaki farkın, işletme sırasında bina açıklıklarındaki sızıntı ile tamamlanacağı öngörülmüştür. Binanın hava geçirgenliği biliniyorsa sızıntı için kesin değerler hesaplanabilir. Tablo 7, EN15665’e göre tüm konut havalandırma debisi değeri dışında bulunan ıslak hacimlerin havalandırma ihtiyaçlarını içermektedir. Toplam havalandırma ihtiyacı tüm konut havalandırma debisi değeri ile ıslak hacimler için belirlenen debilerin toplamı kadardır [15].

Tablo 7. EN15665 standardına göre ıslak oda havalandırma miktarları [15]

Mahal tipi	Havalandırma debisi	
	Normal değer	Artırılmış değer
Mutfak	11,1	16,7
Banyo	11,1	16,7
WC	5,6	8,3

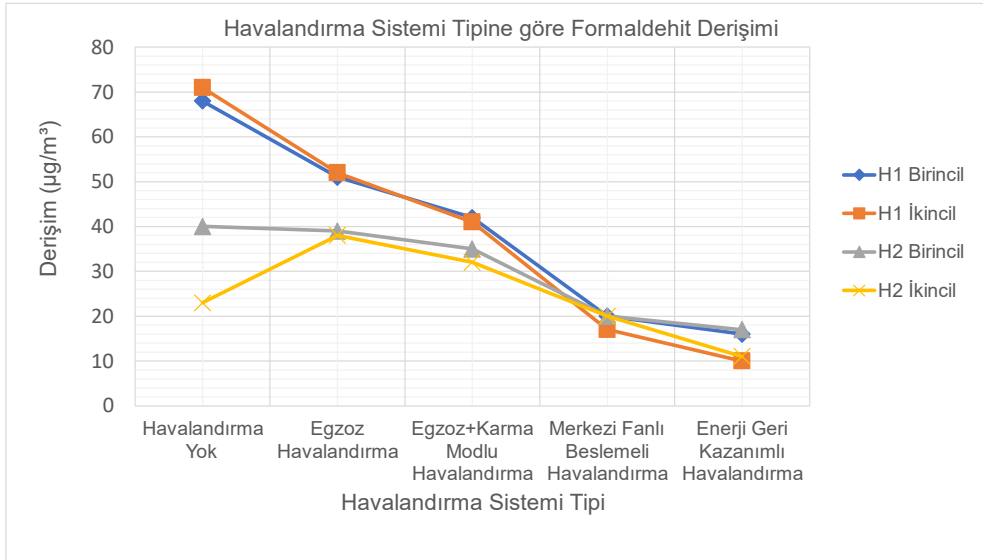
EN15665, “Binalarda Havalandırma” standardında egzoz havalandırma sistemleri için bina dış açıklıklarına konulan aktarım elemanları için, filtre de dahil olmak üzere, tek katlı binalarda 4-5 Pa, iki katlı konutlarda alt kat için 6 Pa, üst kat için 3 Pa, iç ortam transfer ekipmanlarında ise en fazla 1 Pa basınç kaybına göre seçim yapılması gerektiği belirtilmiştir. Standartta göre ayrıca, bina dış açıklıklarından evin oturma ve yatak odalarına girecek hava miktarının en az 8,3 L/s olması gerekmektedir [15].

Egzoz havalandırma sistemleri için incelenen standartların, havalandırma sistemini ele alış biçimleri bakımından birbirlerinden oldukça farklı yol izledikleri görülmektedir. Standartlar arasındaki farklılıklar ve tasarımın sistemin performansına etkisi, hem bu alanda daha fazla çalışma yapılmasının gerekliliğini hem de yüksek performansın sağlanmasının mümkün olup olmadığı sorusunu da beraberinde getirmektedir.

3. EGZOX HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA ETKİNLİĞİ

Egzoz havalandırma sistemlerinde taze hava, iç ortam basıncının düşürülmesiyle bina açıklıklarından giriş yapmaktadır. Konut içerisindeki yerel basınç farkları havalandırma verimliliği üzerinde etkili olacağından uygun bir dağıtım sisteminin tasarlanması da gereklidir. Binadaki havalandırma tesisatının hassasiyetle tasarlanması bu noktada önem taşımaktadır. Bina sızdırmazlığı, tasarım sürecinde önemli bir parametredir. Düşük sızdırmazlığa sahip yapılarda filtreleme işlemi yapılamadığından hava kaynağı belirlenemezken, yüksek sızdırmazlığa sahip yapılarda, yüksek basınç kayıpları oluşabilmekte veya yeterli temiz hava girişi sağlanamamaktadır.

Konuta yeterli miktarda havanın sağlanmasıyla beraber, bu havanın mahaller içerisinde adaletli dağılımının gerçekleştirilebilmesi iç hava kalitesinin sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır [16]. Havalandırma etkinliği hava yaşı ve hava değişim verimi terimleri ile açıklanabilmektedir. Hava yaşı, bir hacim içerisindeki havanın geçirdiği süreyi temel alan bir yaklaşımdır. Havanın bina içerisine girişinden çıkışına kadar geçirdiği süreyi tanımlar. Hava değişim verimi gerçek hava yaşının, teorik olarak hesaplanan hava yaşına oranı olarak tanımlanabilir [16].



Şekil 8. Havalandırma sistemi tipine göre formaldehit derişimleri [5].

Sherman vd. [17], egzoz da dâhil olmak üzere, iki farklı konutta mekanik havalandırma uygulamalarında hava dağılımının verimini incelemiştir. Konut içerisindeki mahallerdeki hava dağılımı izleyici gaz yöntemi ile gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda besleme veya egzoz havalandırma sistemleri arasında belirleyici bir fark gözlemlenmemiştir. Bunun yanı sıra iç kapıların açık kalmasının havanın konut içerisindeki dağılımını olumlu etkilediği görülmüştür [17].

Armin Rudd ve Daniel Bergey egzoz havalandırma sistemlerini inceledikleri çalışmalarında [5], biri havalandırmalı (H1), diğeri ise havalandırmasız (H2) tavan arasına sahip benzer konutlarda, mekanik havalandırma sistemlerini ele almışlardır. Şekil 8'de havalandırma senaryolarına göre her iki evin (H1 ve H2) birincil (mutfak, yemek odası, oturma odası) ve ikincil (yatak odası, banyo) mahallerindeki formaldehit derişimleri görülmektedir [5].

Her iki konutta egzoz havalandırma sistemini incelediklerinde, havalandırmalı tavan arasına sahip konuttaki kirlenici madde (partikül, formaldehit ve uçucu organik bileşik) derişimlerinin, havalandırmasız tavan arasına sahip konuttakine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür [5]. Oluşan derişim farkının, temiz havanın çoğunlukla tavan arasından gelmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Egzoz havalandırma senaryosu sonrasında aynı binalarda uygulanan diğerk mekanik havalandırma sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Karma modlu, beslemeli ve enerji geri kazanımlı havalandırma sistemlerinde kirlenici madde derişimlerinin, temiz havanın filtrelenmesinden ve kaynağının belli olmasından dolayı daha düşük ve konuttaki yerel hava değışim verimlerinin daha homojen bir dağılıma sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır [5].

Egzoz havalandırma sistemleri ile ilgili, standartların, sistemi ele alışındaki farklılıklardan, konut tipinden ve bölgesel koşullardan (dış ortam kirlenicilerinin derişimi, bağıl nem vb.) dolayı, hassas bir tasarım sürecine ihtiyaç duymaktadır. Bu koşullar dışında iklim koşulları ve ısı kayıpların da etkisi egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilirliği açısından önemli bir başka parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Herhangi bir şartlandırma işleminin uygulanmaması ve sistemde ısı geri kazanım cihazının kullanılmamasından dolayı, egzoz havalandırma sistemlerinin, enerji kayıpları açısından mekanik havalandırma sistemlerine kıyasla ısıtma veya soğutma gereken aylarda daha yüksek işletim maliyetlerine sahip olması beklenmektedir.

Tablo 8. Egzoz havalandırma standartlarının performanslarının farklı konut tiplerinde karşılaştırılması [10]

		Standartlar				
		Belçika	Fransa	Hollanda	Birleşik Krallık	ASHRAE
Daire	Ortalama CO ₂ ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$)	351	283	358	521	342
	CO ₂ konsantrasyonunun 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den fazla olduğu zamanın toplam süreye oranı (%)	2,1	0,2%	2,8	11,4	1
	Ortalama ısı kaybı (kWh/m ²)	26	30	29	18	35
Teraslı Daire	Ortalama CO ₂ ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$)	323	324	357	595	492
	CO ₂ konsantrasyonunun 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den fazla olduğu zamanın toplam süreye oranı (%)	2,4	1,1%	4,6	16,6	12,7
	Ortalama ısı kaybı (kWh/m ²)	30	27	32	17	26
Yarı-Müstakil	Ortalama CO ₂ ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$)	333	317	312	529	370
	CO ₂ konsantrasyonunun 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den fazla olduğu zamanın toplam süreye oranı (%)	2,7	0,8%	1,1	12,6	2,4
	Ortalama ısı kaybı (kWh/m ²)	28	26	32	16	28
Müstakil	Ortalama CO ₂ ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$)	338	338	340	572	520
	CO ₂ konsantrasyonunun 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den fazla olduğu zamanın toplam süreye oranı (%)	3,9	2,5%	4,8	14,9	13,1
	Ortalama ısı kaybı (kWh/m ²)	33	29	37	19	27
Tek Katlı Ev	Ortalama CO ₂ ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$)	304	342	326	577	523
	CO ₂ konsantrasyonunun 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'den fazla olduğu zamanın toplam süreye oranı (%)	0,6	1	1	15,8	14
	Ortalama ısı kaybı (kWh/m ²)	32	30	35	21	33

Konutlarda egzoz havalandırma sistemlerinde, hava yaşı ve hava değişim verimi üzerinden havalandırma etkinliğinin incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Çalışmalar genellikle iç ortamdaki kirletici derişimindeki değişimleri ve dağılımları incelemektedir [5, 10, 18].

Laverge vd. tarafından yapılan bir çalışmada [10], Belçika, İngiliz, Hollanda, Fransız ve ASHRAE konut havalandırma standartlarının, egzoz havalandırma sistemi temelinde, beş farklı konut tipinde performans değerlendirmesi numerik hesaplama yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirmesi için iç ve dış ortam arasındaki CO₂ derişimi farkları ($\Delta\mu\text{g}/\text{m}^3$) ve konut ısı kayıpları karşılaştırılmıştır [10]. Standartlara ve konut tiplerine göre, uygulanan egzoz havalandırma sisteminin konut içerisindeki CO₂ derişimine ve ısı kayıplarına etkisi Tablo 8'de görülmektedir.

Çalışma sonucunda simülasyon sürelerinin, Belçika, Hollanda ve Fransa havalandırma standartlarında, %5 veya daha azında, ASHRAE ve İngiliz standartlarında ise yaklaşık %15'inde kötü iç hava kalitesi gözlemlenmiştir (CO₂>1000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)). Fransız standardına ayrıca değinilmiş, diğer senaryolar ile karşılaştırıldığında, tasarım ve boyutlandırmasının egzoz havalandırma sistemleri için ortak bir standardın geliştirmesine uygun bir referans oluşturduğu, iyi iç hava kalitesi, düşük ısı kaybı ve yüksek performans dengesini sağladığı belirtilmiştir [10]. İç hava kalitesi ve ısı kaybı arasındaki denge incelendiğinde, Hollanda ve ASHRAE standartlarının incelendiği senaryolar, Fransız standardı ile karşılaştırıldığında, yeterli performansa ulaşamamıştır. Fransa standardı ile karşılaştırıldığında, ASHRAE standardını kullanan senaryolarda, benzer ısı kayıpları ve ortalama %40 daha yüksek CO₂ maruziyeti, Hollanda standardını kullanan senaryolarda ise ortalama %20 daha yüksek ısı kaybı ve benzer CO₂ maruziyeti gözlemlenmiştir [10].

Konut egzoz havalandırma sistemlerinde havalandırma veriminin artırılabilmesi için odalar arasında hava transferinin yeterli ve sorunsuz gerçekleşmesi önemlidir. Bununla beraber tasarımda, binanın sızdırmazlığının incelenmesi dış ortamdan yeterli havanın transfer edilebilmesini sağlayacak uygulamalardan faydalanılması gereklidir [10]. Laverge vd. bir diğer çalışmada [18], egzoz havalandırma sistemlerine, Belçika, Hollanda ve Fransa standartları çerçevesinde, 1, 2 ve 10 Pa tasarım basınç farklarına göre pencere tipi slot menfez entegre ederek, farklı bina sızdırmazlık seviyelerinde, ısı kaybı ve iç hava kalitesi üzerine performans ölçümü gerçekleştirmişlerdir. Sızdırmazlık seviyeleri 50 Pa'da sızıntı alanının m²'si başına 0,5 ve 12 m³/saat arasında 0,5'lik kademelerle değişmektedir. İç hava kalitesinin incelenmesinde CO₂ derişimi parametre olarak kullanılmıştır. Çalışmada, pencere tipi slot menfezlerin ısı kaybı ve iç hava kalitesi üzerinde önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir. En iyi sızdırmazlık kademesinde, havalandırmadan kaynaklanan ısı kayıpları incelendiğinde, 2 Pa ve 10 Pa basınç için seçilen pencere tipi slot menfezlerin, 1 Pa basınç kaybı ile seçilen slot menfezlere göre sırasıyla %10 ve %22 tasarruf sağladığı belirlenmiştir. En düşük sızdırmazlık seviyesinde, 10 Pa pencere tipi slot menfezlerle elde edilen ısı kaybının, pencere tipi slot menfezin hiç kullanılmadığı senaryodaki ısı kaybına eşit olduğu görülmüştür. Orta sızdırmazlık seviyesinde 10 Pa değerinde basınç kaybına göre seçilebilecek slot menfez sistemlerinin, enerji tasarrufunu artırırken iç hava kalitesinin olumsuz etkilendiğini, bu yöntemle iç hava kalitesinin ancak yüksek sızdırmazlık seviyesinde artırılabilceğini belirtmiştir [18].

Havalandırma etkinliğini azaltıcı etkilerin önüne geçilebilmesi için, egzoz bağlantısının doğru konumlandırılması, kirletici derişimlerinin yoğun olabileceği noktalardan hava girişinin engellenmesi, havalandırma miktarının yetersiz olduğu mahallerde vantilatör, fan gibi yardımcı elemanlarının kullanılması önerilmektedir [19].

Görüldüğü gibi bu alandaki akademik bilgi birikimi oldukça sınırlıdır. Bu durum, enerji verimliliği açısından egzoz havalandırma sistemlerinin verimsiz olduğunun öngörülmesinden dolayı kullanımının yaygınlaşmayacağı kabulünden kaynaklanıyor olabilir.

4. EGZUZ HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Egzoz havalandırma sistemleri, kurulum maliyetleri düşük sistemler olarak öne çıkmaktadır. Fakat sistemin herhangi bir ısı veya enerji geri kazanım cihazı içermediği durumda, ki sistem tanımında ısı geri kazanımı yoktur, dışarıdan gelen havanın iç ortam konfor şartları sağlanacak şekilde mevsimsel koşullar doğrultusunda ısıtılması veya soğutulması gerekmektedir. Bu da işletim maliyetlerinin ısı geri

kazanımlı mekanik havalandırma sistemlerine kıyasla daha yüksek olmasına yol açar [20]. Banyo, tuvalet ve mutfaklardaki su buharı da dahil olmak üzere kirleticiler egzoz fanları ile tahliye edilebilir [21].

Laverge vd. bir başka çalışmada [22], mekanik egzoz veya mekanik besleme havalandırma sistemleriyle ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerinin performansları üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Avrupa'daki farklı iklimler için birincil enerji, karbondioksit emisyonu, evsel tüketici enerji fiyatı ve ekserji çerçevelerine dayalı dönüşüm faktörleri incelenerek bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Orta Avrupa'nın ılıman iklim bölgeleri için, doğal, egzoz ve ısı geri kazanımlı havalandırmanın, işletme enerjisi, ekonomik ve ekolojik koşullar açısından birbirlerine karşı bir üstünlüğü olmadığı gözlemlenmiştir. Sadece enerji tüketiminin değil, ülkeler bazında enerji dönüşüm faktörlerinin de incelenmesi varılan bu sonuçta etkilidir. Akdeniz Bölgesinde ısı geri kazanımlı havalandırma ancak düşük basınç kaybı ve düşük fan gücünde avantaj sağlayabilirken, İskandinav coğrafyasında, test edilen her koşulda üstün olduğu belirtilmiştir [22].

4.1. Talep Kontrollü Egzoz Havalandırma Sistemleri

Havalandırma sistemlerinin ana hedefi, yeterli iç hava kalitesini ve ısı şartları sağlayarak bireylere sağlıklı ve konforlu yaşam alanları oluşturmaktır [23]. Konutlardaki nüfus, iş ve okul gibi çeşitli sebeplerle sürekli sabit olmamaktadır. Bu durum, konutta nüfusun azaldığı veya hiç olmadığı durumlarda havalandırma debisinin azaltılmasıyla, iç hava kalitesinin korunurken, enerji tasarrufunun sağlanabileceği fırsatlar ortaya çıkarmaktadır. Fakat sürekli havalandırma sistemlerinde bunu azaltacak bir imkân bulunmadığından, gereksiz enerji tüketimi ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple enerji veriminin artırılabilmesi amacıyla talep kontrollü, birey sayısına göre, periyodik veya kirletici üretimine göre havalandırma yöntemleri benimsenmelidir [24].

Sherman ve Walker, ASHRAE 62.2 standardına göre belirledikleri sürekli konut havalandırma debisini kullanarak, ısı geri kazanımlı, egzoz, besleme ve hibrit havalandırma sistemlerinde, talep kontrollü havalandırmanın etkisini incelemiştir [20]. Çalışmada her senaryoda benzer iç hava kalitesinin sağlanması amaçlanmıştır. Sonuç olarak talep kontrollü havalandırma uygulamalarıyla, ASHRAE 62.2 standardının öngördüğü iç hava kalitesi parametrelerinin, sürekli havalandırma uygulamalarına kıyasla %20-40 arasında enerji tasarrufuyla sağlanabildiği belirlenmiştir (Tablo 9). Egzoz havalandırma sistemlerinin de tek başına veya hibrit uygulamalarla veriminin ortalama %27 artırılabilceği görülmüştür [20].

Tablo 9. Talep kontrollü havalandırma uygulamaları ile sistemin enerji tasarrufu ve kullanım süresindeki azalma oranları [20]

İklim	Havalandırma sistemi	Enerji tasarrufu (%)	Kullanım süresinde azalma (%)
Ilıman	Sürekli egzoz	22	22
Ilıman	Sürekli egzoz + Merkezi fan bütünleşmiş besleme	28	29
Ilıman	Sürekli besleme	61	22
Ilıman	Sürekli egzoz + Ekonomizer	24	31
Sıcak	Sürekli Egzoz	25	22
Sıcak	Sürekli egzoz + Merkezi fan bütünleşmiş besleme	32	28
Sıcak	Sürekli besleme	49	22
Sıcak	Sürekli egzoz + Ekonomizer	26	41
Soğuk	Sürekli egzoz	19	22
Soğuk	Isı geri kazanımlı havalandırma	11	18
Soğuk	Sürekli egzoz + Merkezi fan bütünleşmiş besleme	37	29
Soğuk	Sürekli besleme	28	22

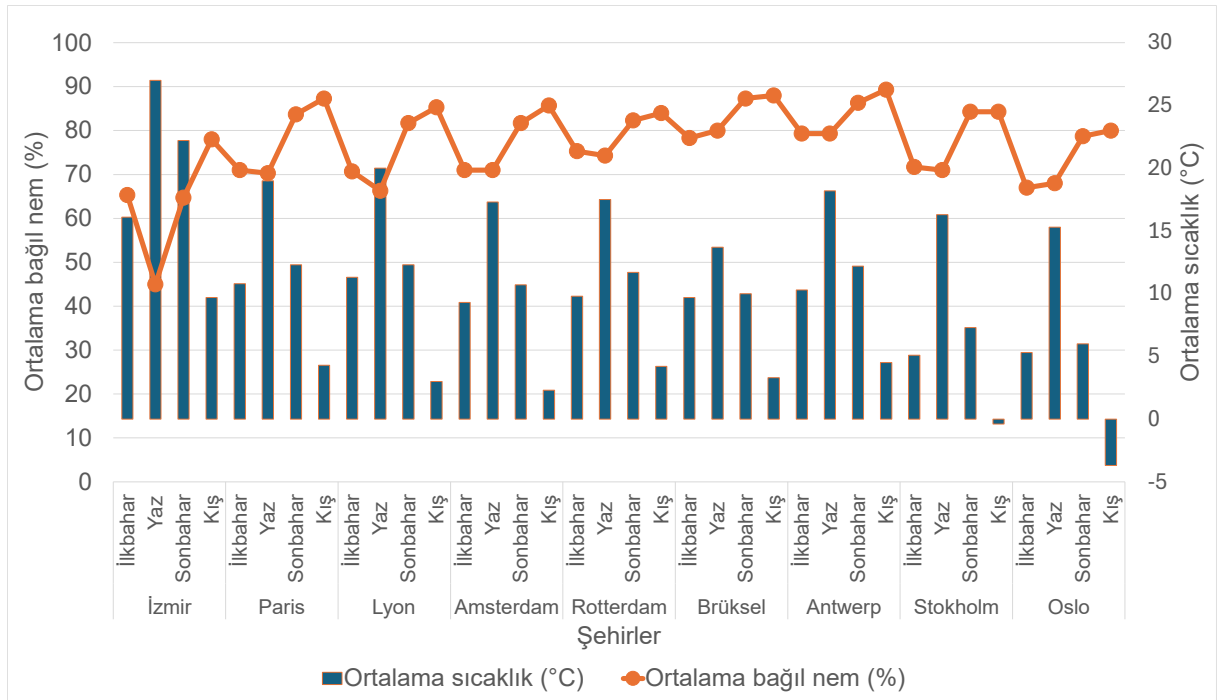
5. İZMİR'DE EGZOZ HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Egzoz havalandırma sistemlerinin tek başına bir havalandırma yöntemi olarak ve enerji verimli şekilde uygulanabilirliğini incelerken göz önünde bulundurulması gereken parametreler dış ortam iklim koşulları ve hava kalitesidir. Bu amaçla bu bölümde İzmir ilinin iklimsel özellikleri ve kirletici madde derişimleri karşılaştırmalı olarak incelenerek, konutlarda egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Karşılaştırma için, ılıman iklim bölgesinde bulunan ve konutlarında egzoz havalandırma uygulamaları yaygın olan, Fransa, Hollanda ve Belçika'da bulunan şehirler incelenmiş [7, 8, 25], bu şehirlere ait iklim ve hava kalitesine ait veriler derlenmiştir. Bu şehirlere ek olarak, iklimsel farklılıkların gözlemlenebilmesi amacıyla, bazı Kuzey Avrupa şehirlerinin verileri de kullanılmıştır.

5.1. İzmir'in İklim Özelliklerinin Değerlendirmesi

Yüksek nem, binanın yapısına tesir ettiğinde geri dönüşü olmayan hasarlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle bina yapısına nemin ulaşmamasına özen gösterilmektedir. Egzoz havalandırma sistemleri temiz hava girişlerini bina açıklıklarından sağlamasından dolayı yüksek nemli bölgelerde kurulumu ve işletimi önem taşımaktadır. Tasarımın yetersiz ve uygulamanın eksik yapılması yüksek neme sahip bölgelerde bina yapısının hasar almasına sebep olacaktır. Şekil 9'da İzmir'e, Batı ve Kuzey Avrupa'da bulunan bazı şehirlere ait mevsimlere göre ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri görülmektedir.

Şekil 9. İzmir ve incelenen diğer şehirlere ait ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri [26]

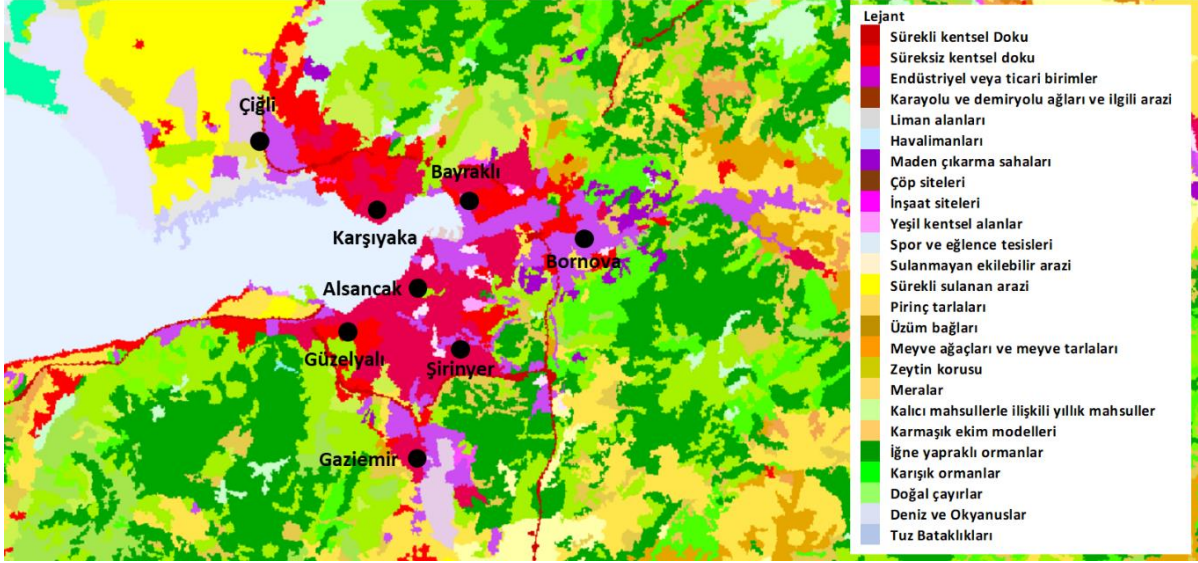


İzmir ili, incelenen diğer şehirler ile karşılaştırıldığında, daha yüksek ortalama mevsimsel sıcaklığa ve daha düşük bağıl nem değerine sahip olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama sıcaklık farklarının az ve bağıl nemin düşük olması, İzmir ilinde egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilirliği için olumlu bir durumdur. Fakat sıcaklığın veya bağıl nemin uygun olması sistemin uygulanabilirliği için yeterli değildir. Düşük sızdırmazlığa sahip yapılarda temiz hava girişlerinin kontrolünün yetersiz kalabileceğinden önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu sebeple içeriye bina açıklıklarından giren "temiz" olarak tabir edilen havanın gerçekten istenilen kalitede olup olmadığına dikkat edilmelidir. Temiz hava ile ilgili tanım ve açıklamalar Bölüm 8'de verilmektedir.

5.2. İzmir'in Hava Kalitesinin Değerlendirmesi

Yerleşim yerlerinde, hava kirleticilerinin sokak kanyonlarında (dar şehir içi yolların iki tarafının da sıralı yüksek yapılarla çevrenmesi gibi) hapsolmesi, insan sağlığı açısından yüksek risk oluşturmaktadır [27]. Sokak kanyonlarının yönü, en-boy oranı, derinliği, uzunluğu, bina yüksekliklerindeki çeşitlilik, binalardaki açık çıkımlar, ağaçlar, park edilmiş araçlar ve kirletici kaynakları sokak kanyonlarında hava kirliliğini etkileyen faktörlerdendir [28]. İzmir'de hava kirliliğinin temel kaynakları; evsel ısınma, sanayi, maden tesisleri ve araç emisyonları şeklinde sıralanmaktadır [29].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2021 verilerine göre, İzmir'de 1 503 086 konutta ikamet eden hane halkı bulunmaktadır. Hane halklarının yaşadığı konutların ortalama kat sayısı ise 4,7'dir. Hane halkının yaklaşık %50'si 5 kat ve üzeri binalarda ikamet etmektedir [30].



Şekil 10. İzmir iline ait CORINE arazi haritası [31].

İzmir'e ait 2018 tarihli CORINE haritası kentin dokusu hakkında birtakım bilgiler sunmaktadır (Şekil 10). CORINE, uydu görüntülerinin ve Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen arazi örtüsü/kullanımı bilgilerinin, bilgisayar destekli olarak yorumlanmasıyla oluşturulan bir veridir [31]. Kentsel dokunun, hava kirliliğini arttıran tesislere (liman, havalimanları, endüstriyel veya ticari birimler, maden çıkarma sahaları gibi) yakın olduğuna, kentsel kirleticilerle birlikte endüstriyel kirleticilerin de şehrin hava kalitesini olumsuz etkilediğine dikkat edilmelidir. Ayrıca ortalama konut yüksekliğinin 4,7 kat olduğu göz önünde bulundurularak, sürekli kentsel dokuda, sokak kanyonlarının varlığından da söz edilmelidir,

İzmir'de hava kalitesinin güncel olarak ölçümünün sağlandığı birçok istasyon mevcuttur. Ölçüm istasyonlarının bulunduğu ilçeler, CORINE arazi haritasında görülmektedir (Şekil 10). Bu ölçüm istasyonlarında yaygın olarak takip edilen kirleticilerinden biri PM₁₀'dur. PM₁₀, çapı 10 mikrometreden daha küçük olan partikülleri ifade etmekte kullanılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) PM₁₀ için önerisi, kısa vadede 15 uzun vadede ise 45 µg/m³tür [32]. Uzun vadeli değer, yıllık ortalama derişimi, kısa vadeli değer, 24 saatlik ortalama derişimlerin yıllık dağılımının %99'uncu dilimi (bir yıllık ölçüm serisinin en yüksek 3. veya 4. verisi) olarak tanımlanır. Dünya Sağlık Örgütü'nün uzun ve kısa vadeli PM₁₀ derişimleri için önerdiği hedefler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. PM₁₀ derişimleri için DSÖ tarafından önerilen hedefler [32]

	Dünya Sağlık Örgütü'nün PM ₁₀ için Hava Kalitesi Önerileri (µg/m ³)	
	Uzun vadeli (yıllık ortalama değer)	Kısa vadeli (24 saatlik ortalama değer)
Ara hedef 1	70	150
Ara hedef 2	50	100
Ara hedef 3	30	75
Ara hedef 4	20	50
Hava kalitesi önerisi	15	45

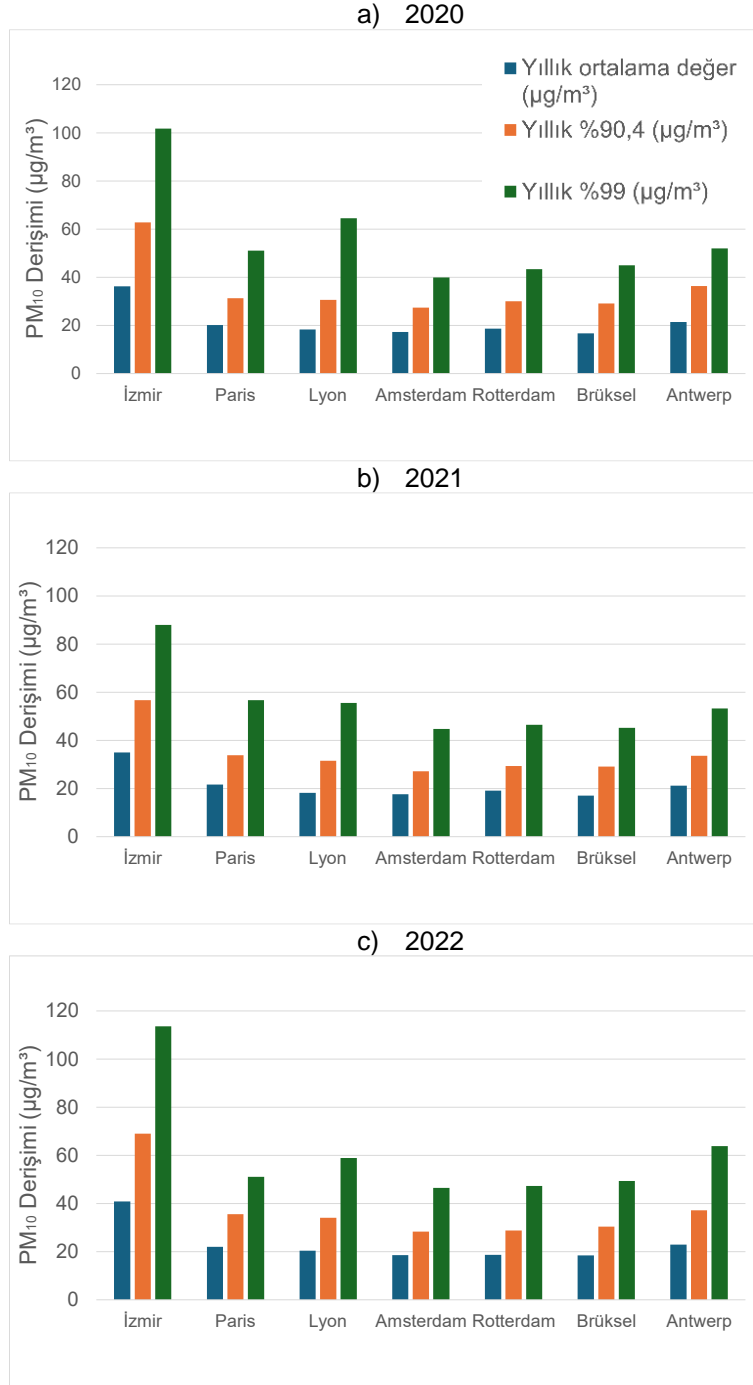
İzmir'de CORINE haritası üzerinde belirtilen ilçelerdeki ölçüm istasyonlarında, 2020-2022 yılları arasında ölçülen PM₁₀ derişimlerine ait yıllık ortalama, yıllık %90,4 (bir yıllık ölçüm serisinin en yüksek 36. verisi) ve yıllık %99 değerleri Tablo 11'de verilmiştir [33].

Tablo 11. İzmir'deki ilçelerde 2020 ve 2022 yılları arasında ölçülen PM₁₀ derişimleri (µg/m³) [33]

	Ölçüm Noktası	Alsancak	Bayraklı	Bornova	Çiğli	Gazienir	Güzelyalı	Karşıyaka	Şirinyer	Ortalama
2022	Yıllık ortalama değer (µg/m ³)	55,2	39,1	43,2	45,5	50,9	31,8	33,1	28,5	40,9
	Yıllık %90,4 (µg/m ³)	113,0	67,4	70,6	73,4	77,5	53,1	51,6	45,2	69,0
	Yıllık %99 (µg/m ³)	184,5	108,7	107,1	121,2	105,6	87,8	93,1	100,8	113,6
2021	Yıllık ortalama değer (µg/m ³)	41,5	38,8	42,0	28,9	48,1	31,2	30,8	19,1	35,0
	Yıllık %90,4 (µg/m ³)	75,0	62,6	72,1	46,3	76,2	51,0	41,0	29,5	56,7
	Yıllık %99 (µg/m ³)	156,8	101,3	103,3	68,2	101,2	71,7	57,3	44,4	88,0
2020	Yıllık ortalama değer (µg/m ³)	38,0	37,3	36,8	34,5	46,6	31,5	32,3	33,5	36,3
	Yıllık %90,4 (µg/m ³)	61,9	69,3	66,6	62,3	71,0	60,0	57,7	53,9	62,8
	Yıllık %99 (µg/m ³)	142,9	99,5	98,2	100,5	98,9	90,5	97,5	86,3	101,8

Tablodaki veriler incelendiğinde PM₁₀ derişimlerinin ilçeler arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Arazi haritasında da görülebildiği üzere endüstriyel birimlere yakın, sürekli kentsel dokunun hâkim olduğu ilçelerde PM₁₀ derişimi daha yüksektir. Dünya Sağlık Örgütü'nün hava kalitesi

İçin önerilerinde belirttiği ara hedeflerden uzun vadede 2., kısa vadede ise ancak 1. ara hedef sağlanmaktadır. İlçelerdeki ölçüm istasyonlarından elde edilen değerler ile oluşturulan, İzmir'in 2020-2022 yılları arasında ölçülen ortalama PM₁₀ derişimleri, bir önceki bölümde iklimsel verileri incelenen Batı Avrupa şehirlerine ait verilerle beraber Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. İzmir ve incelenen Batı Avrupa şehirlerine ait, 2020-2022 yılları arasında ölçülen ortalama PM₁₀ derişimleri [33]. a) 2020, b) 2021, c) 2022

İzmir için ölçülen uzun ve kısa vadeli PM₁₀ derişimlerinin, diğer şehirlerde ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında, çok daha yüksek olduğu, incelenen şehirlerden bazılarının, uzun ve kısa vadede 4. ara hedefe ulaştığı görülmektedir.

PM₁₀, hava kirleticilerinin sadece bir grubunu kapsamaktadır. Bu kirletici dışında PM_{2,5}, NO₂ (azot dioksit), SO₂ (dülfür dioksit), O₃ (ozon), CO (karbon monoksit) gibi kirleticilerin varlığının da dikkate alınması gerekir [32]. Örneğin, DSÖ'ye göre, hem PM_{2,5} hem de PM₁₀ ölçümlerinin mevcut olduğu tüm durumlarda, yıllık ortalama değerler için PM_{2,5} hava kalitesi öneri ve hedefleri tercih edilmelidir [32]. Bölüm 1'de bu kirleticilere ait ayrıntılı bilgi mevcuttur.

Bu durum, hava kalitesi özelinde İzmir ili için egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilirliğini olumsuz etkilemektedir. Fakat sanayiden ve yoğun yapılaşmadan uzak bölgeler, iklimsel ve hava kalitesi yönünden incelendiğinde egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilir olduğu bölgeler de bulunmaktadır. Yüksek sızdırmazlığa sahip yapılarda besleme havası, filtreli hava aktarım ekipmanlarıyla konut içine alınarak, iç hava kalitesinin korunmasının sağlandığı egzoz havalandırma sistemleri uygulanabilir.

6. SONUÇ

Egzoz havalandırma sistemleri iç ve dış ortamlar arasında basınç farkları oluşturarak havalandırma sağlayan sistemlerdir. Müstakil ve apartman dairelerinde mahal bazlı, tüm konut veya tüm bina havalandırmasında kullanılabilir. Yüksek sızdırmazlığa sahip binalarda, pencere tipi slot menfez gibi yardımcı ekipmanlar kullanılarak hem yeterli hava girişi hem de filtreleme uygulamaları yapılabilir. Düşük kurulum ve bakım maliyeti, karmaşık olmayan tasarımı, egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilir kılma da konutun bulunduğu iklim, hava kalitesi, bina sızdırmazlığı gibi etkenler, enerji verimliliği ve iç hava kalitesi parametrelerinin olumlu veya olumsuz etkilenmesine sebep olabilmektedir.

Egzoz havalandırma sistemleri ile ilgili çeşitli standartlar ve yönetmelikler bulunmaktadır. Standartlarda, kişi, yüzey alanı, oda sayısı gibi çeşitli parametrelerle havalandırma sisteminin boyutlandırması yapılabilmektedir. Standartların birbirinden farklı şekilde sistemi ele alması havalandırma kalitesinin en iyi nasıl sağlanabileceği sorusunu beraberinde getirmektedir.

Havalandırma etkinliğinin incelenmesinde, hava yaşı ve hava değişim verimi üzerine çalışmalar sınırlı olmakla beraber, partikül madde dağılımı ve kirletici derişimleri üzerine çalışmalar yaygın olarak bulunmaktadır. Havanın bina içerisinde efektif dağılımının veya kirli havanın egzoz fanına ulaşabilmesinin sağlamak için, kanal tesisatı veya bina içinde açıklıkların bulundurulması, sistemin verimli çalışabilmesi için önemlidir.

Egzoz havalandırma sistemleri kurulum maliyeti düşük sistemlerdir, fakat sistem içerisinde ısı geri kazanımı sağlayabilecek bir ekipman bulunmaz. Bu sebeple sistem, bu alanda yapılan çalışmaların da gösterdiği şekilde, iç ve dış ortam arasında yıllık sıcaklık farkının düşük olduğu ılıman iklim bölgelerinde en iyi performansa sahiptir. Ilıman iklim bölgelerinde konut havalandırma sistemleri pazarında payının yüksek olması da bu bilgiyi destekler niteliktedir. Sürekli kullanımın dışında talep kontrollü egzoz havalandırma sistemleri uygulamalarıyla, enerji tüketimi %27'ye kadar azaltabilmektedir.

İzmir, iklimsel verilere dayanılarak, egzoz havalandırma sisteminin uygulanabilirliği açısından uygun bir il olarak tanımlanabilir. Fakat sadece iklimsel veriler bu tanımın desteklenmesi için yeterli değildir. Hava kalitesinin gözlemlenebilmesi için şehrin çeşitli ilçelerinde kirletici ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Bu ölçüm istasyonlarında elde edilen yıllık PM₁₀ derişimi verileri incelendiğinde Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği sınır değerini koruyamadığı görülmektedir. Kentsel doku ve endüstriyel dokunun birbiriyle iç içe olması ve hane halkının yaşadığı ortalama konut kat sayısının yüksekliği, şehrin hava kalitesi üzerine olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu da egzoz havalandırma sistemlerinin uygulanabilirliğini etkilemektedir.

İzmir'de düşük sızdırmazlığa sahip, şehir merkezinde bulunan binalarda, egzoz havalandırma sistemi uygulamaları, hava kalitesinin düşük olmasından dolayı, konut içerisinde partikül ve kirletici derişimini artırıcı etkilere sebep olabilir. Yüksek sızdırmazlığa sahip binalarda temiz hava girişinin kontrol edilebilir olması, filtrasyon uygulamalarına imkân sağlamaktadır. Hava kirliliğinin yüksek olduğu ilçelerde, yüksek sızdırmazlığa sahip yapılarda besleme hava girişleri filtreli transfer menfezleriyle desteklenerek egzoz havalandırma sistemleri uygulanabilir. Ayrıca şehirde, hava kirliliği düşük, sanayiden ve yoğun

yapılaşmadan uzak, sistemin kurulumuna elverişli bölgeler de mevcuttur. Sistemin tasarımının yapılması sürecinde çevresel etkenlerin incelenmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] A. Biler, A. U. Tavil, Y. Su, and N. Khan, "A review of performance specifications and studies of trickle vents," *Buildings*, vol. 8, no. 11. MDPI AG, Nov. 06, 2018. doi: 10.3390/buildings8110152.
- [2] Renson, "Sonoslot." Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: www.renson.eu/gd-gb/producten-zoeken/ventilatie/raamverluchtingen/sleufrooster/sonoslot
- [3] Brevis, "Window-Integrated Trickle Vent." Accessed: Jan. 22, 2024. [Online]. Available: <https://brevis-ventilation.com/window-integrated-trickle-vent/>
- [4] R. Aldrich, "Measure Guideline: Selecting Ventilation Systems for Existing Homes Consortium for Advanced Residential Buildings," 2014. [Online]. Available: www.ntis.gov/ordering.htm
- [5] A. Rudd and D. Bergey, "Ventilation System Effectiveness and Tested Indoor Air Quality Impacts," 2014. [Online]. Available: <http://www.osti.gov/bridge>
- [6] L. Tong *et al.*, "A novel flow-guide device for uniform exhaust in a central air exhaust ventilation system," *Build Environ*, vol. 149, pp. 134–145, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.12.007.
- [7] A. Litiu, "Introduction Ventilation system types in some EU countries," 2012.
- [8] F. Durier CETIAT, "Ventilation Information Paper n° 19 Air Infiltration and Ventilation Centre © INIVE EEIG Operating Agent and Management Boulevard Poincaré 79 B-1060 Brussels-Belgium inive@bbri.be-www.inive.org International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme Trends in the French building ventilation market and drivers for changes," 2008.
- [9] Journal Officiel de la République Française, "Arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements," Nov. 1983.
- [10] J. Laverge, X. Pattyn, and A. Janssens, "Performance assessment of residential mechanical exhaust ventilation systems dimensioned in accordance with Belgian, British, Dutch, French and ASHRAE standards," *Build Environ*, vol. 59, pp. 177–186, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.buildenv.2012.08.018.
- [11] H. & C. Department for Levelling Up, "The Building Regulations 2010, Ventilation, Approved Document F, Volume 1: Dwellings," Jun. 2022, Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/61deba42d3bf7f054fcc243d/ADF1.pdf>
- [12] ASHRAE Standing Project Committee 62.2, "ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2022: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings," 2022.
- [13] J. Kiedrowski and B. Jobin, "Normal Operating Exhaust Capacity," *First Nations National Building Officers Association*, vol. 9, no. 2, 2012, Accessed: Jan. 29, 2024. [Online]. Available: <https://static1.squarespace.com/static/56191c05e4b0dfaa03498fe9t/561a810be4b0dfaa034f3385/1444577547182/2012-Spring-FNNBOA-Newsletter.pdf>
- [14] Technical Committee CEN/TC 156, "EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics," May 2007.
- [15] Technical Committee CEN/TC 156, "EN 15665: Ventilation for buildings - Determining performance criteria for residential ventilation systems," Mar. 2009.
- [16] H. M. Mathisen, P. V. Nielsen, and A. Moser, "Ventilation Effectiveness Rehva Guidebook NO 2," 2004.
- [17] M. H. Sherman and I. S. Walker, "Measured air distribution effectiveness for residential mechanical ventilation," *HVAC and R Research*, vol. 15, no. 2, pp. 211–229, 2009, doi: 10.1080/10789669.2009.10390834.
- [18] J. Laverge and A. Janssens, "Comparison Of The Use Trickle Ventilators In European Residential Ventilation Standards," 2011.
- [19] P. Karava, T. Stathopoulos, and A. K. Athienitis, "Investigation of the performance of trickle ventilators," *Build Environ*, vol. 38, no. 8, pp. 981–993, 2003, doi: 10.1016/S0360-1323(03)00035-0.
- [20] M. H. Sherman and I. S. Walker, "Meeting residential ventilation standards through dynamic control of ventilation systems," *Energy Build*, vol. 43, no. 8, pp. 1904–1912, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.037.
- [21] E. Orlando, L. Berkeley, and M. H. Sherman, "LBNL 56292 Efficacy of Intermittent Ventilation for Providing Acceptable Indoor Air Quality," 2004.

- [22] J. Laverge and A. Janssens, "Heat recovery ventilation operation traded off against natural and simple exhaust ventilation in Europe by primary energy factor, carbon dioxide emission, household consumer price and exergy," *Energy Build*, vol. 50, pp. 315–323, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.04.005.
- [23] F. Engdahl and D. Johansson, "Optimal supply air temperature with respect to energy use in a variable air volume system," *Energy Build*, vol. 36, no. 3, pp. 205–218, Mar. 2004, doi: 10.1016/j.enbuild.2003.09.007.
- [24] A. Hesarakı and S. Holmberg, "Demand-controlled ventilation in new residential buildings: Consequences on indoor air quality and energy savings," *Indoor and Built Environment*, vol. 24, no. 2, pp. 162–173, Apr. 2015, doi: 10.1177/1420326X13508565.
- [25] F. Filippidou, N. Nieboer, and H. Visscher, "Energy efficiency measures implemented in the Dutch non-profit housing sector," *Energy Build*, vol. 132, pp. 107–116, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.095.
- [26] CLIMATE DATA, "Climate Data for Cities Worldwide." Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://en.climate-data.org/>
- [27] J. Gallagher, R. Baldauf, C. H. Fuller, P. Kumar, L. W. Gill, and A. McNabola, "Passive methods for improving air quality in the built environment: A review of porous and solid barriers," *Atmospheric Environment*, vol. 120. Elsevier Ltd, pp. 61–70, Nov. 01, 2015. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.075.
- [28] D. Voordeckers, T. Lauriks, S. Denys, P. Billen, T. Tytgat, and M. Van Acker, "Guidelines for passive control of traffic-related air pollution in street canyons: An overview for urban planning," *Landscape and Urban Planning*, vol. 207. Elsevier B.V., Mar. 01, 2021. doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103980.
- [29] A. Bayram, "TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, İzmir'de Hava Kirliliği," 2014.
- [30] Türkiye İstatistik Kurumu, "Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması, 2021." Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bina-ve-Konut-Nitelikleri-Arastirmasi-2021-45870>
- [31] Programme of European Union, "Copernicus Land Monitoring Service." Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://land.copernicus.eu/en>
- [32] "WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO."
- [33] European Environment Agency, "Annual AQ statistics." Accessed: Jan. 04, 2024. [Online]. Available: <https://eeadmz1-cws-wp-air02.azurewebsites.net/index.php/users-corner/statistics-e1a-table/>

BÖLÜM 6

İNGİLTEREDE KONUTLARIN HAVALANDIRILMASI⁷³

Ventilation of Dwellings in the UK

Orhan EKREN⁷⁴

ÖZET

İngiltere, sanayi devriminin doğduğu ve dünyadaki endüstriyel gelişmenin önde gelen merkezlerinden biri olduğu için, hava kirliliği ve etkileri konusunda uzun bir tarihçeye sahiptir. Sanayi devriminin başlangıcından önce, İngiltere'deki hava oldukça temizdi. Ancak, endüstriyel üretim süreci ve kömür yakma gibi faaliyetlerle birlikte, hava kirliliği giderek artmaya başladı. 19. yüzyılın ortalarında, Londra ve diğer büyük şehirlerdeki hava kirliliği ciddi bir sorun haline geldi. Özellikle de kömürle çalışan fabrikaların yoğun olduğu bölgelerde, hava kirliliği insan sağlığına zarar vererek bazı durumlarda ölümcül sonuçlara neden oluyordu. 20. yüzyılın başlarında, İngiltere hükümeti hava kirliliği konusunda daha fazla farkındalık yaratmaya ve hava kalitesini iyileştirmek için çeşitli adımlar atmaya başladı. Bunlar arasında kömür kullanımını azaltmaya yönelik politikalar, daha katı sanayi standartları ve egzoz emisyonlarını kontrol etmek için araçların denetlenmesi gibi önlemler yer alıyordu. Sırasıyla 1956, 1968 ve 1995 yıllarında uygulamaya konulan Temiz Hava Yasası-1, Temiz Hava Yasası-2 ve Çevre Yasası bu önlemlerin ilklerinden sayılabilir.

Dış hava kirliliğini önlemeye yönelik yasalar takip eden yıllarda konut ve konut dışı binalar ile işyerlerinde havalandırma, sağlık kuralları, havalandırma tasarım detayları, havalandırma ekipmanları tasarım kuralları, binalarda iç hava kalitesi kuralları, okullarda iç hava kalitesi kuralları ve bunlarla ilişkili enerji verimliliğine yönelik kuralların düzenlenmesini zorunlu hale getirmiştir. Avrupa Birliği ile İngiltere de sıfır karbon salımı (Carbon NetZero) hedefi için ısınma, ulaşım gibi temel enerji tüketen alanlar başta olmak üzere emisyonları azaltma çabası içindedir. Bu süreçte binaların iç çevre kalitesine yönelik önlemler ve havalandırma kuralları da daha katı bir şekilde uygulanmaya, gerektiğinde güncellenmeye devam etmektedir. Halihazırda konutların havalandırması, binaların iç çevre kalitesi, okulların iç hava kalitesi uygulamada olan konu ile ilgili temel standartlardır.

1. GİRİŞ

İngiltere'de dış hava kirliliğine bağlı olarak iç hava kalitesi sorunu, özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren daha fazla dikkat çekmeye başlamış ve 1980'lerde iç hava kalitesi konusu (daha önce dış hava kalitesi önlemleri ele alınmıştı) resmi olarak ele alınmaya başlanmıştır. Bu dönemde, yapılarda havalandırma sistemleri ile ilgili standartlar ve bina yönetmelikleri yürürlüğe konulmaya başlandı. Ayrıca, iç hava kalitesi ile ilgili standartlar kapsamında çalışma ortamlarında çalışanların sağlığına yönelik önlemler alındı.

Çünkü 19.yüzyılda, Londra'da yoğunlaşan hava kirliliği sorunu, özellikle kömür dumanının neden olduğu kirlilik somut ve hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi ciddi şekilde farkındalık yaratmıştı. Özellikle, 1952 yılında Londra'da meydana gelen ve ismine "büyük sis felaketi" denilen, yoğun kömür dumanı ve sisin neden olduğu hava kirliliği nedeniyle 4.000 den fazla kişinin hayatını kaybetmesi hava kirliliği konusunda önlem alınmasını zorunlu hale getirdi [1]. Londra büyük sis felaketi, 5-9 Aralık 1952 tarihleri arasında Londra'da meydana gelen ve 5 gün süren tarihin en ölümcül "hava kirliliği" olaylarından biri olmuştur. Sis, endüstriyel fırınlar ve evsel ocaklarda fosil yakıt tüketimindeki artış ve soğuk hava nedeniyle oluşmuştu. Bu sisin neden olduğu hava kirliliği nedeniyle, görüş mesafesi

⁷³ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun oluşturduğu aynı adlı 5. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

⁷⁴ Prof.Dr. Cranfield University

düştü ve hava kalitesi ciddi şekilde bozuldu. Binlerce kişi solunum yolu enfeksiyonları, kalp krizi, astım ve diğer hastalıklar nedeniyle hayatını kaybetti.

Yüksek miktarda kirletici madde içeren hava içerisindeki temel kirletici kükürtdioksit ve partikül madde idi. Büyük sis olduğu günlerde Londra'da dış hava günlük ortalama kükürtdioksit derişimleri birbirini izleyen üç günde 3.000 ila 4.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığındaydı [1]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hava kalitesi kılavuzuna göre izin verilen değer ise 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür [1]. Günlük ince partikül madde ($\text{PM}_{2.5}$) konsantrasyonu ise 4 Aralık 1952 günü 490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüş, 7 Aralık'ta 4.460 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e yükselmiş, DSÖ güncel sınır değeri ise 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tür [1]. Bu değerler, kitabın 1. Bölüm'ünde sınır değerleri ve izin verilen maruziyet süreleriyle karşılaştırıldığında, ölümlere neden olan kirliliğin boyutu daha iyi anlaşılabilir. Bu nedenle, sis felaketi boyunca hastaneler dolup taşarken dönemin İngiltere hükümetini istifaya etme noktasına getirmişti.



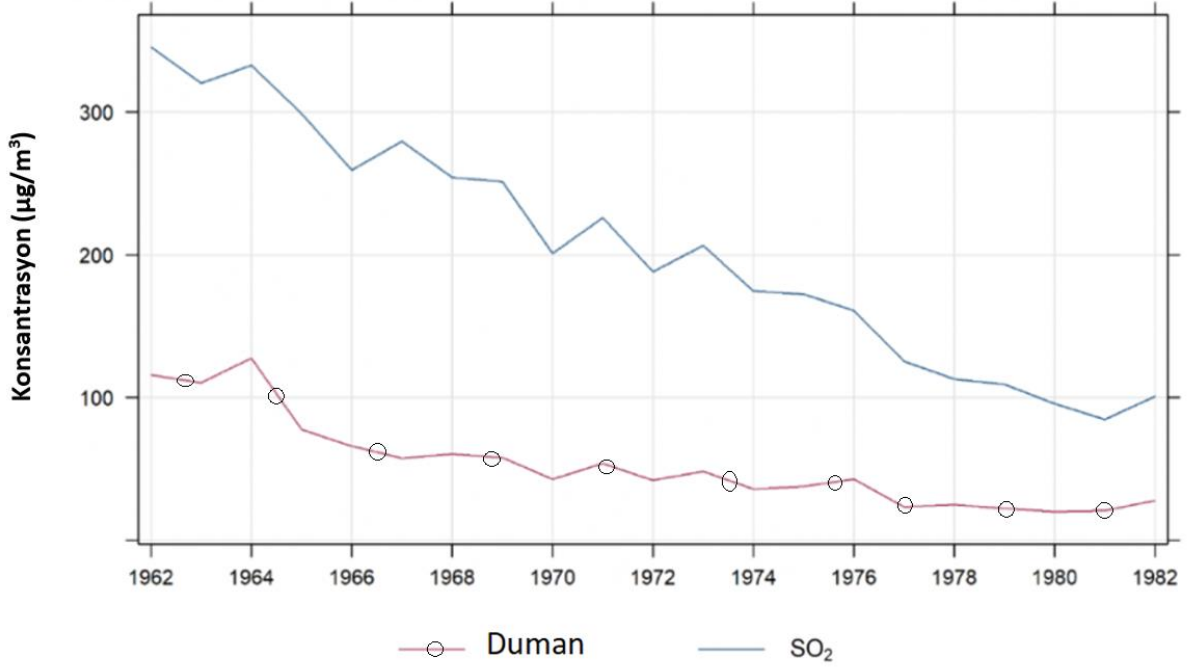
Resim 1: Londra Büyük Sis Felaketinden Dış Hava Görüntüsü (1952)

Felaketin ardından, hava kirliliği ile mücadele etmek için birçok yeni politika ve düzenlemeler uygulanmaya başlandı [2,3,4]. Bunlar sırasıyla 1956, 1968 ve 1995 yıllarında uygulamaya konulan Temiz Hava Yasası-1, Temiz Hava Yasası-2 ve Çevre Yasasıdır. 1956 tarihli Temiz Hava Yasası, kömür yakılması ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan duman ve hava kirliliğiyle mücadele etmek amacıyla kabul edildi. Bu yasa 1993 yılında yürürlükten kaldırıldı.

1968 tarihli Temiz Hava Yasası ise, kömür, sıvı veya gaz yakıt kullanan endüstrilerde uzun bacaların kullanımına ilişkin temel prensibi getirdi. Bu yasanın çıktığı tarihte, duman kaynaklı kirliliğinin kontrol edilebileceği kabul edilmişti, ancak kükürtdioksitin uzaklaştırılmasının genel olarak uygulanamaz olduğu kabul ediliyordu. Dolayısıyla baca ne kadar yüksek olursa hava kirliliğinin de o kadar iyi dağılacığı kabul edilmişti. Kükürtdioksit ve siyah duman konsantrasyonları, Birleşik Krallık hava kalitesi izleme ağlarının bir parçası olarak uzun yıllar boyunca ölçülmüş ve Westminster'deki bir ölçüm istasyonunda 1962-1982 (istasyonun ölçüm yaptığı dönem) dönemine ilişkin değişim Şekil 1'de gösterilmektedir.

Günümüzde, İngiltere'de iç hava kalitesi konusunda önlemler ve yasal düzenlemeler yenilenmeye ve geliştirilmeye halen devam ediliyor [5-24]. Hatta kamu kurumları tarafından yapılan projeler ile uygulamada bulunan yasal mevzuatın hedefine ulaşmış ve ulaşmadığı anlaşılmaya çalışılıyor. Örneğin, Topluluklar ve Yerel Yönetimler Dairesi (MHCLG) tarafından 2015-2016 kış dönemi boyunca 80 yeni evde havalandırma ve iç ortam hava kalitesini araştıran bir proje gerçekleştirilmiş ve nihai raporu yayınlanmıştır [8]. Bu projenin temel amacı, ileriki bölümde anlatılacak olan Bina Havalandırma Mevzuatı: Bölüm F'deki (Part F: Building Regulation Ventilation) havalandırma standartlarının, doğal havalandırma veya merkezi olmayan mekanik egzoz havalandırma sistemlerinin enerji verimliliği standartlarına göre inşa edilen yeni evlerde tatmin edici iç ortam hava kalitesi sağlayıp sağlamadığını

değerlendirmektir. Görüldüğü üzere uygulamaya konulan mevzuatın ihtiyaç halinde yenilenmesi için de gerekli çalışmalar bulunuyor. Yeni binaların havalandırma sistemleri kontrol ediliyor, mevcut binalarda yapılacak her tür değişiklik izin sürecinden geçiyor. Ayrıca, endüstriyel faaliyetlerde kullanılan kimyasalların ve diğer kirleticilerin binalarda kontrol altında tutulması için yönetmelikler de bulunuyor [9].



Şekil 1: Dış Hava Kükürtdioksit ve Siyah Duman Konsantrasyonunun Değişimi (Londra) [1]

Tablo 1. İngiltere’de Havalandırma ve İlgili Yasal Mevzuatın/Kuralların Sınıflandırması

	Kamu (GOV.UK)
Havalandırma	Workplace Health, Safety, and Welfare Regulations (1992) Part F: Building Regulation Ventilation
	BSI: İngiliz Standartları Enstitüsü
	BS 40102-1-2023: Health and Wellbeing and Indoor Environmental Quality in Buildings BS EN 13141-1-2019: Ventilation for Residential Buildings BS EN ISO 16890: Air Filters for General Ventilation BS 5925: Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation
	CIBSE: Bina Hizmetleri Uzman Mühendisler Enstitüsü
	Guide A: Environmental Design (2021) Guide B2: Ventilation and Ductwork (2016)
	Kamu (GOV.UK)
Enerji & ısı konfor	Part L: The Building Regulations- Conservation Fuel and Power MEES: The Domestic Minimum Energy Efficiency Standard (MEES) Regulations
	BSI: İngiliz Standartları Enstitüsü
	BS EN 16798-1:2019 Energy Performance of Buildings
	BRE: Bina Araştırmaları Kuruluşu ve Kamu (GOV.UK)
	SAP: Standard Assessment Procedure/SBEM
	CIBSE: Bina Hizmetleri Uzman Mühendisler Enstitüsü
	TM52: The Limits of Thermal Comfort TM54: Evaluating Operational Energy Use at the Design Stage TM59: Design Methodology for the Assessment of Overheating Risk in Homes TM44: Inspection of Air Conditioning Systems

İngiltere’de iç hava kalitesi, havalandırma, mekanik havalandırma sistemlerinin tasarımı başlıklardan oluşan çeşitli yasal mevzuat birbiriyle doğrudan veya dolaylı şekilde ilgili olarak termal konfor, bina yapımı ve enerji verimliliği konuları altında yer alabilmektedir. Bu yasal düzenlemeler çoğunlukla birkaç kurumun çalışması olarak sınıflandırılabilir; örneğin İngiltere kamu kurumlarının ortaya koyduğu yasal mevzuat, İngiliz Standartları Enstitüsü (BSİ) tarafından yayınlanan kurallar ve ilgili mühendislik/teknik alanda yetkin meslek kuruluşları tarafından ortaya konmuş kurallar olarak üç farklı gruptan söz edilebilir. Ayrıca, bu uygulamalara ek olarak her ne kadar BREXIT ile Avrupa Birliğinden ayrılmış olsa da AB mevzuatından henüz ayrılmamış ve onunla ilintili olanlar mevzuat da bulunmaktadır (bu sınıfta olanlar EN standardı olarak isimlendirilmiştir).

İngiltere’de konutlarda havalandırma ile doğrudan veya dolaylı şekilde ilgili olan yasal mevzuatın/kuralların sınıflandırması Tablo.1’de özetlenmiştir. Bu tabloda yer alan yasal mevzuat sonraki alt bölümde anlatılmıştır, mevzuatın uygulamasına yönelik detaylar ise 4. alt bölümde verilmiştir.

2. İNGİLTERE’DE HAVALANDIRMA GÜNCEL YASAL MEVZUATI

İngiltere havalandırma mevzuatı tek bir kurum yerine birden fazla kamu kurumu veya meslek kuruluşunun ortaya koyduğu kurallara göre şekillenmektedir. Bu özelliği nedeniyle takip etmek nispeten zor olabilmektedir. Ayrıca çeşitli yasal mevzuat birbiriyle doğrudan veya dolaylı şekilde ilgili olduğundan farklı kurumlar aynı konuda birbirinden ayrı mevzuatlar ortaya koyabildiği için dikkatli takip edilmesi gerekir. Havalandırma ile ilgili kural/mevzuat yayınlamış bu kurumlar şu şekilde özetlenebilir;

- A. GOV.UK (UK Government):** Devletin ilgili birimi tarafından üretilen mevzuatlara yer vermekte olup tamamı gov.uk web sitesinde yayınlanmaktadır.
- B. BSI (British Standard Institute):** İngiltere standartları enstitüsü olup ilgili alanda standartlar yayınlamaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği kaynaklı standartları da BS EN olarak adapte etmektedir.
- C. CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers):** Bu bir meslek kuruluşudur. Bina hizmetleri alanında çalışan uzman mühendislerin üye⁷⁵ olduğu alanında söz sahibi olan ve yayınladığı rehberler ile İngiltere’de bina enerji verimliliği, ısı konfor ve havalandırma gibi alanlarda tasarım, denetim ve uygulamalarını belirlemektedir. Ayrıca bu alanlarda çalışacak teknik elemanların sertifikalandırmasını gerçekleştirmektedir.
- D. BRE (The Building Research Establishment):** İngiltere’de kamu kurumu niteliğinde yaklaşık 100 yıl geçmişi olan ve binalara yönelik inşaat, malzeme, enerji verimliliği gibi alanlarda araştırma yapan bir araştırma laboratuvarı iken 1997 de özelleştirilmiş ancak halen binalarda konfor, enerji verimliliği ve havalandırma alanlarında standartlar üreten ve uygulamayı belirleyen bir kuruluştur (Örnek: BREAM).

Bu kısımda, yukarıdaki kurumlar tarafından yayınlanmış havalandırma ile ilgili mevzuat sırasıyla detaylı şekilde açıklanmıştır. Özet tabloda (Tablo 1) görüldüğü üzere kamu kurumları tarafından yayınlanmış doğrudan konut havalandırmasına yönelik bir temel standart bulunuyor. En fazla mevzuat İngiliz Standartlar Enstitüsü ile CIBSE tarafından yayınlanmıştır.

Kamu (GOV.UK)

2.1 İşyeri Sağlığı ve Güvenliği Düzenlemeleri (Workplace Health, Safety, and Welfare Regulations)

Bu mevzuatı yayınlayan “The Health and Safety Executive (HSE)”, İngiltere sağlık ve güvenlik işleri kurumudur. Amacı, insanların yaşadıkları ve çalıştıkları ortamda kendilerini güvende ve sağlıklı hissetmelerini sağlamak. Bu amaçla, işyeri sağlık ve güvenliğine ilişkin ulusal düzenlemeler gerçekleştirilmektedir[9].

Bu mevzuat, 1992 yılında yayınlanmıştır ve genel olarak işyeri sağlık güvenlik kurallarına ek olarak aydınlatma, mekânda hareket kuralları, temizlik ve hijyen, ile konfor şartlarına ait kurallar koymaktadır. Bunlardan konfor ile ilgili detaylar aşağıda listelenmiştir:

⁷⁵ Üyelik sistemi ciddi bir eleme/değerlendirme sürecine tabi olup zamana yayılmıştır.

- Bina içindeki işyerlerinde makul bir çalışma sıcaklığı olmalı, genellikle en az 16°C veya zorlu işler için 13°C.
- Çalışma ortamında konforlu bir sıcaklığın sağlanamadığı durumlarda yerel ısıtma veya soğutma çözümleri olmalı (örneğin sıcak ve soğuk proseslerin olduğu yerler).
- İyi havalandırma: Dışarıdan veya bir havalandırma sisteminden alınan yeterli taze, temiz hava kaynağı olmalı.
- İşyerine tehlikeli veya rahatsız edici düzeyde duman yaymayan ısıtma sistemleri kullanılmalı.
- Yeterli çalışma alanı bulunmalı (iş istasyonları ve oturma yerleri de dahil olmak üzere).

Görüldüğü üzere çalışma ortamlarının havalandırması ve konforu kurala bağlanmış ancak yeterli temiz hava denilmiş net bir hava debisi belirtilmemiştir. Bununla ilgili daha net kuralları sonraki bölümde ele alınacak olan Bina Yönetmelikleri içinde yer almaktadır.

2.2 Bina Havalandırma Mevzuatı: Bölüm F (Part F: Building Regulation Ventilation)

Bu mevzuat, 1 Aralık 2010 tarihinde İngiltere, Konut, Topluluklar ve Yerel Yönetim Bakanlığı (Ministry of Housing, Communities&Local Government) tarafından yayınlanmıştır [10]. İçerik ile ilgili en son güncelleme 15 Haziran 2022 tarihinde gerçekleşmiştir.

Temel olarak binalarda iç hava kalitesini sağlamak için gerekli olan havalandırma gereksinimini ele almaktadır. Tarihi ve bazı geleneksel binalar kapsam dışında tutulmuştur. Mevzuat konut ve konut dışı binalar olmak üzere iki bölümden oluşur. Kısım-1, konutlar için geçerli olup ilişkili olduğu standartların tanıtımından başlayarak konutların havalandırma stratejisi, gerekli hava debileri, kirleticilerin izin verilen miktarı ve maruziyet süresi gibi temel değerler verilmektedir. Devamında dış kirleticilerin konut içine girişinin engellenmesine yönelik önlemler, mevcut binalardaki tadilat ve havalandırma ile ilgili gerekli detaylar, devreye alma-test işlemleri de verilmiştir.

Tablo 2. Konut Binaları Havalandırma Mevzuatı Kapsamı [10]

Bina Havalandırma Mevzuatı: Bölüm F1 İçindekiler
Bölüm 0: Giriş
Bölüm 1: Havalandırma
Bölüm 2: Dış Kirleticilerin Girişinin Önlenmesi
Bölüm 3: Mevcut Binalarda Tadilat
Bölüm 4: Devreye Alma
Ek A: Anahtar Sözcükler
Ek B: Havalandırma Performansı
Ek C: Devreye Alma ve Kontrol Listesi
Ek D: Havalandırma Kontrol Listesi
Ek E: Atıf Yapılan Standartlar
Ek F: Atıf Yapılan Dökümanlar

Paylaşılan ortak odaları (alanları) olan (örneğin çamaşır odası, lobi veya spor salonu) daire blokları (apartmanlar) ve yalnızca konaklama amaçlı odaları olan binalar konut değildir. Bunlar konut dışı bina olarak sınıflandırılmış olup Kısım-2 kapsamındadır. Konut dışı binalara ait standardın kapsamı aşağıda tabloda özetlenmiştir. Konut dışı binalarda konut binalarına göre en önemli fark CO₂ izlemenin yer aldığı ayrı bir bölüm bulunmaktadır. Bu çalışma konut binalarını kapsadığı için uygulamaya yönelik havalandırma gereksinimlerinin anlatıldığı Bölüm 4'te konut dışı bina detaylarına yer verilmemiştir.

Tablo 3. Konut Dışı Binaların Havalandırma Mevzuatı Kapsamı [2]

Bina Havalandırma Mevzuatı: Bölüm F2 İçindekiler
Bölüm 0: Giriş
Bölüm 1: Havalandırma
Bölüm 2: Dış Kirleticilerin Girişinin Önlenmesi
Bölüm 3: Mevcut Binalarda Tadilat
Bölüm 4: Devreye Alma
Ek A: Anahtar Sözcükler

Ek B: Havalandırma Performansı
Ek C: CO₂ İzleme
Ek D: Atıf Yapılan Standartlar
Ek E: Atıf Yapılan Dökümanlar

BSI: İngiliz Standartlar Enstitüsü

2.3 BS EN 40102-1-2023: Binalarda İç Çevre Kalitesi ve Sağlık (Health and Wellbeing and Indoor Environmental Quality in Building)

İngiliz Standartları Enstitüsü tarafından hazırlıklarına 2022 yılında başlanan bu standart 29 Nisan 2023 tarihinde onaylanarak yayınlanmıştır. BS EN 40102, binalarda iç çevre kalitesi konusunu detaylı şekilde ele alan uygulamadaki en güncel yayınlardan birisidir [11]. İç çevre kalitesi bileşenlerden, hava kalitesi ve kirleticiler, aydınlatma kalitesi, akustik ve ısı konforun ölçümü, izlemesi ve performansını arttırmaya yönelik gereklilikler hakkında öneriler sunan İngiliz standardıdır.

Daha detaylı olarak, iç çevre kalitesi analizlerinin doğru yapılabilmesi için ölçüm yöntemi, sıklığı, ekipmanları hakkında bilgi içermektedir. Konfor değerlendirme için anketlerin yapılma şekli ve detayları bu standart kapsamındadır. Her bir kirletici (CO, CO₂, TVOCs, PM_{2.5}, NOx) için iç hava kalitesini sağlamak amacıyla gerekli aralıklar da bu standart kapsamında belirtilmektedir.

2.4 BS EN 13141-1-2019: Konut Binalarında Havalandırma (Ventilation for Residential Buildings)

İngiliz Standartları Enstitüsü tarafından 28 Şubat 2019 tarihinde yayınlanmıştır. Genel amacı, basınç farkı altında çalışan, harici ve dahili monte edilen hava transfer cihazlarının test edilmesine yönelik laboratuvar yöntemlerini kapsar [12]. BS EN 1314-1 on bir alt bölümden oluşur. Bu bölümler;

1. İç ve dış hava transfer cihazlarının performans testi
2. Egzoz ve besleme cihazlarının performans testi
3. Davlumbazların performans testi
4. Fanların performans testi
5. Çatı çıkış aparatlarının performans testi
6. Egzoz havalandırma sisteminin tek konut için performans testi
7. Isı geri kazanımlı mekanik besleme ve egzoz ünitesi performans testi
8. Kanalsız mekanik besleme ve egzoz ünitesi performans testi
9. Dış ortama monte edilmiş nem kontrollü hava transfer ünitesi performans testi
10. Dış ortama monte edilmiş nem kontrollü çıkış havası transfer ünitesi performans testi
11. Besleme havalandırma cihazı performans testi

Bu standart, mimarlar, klima üreticileri, iç ve dış tasarımcılar, inşaat mühendisleri tarafından kullanılır.

2.5 BS 5925: Doğal Havalandırma Tasarımı ve Havalandırma Prensipleri (Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation)

BS 5925, 31 Mayıs 1991 yılında yayınlanmış havalandırma ilkeleri ve doğal havalandırma tasarımına ilişkin uygulama kurallarını ele alan bir İngiliz Standardıdır [13]. İnsanların ikamet ettiği binaların doğal havalandırmasına yönelik tasarım yaparken uyulması gereken ilkelere ilişkin tavsiyeler vermektedir. Ancak, iç mekân hava hareketi, sıcaklık katmanlaşması, havalandırma açıklıklarının konumu vb. gibi havalandırmanın ısı konfor yönleri kapsam dışıdır. Standart genellikle aşağıdaki gruplar tarafından kullanılır:

- Havalandırma ve iklimlendirme sistemi bileşenleri üreticileri
- Kalite kontrol ve test personeli
- Makina mühendisleri
- Bina tasarımcıları, planlamacıları ve mimarları
- Bina sahipleri/yönetimi
- Yükleniciler

- Yerel yetkililer.

BS 5925, havalandırmanın ana bileşenleri, hava akış hızları ve doğal havalandırma sistemlerinin tasarımıyla konutlardaki hava sızma oranlarının tahminine ilişkin önerileri kapsayan üç bölüme ayrılmıştır. Bu amaçla, basit bir bina için kirlenme risklerinin değerlendirilmesi, kararlı durum koşulları altında yüzey yoğunlaşma riskini azaltmak için havalandırma gereksinimlerinin belirlenmesi, referans hava hızının hesaplanması ve doğal havalandırma oranlarının hesaplanması konularında öneriler sunmaktadır.

2.6 BS ISO 16890: Genel Havalandırma için Filtreler (Air Filters for General Ventilation)

Bu standart, ISO 16890 serisinde tanımlanan prosedürlere göre test edildiğinde %99'a eşit veya daha az PM₁ verimliliğine ve %20'den daha yüksek PM₁₀ verimliliğine sahip genel havalandırmaya yönelik partikül hava filtresi elemanları için test şartlarını kapsar [14]. Son yıllarda COVID-19 ile birlikte kullanımı yaygınlaşan taşınabilir oda havası temizleyicilerinde kullanılan filtre elemanları bu standart kapsamı dışındadır.

CIBSE: Bina Hizmetleri Uzman Mühendisler Enstitüsü

2.7 Rehber A: Çevresel Tasarım (Guide A: Environmental Design)

Bu rehber 2015 yılında yayınlanmış, 2021 yılında ise yenilenmiştir. Temel olarak ısıtma ve havalandırma sisteminin boyutlandırılması, termal konfor değerlendirme yöntemleri ve enerji talebi gibi tasarım kriterleri ve hesaplama yöntemleri hakkında rehberlik sağlar [15]. Havalandırma konusu "Havalandırma ve Sızıntı" adı altında ele alınmış olup alt başlıkları şu şekildedir;

- Havalandırma ve hava kalitesi
- Havalandırma ısı kaybı
- Havalandırma sistemleri
- Doğal ve karışık mod havalandırma
- Sızıntı ve doğal havalandırmayı hesaplama yöntemleri

Görüldüğü üzere önceki bölümlerde bahsedildiği üzere doğal havalandırma için ayrı bir standart olmasına rağmen bu kurum tarafından yayınlanan rehberlerde de aynı konu ele alınmıştır. Bu yönüyle İngiltere'de havalandırma mevzuat, standart ve rehberlerinin iyi incelenmesi gerekmektedir. Rehber içeriğinde yer alan diğer konu başlıkları ise şu şekilde listelenebilir [15]:

- Tasarım süreci
- Dış tasarım verileri (hava durumu, güneş enerjisi vb.)
- Bina bileşenlerinin ısıl özellikleri
- Isıl tasarım, tesis boyutlandırma ve enerji tasarrufu
- İç ısı kazançları
- Nem transferi ve yoğunlaşma ve sağlık etkileri

2.8 Rehber B2: Havalandırma ve Kanallar (Guide B2: Ventilation and Ductwork)

Aslında, Rehber B2, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin pratik tasarımına ilişkin rehberler grubunun bir tanesidir. Diğer rehberler ise aşağıda verilmiştir:

- B0: Uygulamalar
- B1: Isıtma
- B2: Havalandırma ve Kanallar
- B3: İklimlendirme ve Soğutma
- B4: Bina Sistemleri için Gürültü ve Titreşim Kontrolü

Bütün bu rehberler tasarım detaylarını örneklerle anlatır ve 70 yılı aşkın bir süredir ihtiyaca göre sürekli güncellenerek geliştirilmiş, bugüne ulaşmıştır. Rehber B2, havalandırma sistemlerinin tasarımını ele almaktadır [16]. Kapsamındaki konular şu şekilde listelenmiştir:

- Enerji ve karbon konuları
- Sistem maliyeti
- Tasarım kriterleri
 - Kirletici kontrolü
 - Taze hava besleme oranları
 - Isıl konfor için havalandırma⁷⁶
 - Nem
 - Ara yoğuşmayı önlemek için havalandırma
 - Hava hareketi: hava hızlarının sınırlandırılması
 - Hava dağıtımı
 - Gürültü
- Sistemler
 - Havalandırma sistemleri
 - Filtrasyon sistemleri
 - Isı geri kazanımlı havalandırma sistemleri
 - Kanal sistemleri
 - Havalandırma kontrol sistemleri
- Sistem tasarımı
 - Doğal havalandırma için tasarım
 - Mekanik havalandırma tasarımı
 - Karışık modlu havalandırma tasarımı
 - Kanal tasarımının ilkeleri
 - Havalandırma tasarımı hesaplama teknikleri
 - Havalandırma tasarımı ölçüm teknikleri
- Diğer tasarım hususları
 - Gürültü
 - Yangın ve duman koruması
 - Hava kaçağı
- Teçhizat
 - Fanlar
 - Hava kontrol üniteleri
 - Karışım odaları
 - Hava cihazları: Difüzörler ve terminaller
 - Havalandırma hava girişi ve tahliye noktaları
 - Proses egzoz davlumbazları
 - Kanal ekipmanı
 - Kanal bağlantıları
 - Doğal havalandırma ekipmanları
- Devreye alma, işletme ve bakım
 - Test ve devreye alma
 - Bakım ve temizlik

Görüldüğü üzere havalandırma sistemi tasarımı için gerekli tüm bileşenler yanında test devreye alma, bakım ve temizlik konuları mutlaka yasal mevzuat ile kapsama alınarak kurala bağlanmıştır. Rehber B2, binaların havalandırma sistem tasarımı için en detaylı yayın özelliğindedir.

⁷⁶ Isıl konfor için havalandırma ile doğal havalandırmadan söz ediliyor. Çünkü yeterli doğal havalandırma ve gölgeleme gibi pasif tasarım ilkeleri, tasarım sürecinin başlarında dikkate alındığında ve binanın yıl boyu performansının bir parçası olarak iç mekan termal konforunu sağlayabilir.

3. ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLİŞKİLİ KURALLAR

Avrupa Birliği ile birlikte İngiltere de sıfır karbon salımı (Carbon NetZero) hedefine ulaşmak için binalarda öncelikle ısınma olmak üzere, iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğini arttırmaya yönelik var olan uygulamalara ek olarak yeni yasal uygulamalar yürürlüğe sokulmaktadır. Bu bağlamda, havalandırma sistemleri de binalarda enerji verimliliği kapsamında kurallara tabi olmaktadır. Bu kısımda, konutlarda havalandırma ile ilgili mevzuatın enerji verimliliği mevzuatı ile ilişkisi ele alınmıştır.

3.1 Bölüm L: Bina Yönetmeliği-Yakıt ve Enerji Tasarrufu

Bunların en önemlisi mevcut ve yeni binalarda enerji performansını artırmak için kurallar koyan (Part L: The Building Regulations- Conservation Fuel and Power) Bölüm L: Bina Yönetmeliği-Yakıt ve Enerji Tasarrufu mevzuatıdır [17]. Bu kapsamda mekanik havalandırma sistemlerinin enerji verimliliğini konut tipi binalarda belirli seviyede olması zorunlu tutulmuştur. Buna göre;

- Havalandırma sistemleri, konutun havalandırma ihtiyaçlarını karşılamalıdır.
- Sistemler, binanın önemli ölçüde aşırı havalandırılmasını önlemek amacıyla uygun hava debisiyle çalışacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Mekanik havalandırma sistemleri için spesifik fan gücü aşağıdaki değerleri aşmamalıdır.
 - Aralıklı egzoz havalandırma sistemleri için: 0,5 W/(lt/s)
 - Sürekli mekanik egzoz havalandırma sistemleri için: 0,7 W/(lt/s)
 - Sürekli beslemeli havalandırma sistemleri için: 0,5 W/(lt/s)
 - Sürekli mekanik besleme ve tahliye havalandırma sistemleri için: 1,5 W/(lt/s)
- Aynı ünite içerisinde hem besleme hem de egzoz havalandırması sağlayan tüm havalandırma sistemleri aşağıdakilerin tümü ile donatılmalıdır.
 - Minimum %73 verimliliğe sahip ısı geri kazanım sistemi.
 - Yaz bypass sistemi (ısı eşanjörünü bypass etme veya ısı geri kazanım performansını kontrol etme olanağı sağlar).
 - Değişken hız kontrol cihazı.

3.2 Konutlarda Minimum Enerji Verimliliği Standardı

Diğer bir enerji verimliliği yasal uygulaması The Domestic Minimum Energy Efficiency Standard (MEES) Konut Minimum Enerji Verimliliği Standardıdır [18]. Bu standart doğrudan havalandırma sistemi ile ilgili olmasa da konut tipi binalarda minimum enerji verimliliği değerini zorunlu kıldığından kullanılacak havalandırma sistemi veya ısı geri kazanım sistemi gereksinimi (ve verimi) de dolaylı olarak etkilenmektedir. Bu yasal mevzuat kapsamında konutların kiralanabilmesi için enerji etüdü yapılması ve enerji performans sertifikası alması gerekiyor. Bu sertifikanın da mevcut binalarda şu an için EPC≥E, 2028 yılından itibaren ise EPC ≥C olması zorunlu hale gelmiştir. Bunu sağlamak için bir binada, yalıtım, verimli aydınlatma, ısı pompası kullanımı (genellikle), havalandırmada ısı geri kazanımı vb. teknik uygulamaların yapılmasını gerektirmektedir.

3.3 BS EN 16798-1:2019 Binalarda Enerji Performansı

İngiliz Standartları Enstitüsü tarafından 2019 yılında yayınlanmış olan BS EN 16798-1:2019 Binalarda Enerji Performansı standardı, bina yapımında bina enerji verimliliğini arttırmak için ısı konfor, iç hava kalitesi, aydınlatma ve akustik gibi iç çevre kalitesi parametrelerine ilişkin gereksinimleri belirtir. Bu parametrelerin bina tasarımı ve enerji performansı hesaplamaları için hangi seviyede olacağını belirtir. BS EN 16798, iç ortam kriterlerinin insanların kullanımına göre belirlendiği ve üretim veya prosesin iç ortam üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı durumlarda geçerlidir. Diğer yandan bu standart tasarım yöntemlerini belirtmez ancak bina kabuğu, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma tasarımına ısı konfor faktörleri, hava akımı, radyant sıcaklık, dikey hava sıcaklığı farklılıkları ve zemin yüzey sıcaklığı gibi tasarım için girdi parametreleri sağlar [19].

3.4 Standart Değerlendirme Prosedürü (SAP)

Standart Değerlendirme Prosedürü (SAP), İngiliz devleti tarafından konutların enerji ve çevre performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan metodolojidir [20]. Amacı, enerji ve çevre politikasını desteklemek için konutların enerji performansını doğru ve güvenilir yöntemle değerlendirilmesini sağlamaktır. Özet olarak, konut binalarının projelendirme aşamasında (Part L de ki hesap yöntemleri kullanılarak) CO₂ emisyonu ve enerji performansını hesaplayarak binanın buna göre yapımını sağlar. Konut dışı binalar için ise Basitleştirilmiş Bina Enerji Modeli (SBEM) kullanılmaktadır.

SAP hesaplamaları, Bina Yönetmelikleri: Bölüm L metotlarını kullanır. Bu nedenle, Bölüm L'de Haziran 2022'de yapılan değişiklikleri kapsayan (yakıt fiyatları, CO₂ emisyon hesaplaması ve birincil enerji faktörü hesaplama güncellemeleri) en son SAP sürümü Haziran 2022'de yürürlüğe girmiştir. Aslında SAP, Bina Araştırma Kuruluşu (BRE) tarafından 1992 yılında Çevre Bakanlığı için enerji verimliliği politikalarının uygulanmasına yardımcı olacak bir araç olarak geliştirilmiş daha sonra resmi bir standart olarak kullanılmaya başlanmış ve halen kullanılmaktadır.

Ek olarak, CIBSE tarafından yayınlanmış bina iç çevre kalitesi bileşenlerini ve enerji verimliliğini dolaylı olarak ilgilendiren yayınlanmış çeşitli rehberler bulunmaktadır:

- TM52: Isıl Konfor Limitleri (The Limits of Thermal Comfort) [21]
- TM54: Tasarım Aşamasında Operasyonel Enerji Kullanımının Değerlendirilmesi (Evaluating Operational Energy Use at the Design Stage) [22]
- TM59: Evlerde Aşırı Isınmanın Değerlendirmesi için Tasarım Yöntemi (Design Methodology for the Assessment of Overheating Risk in Homes) [23]

Diğer bir CIBSE rehberi ise enerji verimliliği ile doğrudan ilgili olan ve sonraki bölümde ele alınan TM44 kodlu rehberdir.

3.5 Klima Sistemlerinin Denetimi

Klima sistemleri denetimi, klima sistemlerinin enerji verimliliği açısından incelenmesini ele alır [24]. Çünkü İngiltere'de ilgili kamu otoritesi her 5 yılda klima sistemlerinin enerji verimliliği açısından denetlenmesini zorunlu kılmıştır. Bunun yapılmaması durumunda 300 £ para cezası bulunmaktadır. Bu konuda CIBSE tarafından yayınlanmış TM44: Inspection of Air Conditioning Systems rehberi kamu tarafından konulmuş zorunlu denetim ile örtüşmektedir.

4. GÜNCEL TASARIM ESASLARI VE UYGULAMA

İngiltere konut havalandırması için temel tasarım esasları ve uygulama, Bina Havalandırma Mevzuatı: Bölüm F (Kısım1)'e göre gerçekleştirilmektedir. Diğer ilgili mevzuat da bu konuyu desteklemektedir. Bu kısımda "Bölüm F" mevzuatı kuralları ele alınmıştır.

4.1 Havalandırma Yöntemleri

Bu mevzuatta sözü edilen havalandırmanın doğal havalandırma, mekanik havalandırma veya bunların kombinasyonu yoluyla yapılacağıdır ve aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- a. Egzoz Havalandırması
Su buharının veya kirletici maddelerin salımının muhtemel olduğu odalardan binanın geri kalanına yayılmasını en aza indirmek için (örneğin banyolar ve mutfaklar) fanlar aralıklı veya sürekli çalışabilir.
- b. Tüm konut havalandırması: Egzoz havalandırması ile giderilemeyen su buharını ve kirleticileri önlemek için binaya temiz hava sağlayıp, uygun şekilde dağıtılmasıdır.

- c. Purge (Tahliye) Havalandırması: Yüksek konsantrasyondaki kirleticileri ve su buharını gidermek için kullanılır. Tasfiye havalandırması aralıklı olarak kullanılır. Örneğin boyadan çıkan su buharı gibi ara sıra oluşan kirleticiler için gereklidir.

Burada konu edilen havalandırma kuralları yeni konutlar için olmakla birlikte mekanik havalandırma sistemi olan mevcut konut binalarında yapılacak tadilatlarla da yapılacak işin kapsamına göre bu standarda uyulması ve ilgili yerel otoriteden izin alınması gerekmektedir. Örneğin, havalandırması olan mevcut binada,

- yaşam mahali eklenmesi,
- banyo, mutfak gibi ıslak zeminli oda eklenmesi,
- havalandırma sistemini kısmi olarak değiştirme (egzoz fanı dahil)

gibi işlemlerle standarda uygun hareket edilmesi zorunluluktur.

4.2 Hava Debileri ve Tasarım

Konut havalandırmasını kapsayan Kısım-1'e göre havalandırmadan temel beklentiler aşağıdaki, şekilde sıralanmıştır:

- a. Su buharını ve iç hava kirleticilerini ürettikleri alanlardan yayılmadan önce önemli miktarlarda (örn. mutfaklar, çamaşır odaları ve banyolar) uzaklaştırmak.
- b. Yönergelere uygun olarak bina sakinlerinin sağlığı için minimum düzeyde dış hava sağlamak.
- c. İç mekân hava kirleticilerini hızla uzaklaştırmak.
- d. Rehberine uygun olarak dış hava kirleticilerinin girişini en aza indirmek.

4.2.1 Egzoz Havalandırması

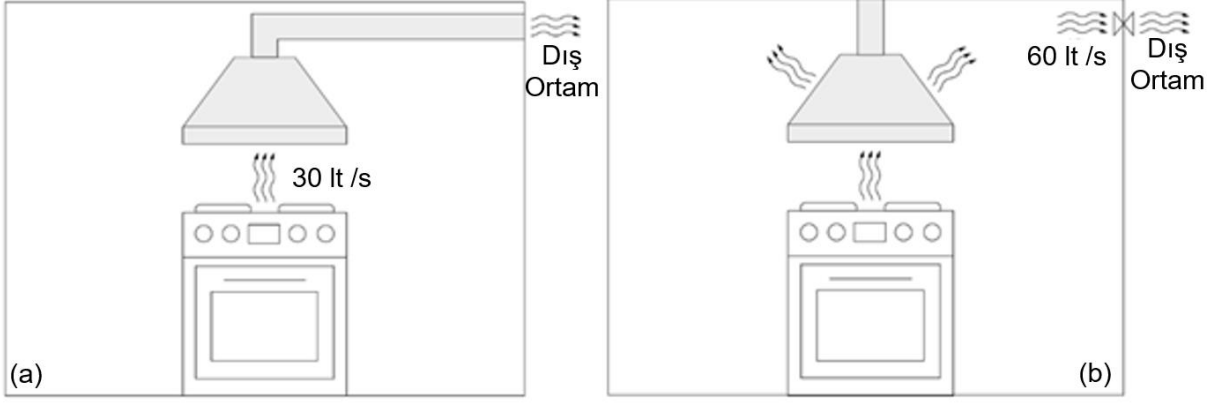
Standardın belirlediği havalandırma amaçlarına ulaşmak için mutfak, banyo gibi konut bölümlerinde kullanılan egzoz havalandırması için gerekli en az hava debileri net olarak belirlenmiştir. Buna göre aralıklı yapılan egzoz havalandırması için minimum hava debileri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Egzoz Havalandırması Hava Debisi- Aralıklı Çalışan Sistem.

Oda	Aralıklı Egzoz Havalandırma Debisi (lt/s)
Mutfak (davlumbaz egzoz bacası dışarıda) ¹	30
Mutfak (davlumbaz egzoz bacası dışarıda değil) ²	60
Ekipman/Malzeme Odası	30
Banyo	15
Konaklama Yapılabilen Oda	6

Notlar:
1) Şekil 2a
2) Şekil 2b

Egzoz havalandırması için mutfak egzoz bağlantı tipleri Şekil 2a ve 2b'de verilmiştir. Şekil 2a'da davlumbaz dış ortama egzoz yaptığı durum için minimum mutfak egzoz havalandırma debisi gösterilmektedir. Şekil 2b'de ise davlumbazın dış ortama egzoz yapmadığı durumda mutfak egzoz havalandırması için minimum havalandırma debisi görülmektedir. Şekil 2b ise gösterim amaçlı bir resirkülasyonlu ocak davlumbazı içermektedir. Resirkülasyonlu bir davlumbaz tek başına Bina Yönetmeliklerinin F Bölümüne uygun havalandırma sağlayamaz [10].



Şekil 2. Egzoz Havalandırması Egzoz Bağlantı Tipleri [10].

Sürekli yapılan egzoz havalandırması için minimum hava debileri ise Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Egzoz Havalandırması Hava Debisi- Sürekli Çalışan Sistem.

Oda	Yüksek Havalandırma Debisi (lt/s)	Sürekli Havalandırma Debisi
Mutfak	13	Konuttaki toplam sürekli egzoz havalandırma debisi en az
Ekipman/Malzeme Odası	8	Tablo 6'da verilen değerde
Banyo	8	olmalı.
Konaklama Yapılabilen Oda	6	

Not: Sürekli havalandırma debisi yüksek hava debisine eşit ya da büyük ise fazladan havalandırma gerekmez.

4.2.2 Tüm Konutun Havalandırması

Mevzuata göre konut havalandırmasında tüm odalara hava beslenebilmesi için tüm konutun minimum havalandırma debisinin aşağıdaki koşulların her ikisini de karşılaması beklenir:

- İç zemin alanının m²'si başına minimum 0,3 litre/s hava debisi (tüm katlar dahildir, ör. iki katlı bir bina için zemin kat ve birinci kat alanları eklenir).
- Tablo 6'de belirtildiği gibi odası sayısına göre belirlenen minimum hava debisi.

Tablo 6. Tüm Konut Havalandırması için Hava Debisi - Oda Sayısına Göre

Oda Sayısı ^(1,2)	Oda Sayısına Bağlı En Az Havalandırma Debisi (lt/s)
1	19
2	25
3	31
4	37
5	43

Notlar:

- 1) Konutta yalnızca yaşanabilir bir oda varsa minimum 13lt/s havalandırma debisi kullanılmalıdır.
- 2) Her bir ek oda için tablodaki değerlere 6 lt/s eklenmelidir.

Ayrıca iç kapıların havanın konut içerisinde dağılmasına izin verecek şekilde minimum alanı sağlaması beklenmektedir (bu 760 mm genişliğindeki bir kapıdaki 10 mm'lik alt boşluğa eşdeğerdir). Bunu sağlayabilmek için kapıların alt boşluğu,

- Zemin kaplaması takılıysa: Zemin kaplamasının 10 mm yukarısında,
- Zemin kaplaması takılı değilse: Zemin yüzeyinden 20 mm yukarıda olmalıdır.

4.2.3 Purge (Tahliye) Havalandırması

Bu yönetmelik kapsamında tahliye havalandırması kapı ve pencere açılarak yapılan havalandırma olarak tanımlanmıştır. Standartta göre tahliye havalandırması için şu kurallar yerine getirilmelidir:

- Yaşanabilir her odada tahliye havalandırması için bir sistem olmalıdır.
- Tahliye havalandırması, oda başına saatte 4 hava değişimini tahliye edebilme kapasitesine sahip olmalıdır (doğrudan dışarıya).
- Tahliye havalandırması aşağıdaki yollardan biriyle sağlanmalıdır.
 - Açıklıklar (örneğin pencereler veya kapılar).
 - Mekanik egzoz havalandırma sistemi.
- Tahliye havalandırmasının yaşanabilir bir odadaki açıklıklardan sağlandığı durumlarda, minimum açıklık aşağıdaki şartlar için Tablo 7'deki ölçülere uygun olmalıdır (Ref. BS 5925);
 - Tek taraflı havalandırma
 - Kentsel bir ortam
 - Saniyede 2,1 m/s rüzgâr hızı
 - Binanın içindeki ve dışındaki hava arasında sıcaklık farkı 3°C

Tablo 7. Tahliye Havalandırması için Açıklık Ölçüleri

Açıklık Tipi	En Az Toplam Açıklık Alanı
15-30° açıklık açısı olan pencere	Oda zemin alanının 1/10 u
30° veya daha büyük açıklık açısı olan pencere	
Açık Pencere	Oda zemin alanının 1/20 si
Dış Kapı	

4.2.4 Havalandırmanın Kontrol Edilmesi

Havalandırma sisteminin standartta belirlenmiş performans değerlerini sağlayıp sağlamadığına yönelik kontrol edilebilir olması zorunluluktur. Kontroller manuel veya otomatik (önceden yerleştirilen sensörler ve ölçüm, kontrol ekipmanları ile) olabilir.

- Fanlar, soğuk hava akımlarını azaltmak için zemin seviyesinden en az 1700 mm yüksekte olmalıdır, ancak yine de kullanıcıların ulaşması kolay olacaktır.
- Sürekli çalışan fanlar, bina sakinlerinin müdahalesi olmadan çalışacak şekilde ayarlanmalıdır, ancak yüksek çalışma hızını seçmek için manuel veya otomatik kontrollere sahip olmalıdır.
- Kontroller, hizmet verilen mahallere yerel olarak sağlanmalıdır; banyolar ve mutfaklar.
- Otomatik kontroller nem, doluluk/kullanım ve kirletici salınımına ilişkin sensörleri içerebilir.
- Nem sensörlerine dayalı kontroller, nem üreten odalara (örn. mutfak veya banyo) konabilir, ancak kokunun ana kirletici olduğu bölümler için kullanılmamalıdır.
- Mevcut olduğu durumlarda otomatik kontroller mahaldeki havalandırma ihtiyacına göre çalışmalıdır.

Bodrum katına sahip konutların sağlaması gereken ek kurallar:

- Zemin seviyesinin üzerindeki konut geri kalanına bağlantısı olmayan bodrum katı olan bir konut olması durumunda;
 - i. Konutun zemin seviyesinin üzerindeki kısmı ayrı olarak değerlendirilmelidir.
 - ii. Bodrum katı, zemin seviyesinin üzerinde tek katlı bir konut olarak ayrı ayrı ele alınmalıdır.
 - iii. Bodrum katında yatak odası yoksa hesaplamalarda tek yatak odalı olarak değerlendirilmelidir.
- Yalnızca bodrum katı olan bir mesken, yer üstünde tek katlı bir mesken olarak değerlendirilmelidir. Bu gibi durumlarda bodrum katı olmayan konutlara ilişkin yönergelere uyulmalıdır. Ancak doğal havalandırmaya ilişkin kılavuz, yalnızca bu konut için uygundur.

4.2.5 Isı Geri Kazanımlı Mekanik Havalandırma

Isı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi kullanılması durumunda:

- Konutun yaşanabilir her odasında mekanik besleme menfezi olmalıdır. Toplam besleme havası debisi odanın hacmi ile uyumlu olarak dağıtılmalıdır.
- Mekanik besleme menfezleri, hava akımını önlemeyecek şekilde yerleştirilmeli ve yönlendirilmelidir.
- Isı geri kazanımlı mekanik havalandırmanın minimum toplam hava debisi Tablo 6'da verilen hava debilerine uyumlu olmalıdır.
- Isı geri kazanımlı mekanik havalandırma kullanan konutlarda her ıslak zeminli odanın minimum hava debisi Tablo 5'te verilen hava debilerine uyumlu olmalıdır.
- Isı geri kazanımlı mekanik havalandırma kullanan konutlarda, ıslak zeminli odanın (örn banyo) neminin dışarıya çıkması önlenecek şekilde tasarlanmalıdır (örn. egzoz havalandırması yapılması gibi).

Konutların havalandırma sistemi tasarımına yönelik iç havadaki kirleticilerinin izin verilen miktarı ve maruziyet değerleri de Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İç Hava Kirleticileri Limit Değerleri [10]

Kirletici	Maruziyet Limiti	İzin Verilen Ortalama Maruziyet Zamanı(saat)
CO	10 mg/m ³	8
SO ₂	350 µg/m ³	1
NO ₂	125 µg/m ³	1
	200 µg/m ³	1
Benzen	40 µg/m ³	1
	5 µg/m ³	1
Kurşun	0,5 µg/m ³	1
PM _{2,5}	25 µg/m ³	1
PM ₁₀	50 µg/m ³	1
	40 µg/m ³	1

4.2 Denetim Esasları

Yeni bir binanın dereye alınması ve test işlemleri için iki tip bina kontrol birimi bulunmaktadır. Bunlar;

- i. Yerel bina kontrol birimi (Daha fazla bilgi için Bina Regülasyonu Bölüm B)
- ii. Onaylı denetçi (Daha fazla bilgi için Bina Regülasyonu Bölüm E)

Konutlarda havalandırma sistemleri yerel kontrol kuruluşu veya onaylı denetçi tarafından hava akış hızı testi ve devreye alma işlemlerinin yapılması zorunludur. Bu devreye alma sırasında;

- Bina kontrol kuruluşuna işletmeye alma bildirimini yapılmalıdır.
- Yeni konutlarda mekanik havalandırma için hava akış hızları ölçülmelidir.
- Devreye alma işleminden sorumlu kişi hava akışı ölçüm testini tamamlamalı ve devreye alma kontrol formlarını hazırlamalıdır.
- Mekanik havalandırma devreye alındığında enerji ve yakıt tüketimi de Bina Yönetmelikleri Kısım L'de ye uygun olup olmadı değerlendirilmelidir.

Bunun yanında mevcut binaların tadilatlarında da yerel kontrol birimini haberdar etmek gerekmektedir. Bunun amacı yapılacak tadilat ve bina değişikliklerinin Bina Yönetmeliklerine uygun şekilde izne tabi olmalıdır. Gerek yeni gerekse mevcut binalarda test, devreye alma ve kontrol listeleri için bu mevzuatın Ek C, D ve E bölümleri incelenebilir.

SONUÇ

İngiltere’de 17. Yüzyıldan itibaren fosil yakıt kullanımı ve ulaşım kaynaklı dış hava kirliliğinin getirdiği sorunlar büyük bir bilinçlenme yaratmıştır. Bu nedenle, 1950’li yıllardan itibaren ülke genelinde kamu tarafından ve ilgili meslek kuruluşları tarafından hava kalitesi, havalandırma, iç hava kalitesi ve kirleticilerinin kontrol altına alınması iyileştirilmesi için çalışmalar, yasalar ortaya konulmuştur. Bunların temel amacı işyerleri, konutlar ve okullar gibi binalarda bulunan insanların sağlığı ve enerji verimliliği açısından geliştirilmesi içindir. Dolayısıyla bu konuda mevcut yasal mevzuat günün getirdiği gereksinimler ile güncellenerek sürekli geliştirilerek aktif tutulmaktadır.

Teşekkür

Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunu kurarak, bu çalışmanın da dahil olduğu projeleri destekleyen Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesine çok teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

- [1]. Mayor of London, 70 years Since the Great London Smog, 5/12/2022. Received at 14/09/2023
<https://www.london.gov.uk/programmes-strategies/environment-and-climate-change/environment-and-climate-change-publications/70-years-great-london-smog>
- [2]. Clean Air Act 1956 (yürürlükten kaldırıldı:27.8.1993). Received at 14/09/2023
<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/Eliz2/4-5/52/enacted>
- [3]. Clean Air Act 1968 (yürürlükten kaldırıldı:27.8.1993). Received at 14/09/2023
<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1968/62/contents>
- [4]. Environment Act 1995. Received at 14/09/2023
<https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1995/25/contents>
- [5]. Dimitroulopoulou S, Crump D, Coward S, Brown V, Squire R, Mann H, White M, Pierce B and Ross D. Ventilation, air tightness and indoor air quality in homes in England built after 1995, BRE report BR 477, BRE, Garston, 2005.
- [6]. DEFRA, The UK Air Quality Strategy for England, Scotland, Wales and N. Ireland, 2007.
- [7]. BB 101- Building Bulletin 101, Ventilation of School Buildings, 2006. ISBN 978 0 11271 164 3
- [8]. Department of Communities and Local Government (MHCLG), Final Project Report:Ventilation and Indoor Air Quality in New Homes, 2019.
- [9]. The Health and Safety Executive (HSE), Workplace Health, Safety, and Welfare Regulation. Received at 14/09/2023
<https://www.hse.gov.uk/pubns/books/l24.htm>
- [10]. Department for Levelling Up, Housing&Communities,Part-F:Building Regulation Ventilation. Received at 14/09/2023
<https://www.gov.uk/government/publications/ventilation-approved-document-f>
- [11]. British Standards Institution, BS EN 40102-1-2023: Health and Wellbeing and Indoor Environmental Quality in Building. Received at 14/09/2023.
<https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/2021-02350#/section>
- [12]. British Standards Institution, BS EN 13141-1-2019:Ventilation for Residential Buildings. Received at 14/09/2023.
<https://knowledge.bsigroup.com/products/ventilation-for-buildings-performance-testing-of-components-products-for-residential-ventilation-externally-and-internally-mounted-air-transfer-devices/tracked-changes>
- [13]. British Standards Institution, BS 5925:Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation. Received at 14/09/2023.
<https://knowledge.bsigroup.com/products/code-of-practice-for-ventilation-principles-and-designing-for-natural-ventilation/standard>
- [14]. British Standards Institution, BS EN ISO 16890:Air Filters for General Ventilation. Received at 14/09/2023.

- <https://knowledge.bsigroup.com/products/air-filters-for-general-ventilation-conditioning-method-to-determine-the-minimum-fractional-test-efficiency-2/tracked-changes>
- [15]. CIBSE Guide A: Environmental Design(2021). Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/guide-a-environmental-design-2015>
- [16]. CIBSE Guide B2: Ventilation and Ductwork (2016) Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/guide-b2-ventilation-and-ductwork-2016>
- [17]. Department for Levelling Up, Housing&Communities, Part L:The Building Regulations-Conservation Fuel and Power. Received at 14/09/2023.
<https://www.gov.uk/government/publications/conservation-of-fuel-and-power-approved-document-1>
- [18]. Department for Energy Security and Net Zero, The Domestic Minimum Energy Efficiency Standard (MEES) Regulations. Received at 14/09/2023.
<https://www.gov.uk/guidance/domestic-private-rented-property-minimum-energy-efficiency-standard-landlord-guidance>
- [19]. British Standards Institution, BS EN 16798-1:2019 Energy Performance of Buildings. Received at 14/09/2023.
<https://knowledge.bsigroup.com/products/energy-performance-of-buildings-ventilation-for-buildings-indoor-environmental-input-parameters-for-design-and-assessment-of-energy-performance-of-buildings-addressing-indoor-air-quality-thermal-environment-lighting-and-acoustics-module/tracked-changes>
- [20]. Department for Energy Security and Net Zero&BRE. The Standard Assessment Procedure. Received at 14/09/2023.
<https://www.gov.uk/guidance/standard-assessment-procedure>
- [21]. CIBSE TM52: The limits of thermal comfort: avoiding overheating. Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/tm52-the-limits-of-thermal-comfort-avoiding-overheating-in-european-buildings>
- [22]. CIBSE TM54: Evaluating Operational Energy Use at the Design Stage. Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/tm54-evaluating-operational-energy-use-at-the-design-stage-2022>
- [23]. CIBSE TM59: Design Methodology for the Assessment of Overheating Risk in Homes. Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/technical-memorandum-59-design-methodology-for-the-assessment-of-overheating-risk-in-homes>
- [24]. CIBSE TM44: Inspection of Air Conditioning Systems. Received at 14/09/2023.
<https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/tm44-inspection-of-air-conditioning-systems>

BÖLÜM 7

AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ'NDE KONUTLARIN HAVALANDIRILMASI⁷⁷

Residential Ventilation in the USA

Macit TOKSOY⁷⁸

“Tarihsel olarak evler, tüm evi mekanik havalandırma içerecek şekilde tasarlanmamıştı. Konut kabuğu o kadar sızdırmazdı ki, önemli ölçüde doğal hava değişimi mekanik havalandırma sistemleri olmadan gerçekleşiyordu. Konutlar enerji tasarrufu ve daha iyi konfor sağlamak için daha sızdırmaz hale geldikçe, kabul edilebilir iç ortam hava kalitesini sürdürmek üzere yeterli taze havanın sağlanması için mekanik havalandırma zorunlu hale gelmiştir”. “Sızdırmaz yap, doğru havalandır” [1].

ÖZET

İnsanların fizyolojik sağlığını, üretkenliğini ve zihinsel performansını etkileyen çevre faktörlerinden ikisi ısı konforu ve iç hava kalitesidir. Günümüzde Türkiye’de, en kompleks yapılardan, tek ve çok katlı konut binalarına kadar her türlü binada, kullanıcıların ısı konforunun sağlanması için, merkezi veya bağımsız ısıtma ve soğutma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak uygun iç hava kalitesinin sağlanması için gerekli havalandırma sistemlerinin kullanılması, özellikle konutlarda, yok denecek kadar az sayıdadır. İç hava kalitesi üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarına bağlı olarak, Avrupa ve Amerika’da konut havalandırması sistematik olarak yaygınlaşırken, Türkiye’de kapı pencere açıp kapama ve infiltrasyon mekanizmalarının öngörüldüğü “planlanmamış” doğal havalandırma ile çözüm(!) bulunmaktadır. Bu çalışma Türkiye’de “planlı” konut havalandırılmasının kurumsallaştırılması amacıyla yapılan çalışmalar içinde, var olan modern pratiklerin gözlemi açısından, ABD’de yapılan uygulamaların bir değerlendirmesini içermektedir. İç Hava Kalitesi (İHK) ile insan arakesiti çok geniş transdisipliner bir alandır. Bu çalışmada ele alınan, havalandırma sistemlerinin temel giriş parametresi olan konut havalandırma debisinin belirlenmesi, yaygın olarak referans verilen ABD kaynaklı ASHRAE 62.2 standardı ve ICC–IRC kodunun ilgili bölümleri ve tesisat mühendisliği havalandırma pratiğiyle ilgili bir değerlendirmedir.

1. GİRİŞ

Tüm dünyada kapalı yaşam ortamlarındaki İç Hava Kalitesinin (İHK), insan sağlığına ve performansına etkisi, 20. yüzyılın dördüncü çeyreğinden bu yana artan bir yoğunlukla, pek çok araştırmacının ve sağlık otoritesinin dikkatini ve ilgisini çekmektedir. Yapılan araştırmaların somut bilimsel sonuçları göz önüne alınarak, konutların ve diğer binaların iç havasındaki kirliliğin, özellikle büyük endüstri şehirlerinde, dış havadaki kirlilikten önemli derecede daha fazla olabileceği EPA⁷⁹ tarafından not edilmiştir [2]. İç hava kirliliği, en başta yatak odalarında olmak üzere, konutlarda kolay algılanabilir bir olgu değildir ve kaygı verici riskli seviyelere ulaşabilmektedir. Araştırmalar, çeşitli kimyasalların göz ve derinin tahrişinden, merkezi sinir sistemine zarar vermesine ve kansere kadar, iç hava kirliliğinin insanların fiziksel sağlığını ve zihinsel performansını çeşitli seviyelerde olumsuz yönde etkilediğini göstermekte, dış ve iç havadaki kirlenmeler, mikrobiyal bağımsızlık sistem dengesini bozmaktadır [3]. İç hava kirliliğinin en güçlü etki alanında ise çocuklar, yaşlılar, solunum ve kalp damar sistemlerinde kronik rahatsızlıklara sahip hastalar vardır. Temiz (bileşenleri itibarıyla kabul edilebilir seviyelerde kompozisyonu olan) dış hava ile, konutlar dahil her türlü yaşam hacimlerinin havalandırılması bir zorunluluktur. Çünkü:

⁷⁷ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun (2023) oluşturduğu aynı adlı 6. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

⁷⁸ ME, Ms, Dr. Proje Geliştirme ve Proje Yönetimi Danışmanı.

⁷⁹ EPA: Environmental Protection Agency.

- “Yaşam hacimlerinde metabolik gazlar (oksijen ve karbondioksit) arasında uygun bir dengenin kurulması gerekir.
- İç kaynaklardan oluşan su buharı iç çevreden uzaklaştırılmalıdır.
- İnsanlardan ve diğer kaynaklardan yayılan kokular, kabul edilemez koku eşiğinin altına (unacceptable olfactory threshold) indirilmelidir.
- İnsan aktivitelerinden ve diğer iç ortam donanımlarından yayılan kirlilik bileşenleri iç ortamdan uzaklaştırılmalıdır” [4].

Orta çağın sonunda başlayan kolonileştirme akımının sonunda kurulan Amerika Birleşik Devletleri, HVAC alanının diğer dallarında olduğu gibi, konut havalandırmasında da teknolojik çerçevede, Avrupa’dan önce ilklerin gerçekleştiği bir ülkedir. ABD’de, ASHRAE⁸⁰ ve ICC⁸¹ gibi sivil toplum örgütleriyle, EPA gibi resmî kurumlarıyla, yapılan ileri araştırmalardan elde edilen bilgilerle, gelişmiş tasarım ve üretim endüstrisiyle, günümüzde konut havalandırmasında da öncü uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de henüz kurumsallaşmamış konut havalandırmasının kurumsallaşması ve geliştirilmesi çalışmalarına katkı koymak amacıyla, ABD’deki genel kabul görmüş konut havalandırması standart ve kodlarının tarihsel gelişimiyle birlikte, güncel yapılarına ait genel bir çerçeve çizmektir.

Bir konutun mekanik havalandırması için uygulanması gereken sistematik yaklaşım aşağıdaki adımları içermektedir [5]:

- “İlk planlama
 - Konut için gerekli havalandırma debisinin belirlenmesi.
 - Uyulması zorunlu kod veya programın belirlenmesi.
 - Yerel havalandırmanın söz konusu olduğu mutfak ve banyolar da dahil olmak üzere, uygun havalandırma sisteminin değerlendirilmesi.
 - Özellikle havalandırma sistemi de entegre edilecekse veya iç hava nem kontrolü söz konusuysa, kanallar da dahil olmak üzere ısıtma ve soğutma sisteminin değerlendirilmesi.
- Uygun havalandırma sistem tipinin belirlenmesi ve tasarlanması.
- ASHRAE 62.2, yasal kodlar ve proje amaçlarıyla uyumlu bir Merkezi Konut Havalandırma (MKH) sisteminin seçilmesi.
- Projenin uygulanması, gerçekleştirilen sistemin (projeye, yasal kodlara uygunluğunun ve performansının) denetlenmesi” [5].

Bu çalışmada yapılan incelemede, temel olarak ABD’de kullanılan iki standartta (ASHRAE 62.2 ve ICC IRC⁸²), sistematik yaklaşımın ilk adımı olan konut için gerekli havalandırma debisinin belirlenmesi amacıyla verilen bilgilere odaklanılmıştır.

2. ABD’DE KONUT HAVALANDIRMA STANDARTLARI ve KODLARI

17. yüzyılda, kapalı hacimlerde ısınma ve mutfak ihtiyaçları nedeniyle kullanılan ocakların ve şöminelerin yarattığı iç hava kirliliğinin sebep olduğu sağlık sorunlarının önlenmesi için, İngiltere’de, tavan yüksekliklerinin 3 m’den (10 ft) az olmaması kuralı getirilmiştir. 18. yüzyılda kapalı hacimlerin içindeki karbondioksitin 1000 ppm (Pettenkoffer sayısı) üzerindeki konsantrasyonunun, insanlardan kaynaklanan emisyonların koku konforsuzluğunu yarattığı yayınlanmıştır. İki yüzyıl sonra yine İngiltere’de, 19. yüzyılın başlarında parlamento binasının yeniden yapılması esnasında, türünün ilk örneği olarak, buharlı bir indirekt hava ısıtıcısı ile dış hava ısıtılarak kanallarla bina içine dağıtılmış, iç hava kalitesi iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Amerikalı kütüphaneci, bina tasarımcısı ve cerrah John Shaw BILLINGS, 1893 yılında, 18. yüzyılın sonuna doğru Amerika’da yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda, her insan için kapalı hacime kişi başına minimum 14.2 l/s (30 cfm) dış havanın sağlanmasını önermiş, 28.3 l/s hava debisinin ideal

⁸⁰ ASHRAE: Amerikan Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers

⁸¹ ICC: International Code Council

⁸² IRC: International Residential Code

olduğunu belirtmiştir [6]. ASHVE⁸³ 1895'te minimum değeri kabul etmiştir. Massachusetts eyaleti minimum 9.4 l/s hava debisini yasal zorunluluk haline getirmiş, 1925'te 22 eyalet aynı şartı kabul etmiş, ev ısıtması ve havalandırması için ilk kuralları yayınlamışlardır [6].

İç hava kirliliğinin insan sağlığına ve performansına etkisi üzerine, günümüzde de devam eden binlerce araştırma sonucunda, gelişmiş ülkelerin tamamında havalandırma sistemleri, yapıların integral bir parçası haline gelmiştir. Konut havalandırması pek çok ülkede artık bina mekanik sistemlerinin önemli ve zorunlu bir bileşenidir. Türkiye'nin de üretim ihraç ettiği ısı geri kazanımlı havalandırma üniteleri Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

ABD'de bina tasarımı, inşaatı ve denetimleri, özel mesleki kuruluşlarca geliştirilen, ilgili sektörün tüm bileşenleriyle, akademinin ve ulusal otoritelerin üzerinde fikir birliğine vardığı, yerel (eyaletler) ve ulusal (federal) yönetimlerce zorunlu kurallar haline getirilmiş standart ve binaların inşasındaki minimum gereklilikleri içeren kodlar ile gerçekleştirilmektedir.

"Bina kodları, bir binanın inşası için minimum standartları belirleyen dokümanlardır. Kodların kendisi yasal olarak bağlayıcı değildir. Bunlar daha ziyade, yasal yargı bölgelerinin (eyaletlerin) tüzük ve yönetmelikler geliştirirken yararlanacakları "modeller" olarak hizmet ederler. Bina yönetmeliklerinin temel amacı, binaların ve yapıların inşası ve kullanılmasıyla ilgili oldukları için halk sağlığını, güvenliğini ve genel refahı korumaktır". "Bina kodları yargı bölgesinde yerel ve/veya federal yönetimce veya özel otorite tarafından yürürlüğe sokulduğunda kanun haline gelir" [7].

ABD'de yaygın olarak kullanılan bina kodları, özel bir kuruluş olan Uluslararası Kod Konseyi'nin (ICC), üç yılda bir periyodik olarak geliştirerek yayınladığı, Uluslararası Bina Kodlarıdır (International Building Code). Bunlardan biri, konutlar için çıkarılmış, 50 eyalette, New York gibi şehirlerde, ayrı ayrı uyarlanmış Uluslararası Konut Kodu'dur (IRC). Bu kodun içindeki mekanik havalandırma bölümü konutların havalandırılması ile ilgili özellikleri belirlemektedir.

ABD'de ısı konfor alanında olduğu gibi, iç hava kalitesini korumak amacıyla havalandırma üzerine standart geliştiren, bir sivil meslek örgütü olan organizasyon ASHRAE'dir. ASHRAE sadece ABD'de değil, hemen hemen tüm dünyada, standartları kullanılan ya da örnek alınan bir odak noktasıdır.

2.1 TARİHSEL PERSPEKTİFTE ASHRAE KONUT HAVALANDIRMA STANDARTLARI

Amerika Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneğinin (ASHRAE) temelleri 1894 yılında atılmıştır. 1894 yılında kurulmuş Amerikan Isıtma ve iklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHAE)⁸⁴ ve 1904 yılında kurulmuş Amerika Soğutma Mühendisleri Derneği (ASRE)⁸⁵ 1959 yılında birleşerek günümüzdeki kimliği ile ASHRAE'yi oluşturmuştur [8]. İç Hava Kalitesi konusundaki standartlarıyla da son otuz yılda liderliğini sürdürmeye devam etmektedir.

Konutlar ve diğer binalar için çıkarılan ASHRAE Standartları, içerdikleri tasarım şartlarının (havalandırma debileri, dış hava kalitesi limit değerleri, vb.) ve iç hava kalitesi sistemlerinin tasarımındaki değişiminin gözlenmesi açısından iyi bir kaynaktır.

ASHRAE 62 – 1973

Kapanmayan bir gündem olarak devam eden petrol krizinin çıktığı 1973 yılında, 1946 versiyonu ASA A53.1 standartının "Light and Ventilation"⁸⁶ bölümü yerine geçen ilk ASHRAE 62.1973 "Natural and Mechanical Ventilation"⁸⁷ Standartını yayımlanmıştır. Standartın "Amaç ve Kapsam" bölümünde, "*insanların yaşadığı hacimler için havalandırma gereksinimlerini tanımlamak ve insanların sağlığını, güvenliğini ve kendilerini iyi hissetmelerini korumak amacıyla minimum ve tavsiye edilen hava debisini belirlemek*" yer almaktadır [9]. Yine aynı bölümde "*İyi bir havalandırma uygulaması, göz önüne alınan hacimde gerekli oksijen, karbondioksit ve diğer hava kalitesi seviyelerini sağlayacak, yeterli temiz*

⁸³ ASHVAE: American Society of Heating and Ventilating Engineers

⁸⁴ ASHAE: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers

⁸⁵ ASRE : American Society of Refrigerating Engineers

⁸⁶ Aydınlanma ve Havalandırma

⁸⁷ Doğal ve Mekanik Havalandırma

havalandırma debisinin sağlanması” olarak tanımlamıştır. 1973 yılından 2007 yılına kadar 62 standartlarında, dış Atmosferik hava için limit kirlilik değerlerine de yer verilmiştir. Tablo 1’de ASHRAE 62-1973 ÷ ASHRAE 62-2007 standartlarında yer alan ve hem içerik hem de kabul edilebilir değerler açısından çok değişen dış hava limit değerleri gösterilmiştir. 2007’den sonra, dış hava kabul edilebilir limit değerleri için, standartın bir parçası olmadığı notu ile National Ambient Air Quality Standards⁸⁸ verileri ek olarak yer almaktadır.

Tablo 1. ASHRAE 62-1972 – ASHRAE 62-2007 standartlarında dış hava kirleticileri kabul edilebilir limit değerleri seviyeleri.

1972				2007						
Kirlenici	Yıllık Aritmetik Ortalama (µg/m ³)	(Yılda bir defadan fazla aşılmamak üzere) Kısa Dönem Maruziyet (µg/m ³)	Ortalama Zamanı (saat)	EPA Dış Hava için Ulusal Primer Dış Hava Kalite Standartı						
				Uzun Dönem			Kısa Dönem			
				Ortalama (µg/m ³)	ppm	Ortalama Zamanı	Ortalama (µg/m ³)		ppm	Ortalama Zamanı
Kükürt dioksit	80	150	24	80	0.03	1 yıl	365 ^a	0,14 ^a	24 saat	
Partiküller	60	150	24	50 ^b	-	1 yıl	150 ^a	-	24 saat	
Kükürt oksitler	80	400	24				40000 ^a	35 ^a	1 saat	
Karbon monoksit	20000	30000	8				10000 ^a	9 ^a	8 saat	
Fotokimyasal oksidanlar	100	500	1				235 ^c	0,12 ^c	1 saat	
(Metan hariç) Hidrokarbonlar	1800	4000	3							
Azot oksitler	200	500	24	100	0.055	1 yıl				
Koku	Eğitim verilmemiş 10 denegin %60’ı tarafından itiraz edilmeyen seviye			1,5	-	3 ay ^d				
(*) 1975 ABD Federal Kriteri				a: Yılda bir defadan fazla aşılmamak üzere b: Aritmetik ortalama c: Ek H Bölüm C, 40 CFR %-2 göre. d: Bir çeyrek takvim üç aydır						

62-1973 Standartında, fonksiyonu (ticari, endüstriyel ve konut) farklı 271 bina türü için, kişi başına minimum ve tavsiye edilen dış hava debileri verilmiştir. Konutlar için verilen değerler Tablo 2’de yer almaktadır.

Tablo 2. ASHRAE 62-1973 Standartında, konutlarda kişi başına önerilen dış hava debileri (l/s.kişi)

Konut tipi ve konut içi mahaller	Mimumum (l/s.kişi)	Önerilen (l/s.kişi)	Notlar
Bağımsız tek konut			
Genel kullanım alanları	2.4	3.3	
Yatak odası	0.9	3.3	
Mutfak	9.4	14.2-23.6	*
Tuvalet ve Banyo	9.4	14.2-23.7	*
Bodrum ve depolar	2.4	2.4	
Çok konutlu binalar – Apartmanlar			
Genel kullanım alanları	2.4	3.3 - 4.7	
Yatak odası	0.9	3.3 - 4.7	
Mutfak	9.4	14.2-23.6	*
Tuvalet ve banyo	9.4	14.2-23.7	*
Bodrum ve depolar	2.4	3.3 - 4.7	
Garajlar	7.5	10 - 15	**
Mobil evler	2.4	3.3 - 4.7	
Tasarım için insan yoğunluğu bilinmediğinde kullanılmak üzere, yaklaşık 100 m ² (1000 ft ²) alana düşen insan sayısı, genel kullanım alanları ve yatak odaları için bağımsız tek konutlarda 5, çok konutlu binalarda 7, Mobil evlerde 7 olarak öngörülmüştür.			
* Aralıklı kullanım için sistem kapasitesi			
** metrekare alan için l/s			

1973 senesinde çıkan enerji krizi sonucu enerji tasarrufu tedbirleri içinde konutların sızdırmazlığının artırılması nedeniyle, açılır kapanır pencerelerin ve infiltrasyon aralıklarının konutlarda insanlar için yeterli temiz havayı sağlamadığı düşüncesiyle, 1997 yılında kurulan komitenin çalışmaları sonucunda

⁸⁸ Ulusal Dış Hava Kalitesi Standartları

“ASHRAE 62.2 – 2003 Indoor Air Quality in Low-Rising Residential Buildings⁸⁹” olarak, ASHRAE konutlar için ayrı bir standart yayınlamıştır. 2001 yılına kadar, çok sınırlı da olsa 62 nolu standartlar içinde ele alınan konut havalandırması, 2003 tarihinden itibaren söz konusu 62.2 koduyla ayrı bir standart olmuştur. 62 kodlu standartlar ise ASHRAE 62.1 serisiyle 2004’ten itibaren, konut dışı binalar için yayınlanmaya devam etmiştir.

Konutlar için ilk standart olması nedeniyle, ASHRAE 62.2 – 2003 standartının içeriği, yazarın içinde yer aldığı çalışma grubunun⁹⁰, Türkiye’de konutlarda iç hava kalitesi uygulama esaslarının oluşturulması hedefi açısından, yol gösterici bulunmuştur.

ASHRAE 62.2-2003

SHERMAN’ın [10], ASHRAE 62.2-2003 Standartını detaylı olarak incelediği çalışmasında, standartın gerekliliği ve kapsadığı alanlar için yaptığı değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

Gerekçe:

- *ASHRAE 62-2001’e kadar yayınlanan standartlarda temel olarak, konut ve konutun mutfak, banyo, tuvalet, garaj gibi bölümleri için havalandırma debileri verilmiş olmasına karşın, havalandırmanın nasıl yapılacağı yer almamıştır. 62-2001’de konutlar için yarım sayfalık bir metin söz konusudur.*
- *Tek bir standartta, hem konutların hem de konut dışı binaların ele alınması uygun değildir.*

Standartın oluşturulmasında göz önüne alınan kriterler ve alanlar:

- *Çeşitli iklim koşullarındaki, çok çeşitli konutların kullanıcıları için alternatif öneriler göz önüne alınmıştır.*
- *Konutlarda evin **bir bütün olarak**, yerel egzoz uygulamasıyla ve kirlilik kaynak kontrolü ile havalandırılması göz önünde tutulmuştur.*
- ***Fanların sesi ve debileri, bu özelliklerin etiketlenmesi**, havalandırma nedeniyle olabilecek sorunlar gibi ikincil konular da standartın içinde yer almıştır.*
- *Konutun bir bütün olarak havalandırılmasında, **konutun büyüklüğü (yatak odası sayıları ile) bir parametre olarak göz önüne alınmıştır.***
- *Açılabilir pencereler yoluyla doğal havalandırma için, konut bölüm alanına göre pencere büyüklüğü tanımlanmış, dış çevre kirliliği (hava ve gürültü) halinde mekanik sistemlerin kullanılması önerilmiştir.*
- ***İnfiltrasyonun havalandırılmaya katkısının, söz konusu debinin varlığı kanıtlanmadıkça, göz önüne alınmaması önerilmiştir.** Yeni yapılacak binalarda, konutların infiltrasyon havalandırılmasını sağlayacak infiltrasyon aralıklarının tasarımda göz önüne alınması, yaratacağı konforsuzluk, enerji kayıpları ve muhtemel nem sorunlarında ötürü, çekici bir alternatif olarak görülmemiştir.*
- ***Kullanıcıların** işletme ve bakım için, havalandırma ve konutlarındaki sistemler ve kontrolleri konusunda **eğitilmeleri** ve **ilgili belgelerin geliştirilmesinin** önemi göz önüne alınmıştır.*
- *Havalandırma sistemlerinin **egzoz çıkışı ile taze hava girişi arasındaki ilişki** üzerinde durulmuştur.*
- *Konut içindeki nemin, bacalı ve bacasız yakma araçlarının doğuracağı sorunlar göz önüne alınmıştır.*
- *Standartın, içindeki alternatif seçimler için rehber olması göz önüne alınmıştır.*
- *Standart hem yeni binalar hem de var olan binalara uygulanabilir varsayılmıştır.*

SHERMAN[10], yukarıdaki özelliklere bağlı olarak tasarımılanan binaların ticari anlamda daha başarılı olacağını öngörmüştür.

2.2 ICC - IRC

Amerika’da ulusal bina yönetmelikleri için görevli herhangi bir otorite yoktur. Bunlar kamu ve özel teşebbüs iş birliğiyle, ICC (International Code Council) liderliğinde oluşturulmaktadır. Bina

⁸⁹ Düşük Gabarili (en fazla dört katlı) Konut Binalarında İç Hava Kalitesi

⁹⁰ Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubu, 2022.

yönetmeliklerinin (codes)⁹¹ adaptasyonu, uygulanması ve denetimi eyalet yönetimlerinin ve yerel adalet kurumlarının sorumluluğundadır. ICC, 1994'te, bina tasarım ve yapım endüstrisinin tüm ülke için tek bir set ulusal model kod (Model Code) geliştirilmesi isteği üzerine, üç bölgesel organizasyon⁹² tarafından kurulmuştur [11]. 2003'te de üç organizasyon bağımsız yapılarını sona erdirerek ICC içine katılmışlardır. ICC, Kâr gütmeyen bir sivil toplum kuruluşudur. Günümüzde ICC bünyesinde sekiz ayrı alt kuruluş vardır⁹³. Konut havalandırması alanında üç senede bir yenilediği, Uluslararası Konut Kodu 'nu (IRC) yayımlamaktadır.

ICC Organizasyonunun amacı, federal ve yerel yönetimlerin binalarla ilgili yasa ve kurallarıyla ilişkili olarak, kullanabilecekleri "Model-öneri" yönetmelik ve standartları geliştirmek ve bakımını yaparak, federal ve yerel yönetimlerinin ilgili hizmetlerini üstlenerek, ulusal ve yerel yönetimlerin yükünü azaltmak olarak tanımlanmıştır [11, 12].

ICC'nin günümüzde 41 ülkede 64.000 üyesi mevcuttur. İlk kodu 1995'te yayınlayan ICC'nin geliştirdiği bir kısmını bina mekanik sistemleri ile ilgili 12 standart ve 15 kodu vardır. Yönetmelikleri ve standartları 50 eyalette ve Columbia Bölgesinde (Washington D.C) yasal mevzuat olarak kullanılmaktadır. ICC bina endüstrisindeki 100 yıllık tecrübesiyle, Amerika'daki bina yönetmeliklerini geliştiren en büyük bağımsız organizasyondur. ICC hizmetleri temel olarak aşağıdaki alanları kapsar:

- Yönetmeliklerin ve standartların geliştirilmesi
- Ürünlerin değerlendirilmesi ve testleri
- Akreditasyon
- Yazılım ve teknoloji
- Danışmanlık
- Personel sertifikasyonu
- Eğitim – öğretim

3. GÜNCEL STANDARTLAR VE KODLAR

ABD'de, daha önce belirtildiği üzere, ASHRAE Standartları ve ICC – IRC kodları tasarım, uygulama, işletme ve bakım ile ilgili model-öneri dokümanlardır; ancak yerel veya ulusal otoritelerce, aynen veya modifiye edilerek yasal statüye kavuşturulduktan sonra pratikte zorunlu kurallar haline gelirler. Söz konusu standartlar (ASHRAE) ve kodlar (ICC-IRC), her üç yılda bir gözden geçirilerek güncellenmektedirler. Literatür değerlendirildiğinde eyaletlerin farklı yıllara ait versiyonları kullandıkları görülmektedir. Pek çok eyaletin kendi yasal mevzuatını IRC-2018 kodunu uyarlayarak oluşturduğu izlenmektedir. Bu çalışmada önce güncel ASHRAE 62.2-2022 standartı ve sonra da örnek olarak Washington Eyaletinin, IRC 2018'i temel alan, 7 Eylül 2020 tarihinde kabul ettiği bina kodu (Washington State Building Code) içindeki "Mekanik Havalandırma" bölümü örnek olarak incelenmiştir.

3.1 ANSI/ASHRAE Standart 62.2-2022⁹⁴

Bu standart, 2003 yılından bu yana üç yılda bir değişikliklerle tekrar yayınlanan standart dizininin en son yayınlanan versiyonudur. Standartın amacı, *"konutlarda kabul edilebilir iç hava kalitesi sağlamada mekanik havalandırmanın, doğal havalandırmanın ve bina kabuğunun rollerini ve minimum gerekliliklerini tanımlamaktır"* [13]. Standartın kapsadığı bina türü, içinde yaşayanların geçici olmadığı konut birimleridir.

⁹¹ "Code", "Model Code" ve "Standard" kelimelerinin anlamları arasında farklılıklar söz konusudur. Genel olarak "Code" bir şeyin ne olması gerektiği belirten zorunlu kurallar seti – yönetmelikler, "Model Code" ise öneri yönetmeliklerdir. Öneri yönetmelik federal veya yerel otorite ve adalet kurumları tarafından kabul edilince "Code" zorunlu yönetmelik haline gelir. Standard ise "Code" ile ne olduğu tanımlanmış bir şeyin nasıl yapılacağını tanımlayan dokümandır.

⁹² Building Officials and Code Administrators International, Inc. (BOCA), International Conference of Building Officials (ICBO) ve Southern Building Code Congress International, Inc. (SBCCI).

⁹³ ICC Evaluation Service (ICC-ES) - S. K. Ghosh Associates - the International Accreditation Service (IAS) - General Code - ICC NTA - ICC Community Development Solutions - Alliance for National & Community Resilience (ANCR) - Progressive Engineering Inc.

⁹⁴ ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings

Konutların kabul edilebilir iç hava kalitesine sahip olması amacıyla havalandırması için öngörülen gereklilikler, bu çalışmanın kapsamı doğrultusunda, aşağıda özetlenmiştir. Özetlenen bazı şartların istisnaları verilmiştir. Ancak açıklamalarda “istisnalar söz konusudur” notu ile belirtilen istisnalar açıklanmamıştır. İstisna açıklamaları için standarta başvurulmalıdır.

- Her konut bir egzoz fanı veya bir besleme (taze hava) fanı veya her ikisinin kombinasyonunda oluşan bir mekanik havalandırma sistemine sahip olmalıdır.
- Konutun toplam minimum taze hava ihtiyacı aşağıdaki eşitlik 1 ile veya Tablo 3'ten hesaplanmalıdır (istisnalar vardır):

$$Q_v = 0.15 \times A + 3.5 (N_{br} + 1) \quad (1)$$

Q_v = Minimum hava debisi (l/s)
 A = Evin toplam alanı (m²)
 N_{br} = Yatak odası sayısı (1'den küçük olamaz)

Tablo 3. ASHRAE 62.2-2022'ye göre konut toplam alanı ve yatak odası sayısına göre havalandırma debileri.

Alan, A (m ²)	Yatak odası sayısı, N _{br}				
	1	2	3	4	5
<47	14	18	21	25	28
47-93	21	24	28	31	35
94-139	28	31	35	38	42
140-186	35	38	42	45	49
187-232	42	45	49	52	56
233-279	49	52	56	59	63
280-325	56	59	63	66	70
326-372	63	60	70	73	77
373-418	70	73	77	80	84
419-465	77	80	84	87	91

Eşitlik 1 ve Tablo 3 için öngörülen insan yoğunluğu, stüdyo konutlar ve bir yatak odalı konutlar için 2'dir. Her ilave yatak odası için bir kişi kabul edilmiştir. Bu değerlerden daha fazla insan yoğunluğu olduğunda, her bir insan için 3.5 l/s debi ilave edilmelidir. “Denetim Otoritesi” (AHJ)⁹⁵ onaylarsa, daha düşük insan yoğunluğu kullanılabilir

Not 1: Otoritenin kriterleri verilmemiştir.

Not 2: Tablo 3 geliştirilirken, Eşitlik 1'de alan aralıklarının ortalaması kullanılmıştır.

- Sızdırmazlık testi yapılan, dört tarafı açık (detached) veya yatay olarak ayırık (horizontally detached) konutlar için, ölçülen infiltrasyon debisine bağlı olarak, Eşitlik 1'den veya Tablo 3'ten hesaplanan taze hava debisinin azaltılması için detaylı algoritmalar verilmiştir (Bölüm 4.1.2).
- Hava dağıtım sistemine, filtreleme faktörüne, filtrelenmiş zaman ortalaması hava debisine bağlı olarak, toplam minimum hava debisinin azaltılması için algoritma verilmiştir (Bölüm 4.1.4).
- Konut havalandırma sistemi, bir veya daha fazla egzoz veya taze hava besleme fanı ve ilgili kanallarla kontrol birimlerinden oluşmaktadır. Sadece egzoz edilerek havalandırılan bitişik konutlar için şartlar getirilmiştir (Bölüm 4.2).

⁹⁵ AHJ: Authority Having Jurisdiction

- Standartta hava debilerinin ölçülmesi, havalandırma sisteminin kontrolü, değişken debili mekanik havalandırma, gerçek zamanlı kontrol, eşdeğer havalandırma konularında şartlar verilmiştir (Bölüm 4.3 – 4.6).
- Bütün mutfaklarda ve tuvaletlerde, talep kontrollü veya sürekli çalışan mekanik egzoz sisteminin, Tablo 4 ve Tablo 5'te belirtilen minimum hava debilerini sağlamak üzere oluşturulması önerilmektedir. Yapılan sistemin hava debisi ölçülmelidir. Ölçüm yapılmasına gerek olmayan istisna haller belirtilmiştir.

Tablo 4. ASHRAE 62.2-2022 talep kontrollü havalandırma yerel egzoz hava debileri.

Uygulama	Hava debisi
Kapalı mutfak	<ul style="list-style-type: none">• Davlumbaz (cihaz-davlumbaz kombinasyonu dahil): 50 l/s (100 cfm)• Diğer mutfak egzoz fanları ve sistemleri*: 150 l/s (300 cfm)
Açık mutfak	<ul style="list-style-type: none">• Davlumbaz (cihaz-davlumbaz kombinasyonu dahil): 50 l/s (100 cfm)• Diğer mutfak egzoz fanları ve sistemleri*: 150 l/s (300 cfm)
Banyo	25 l/s (50 cfm)
(*) : Ocak üstü veya yanı egzoz fanı – davlumbazlar (downdraft – updraft ventilation)	

Tablo 5. ASHRAE 62.2-2022, sürekli havalandırma yerel egzoz hava debileri.

Uygulama	Hava debisi
Kapalı mutfak	Mutfak hacmine bağlı olarak saatte 5 hava değişimi (5 ACH)
Banyo	20 l/s (10 cfm)

- Standartta göz önüne alınan diğer havalandırma bileşenleri alanları aşağıda sıralanmıştır.

Diğer Gereklilikler (Bölüm 6):

- Konutlara ek hacimlerle konutların havalandırma ilişkisi.
- Bitişik konutlarla havalandırma ilişkisi.
- Garajlarla konutun havalandırma ilişkisi.
- Hava kanallarının yeri, sızdırmazlıkları, testleri.
- Kontrol organlarının etiketlenmesi.
- Giysi kurutucularının egzoz edilmesi.
- Katı, sıvı ve gaz yakıcılarla ilgili havalandırma tedbirleri.
- Konut içindeki her yaşam alanı için havalandırma açıklıkları.
- Konuta hava girişleri ve istisnaları.
- Havalandırma açıklıkları.
- Minimum partikül filtrasyonu.
- Karbon monoksit alarmı.

Fanlar (Air Movement Equipment):

- Fanların performans ölçümleri.
- Montajları.
- Fanların gürültü ölçümleri, istisnaları.
- Egzoz kanalları.

İşletme ve Bakım Gereklilikleri:

- Havalandırma sisteminin tasarlandığı gibi inşası.
- İşletme talimatı.

- Standartta üçü standartın bir parçası zorunlu(normative), ikisi bilgilendirici (Informative) olmak üzere beş ek vardır:
 - Mevcut Binalarda Havalandırma (Zorunlu).
 - İnfiltrasyon Etkinliği, İklim ve Gölgeleme Faktörü (Zorunlu).
 - İzafi Maruziyet – Zamanla Değişen Havalandırma(Zorunlu).

- Referanslar (Bilgilendirici).
- ANSI/ASHRAE Standart 62.2-2019'a göre yapılan değişiklikler (Bilgilendirici).

3.2 ICC – IRC 2018

Uluslararası Bina Kodu (IRC) 2018, pek çok eyalet tarafından bina tasarımı, inşaatı, denetimi anlamında yasal statüde kullanılan kuralları içeren modeldir. Bu çalışmada Washington Eyaleti tarafından 7 Eylül 2020'de yasal hale getirilen versiyonu örnek olarak incelenmiştir. Bu kodun havalandırma ile ilgili olan kısmı "Mekanik Havalandırma" (Section: WAC 51-51-1505; 1505 - Mechanical Ventilation) bölümüdür ve aşağıda özetlenmiştir. Diğer eyaletlerde de benzeri veya önceki kod versiyonlarını esas alan mekanik havalandırma esasları yasal çerçeveyi belirlemektedir.

Washington Eyaleti Yönetim Kodu (Washington Administrative Code (WAC)

WAC 51-51-1505 Section M1505—Mekanik Havalandırma (Mechanical Ventilation) [14].

- Her konutta bir havalandırma sistemi olmalıdır.
- Bir bütün olarak konutun havalandırılmasının tasarımı aşağıdaki şartlara göre yapılmalıdır:
 - Bir bütün olarak konutun havalandırılması (Merkezi Konut Havalandırılması, MKH), ilgili kanal ve kontrol sistemleriyle birlikte, bir veya birden fazla taze hava fanı, bir veya birden fazla egzoz fanı veya bütünleşmiş fanlarıyla birlikte bir **Enerji Geri Kazanımlı Havalandırma (EGKH) / Isı Geri kazanımlı Havalandırma (IGKH)-(ERV/HRV)⁹⁶ ünitesine** sahip olmalıdır.
 - Yerel egzoz fanları (mutfak, tuvalet ve banyolarda) uygun bir kontrol sistemiyle birlikte, MKH'nın bir parçası olarak kullanılabilir. MKH, aralıklı çalışma öngörülmediyse, minimum havalandırma debisinde sürekli çalışmalıdır.
- MKH sisteminde konut içindeki **yaşanılan her mahalle kanallarla dış hava** sağlanmalıdır.
- Kod içinde egzoz ve taze hava fanlarının, IGKH ünitelerinin bağlantı detayları, testleri, geri basma (back draft) tedbirleri, enerji performansları, gürültü standartları, sertifikaları, MKH sisteminin kontrolü konularında bilgiler verilmiştir.
- MKH sisteminde sağlanması gereken minimum havalandırma debisi için aşağıdaki Tablo 6 veya eşitlik 2'nin kullanılması öngörülmektedir.
- Tablo 6'da verilen minimum havalandırma debisi, MKH sisteminin dengeli (balanced) ve dağıtılmış (distributed) sistem olup olmadığına bağlı olarak Tablo 7'deki katsayılarla çarpılmalıdır.
- MKH sisteminin 4 saatlik aralıkta en az 2 saat çalıştırılması öngörülmüştür. Her dört saatlik aralıkta çalışma yüzdesine (%) bağlı olarak, hesaplanan minimum hava debisinin kesikli çalışma faktörü (Tablo 8) ile çarpılması öngörülmüştür. Tablodaki değerler enterpole edilebilir ancak ekstrapole edilemez olarak not düşülmüştür.

Tablo 6: WAC 51-51-1505 koduna göre minimum hava debileri [14].

MİNİMUM HAVA DEBİSİ, Q_v (l/s)					
Alan, A (m ²)	Yatak odası sayısı, N_{br}				
	1	2	3	4	5
<47	14	14	17	21	24
47-93	14	17	21	24	26
94-139	14	19	21	26	28
140-186	17	21	24	28	31
187-232	19	24	26	31	33
233-279	21	26	28	33	35
280-325	24	28	31	35	38
326-372	26	31	33	38	40
373-418	28	33	35	40	42
419-465	31	35	38	42	45

$$Q_v = 0.0508 \times A + 3.5 (N_{br} + 1)$$

(2)

⁹⁶ ERV: Energy Recovery Ventilation; HRV: Heat Recovery Ventilation

Q_v = Minimum hava debisi (l/s)
 A = Evin toplam alanı
 N_{br} = Yatak odası sayısı

Eşitlik 2'ye göre 14 l/s'nin altında hesaplandığında havalandırma debisi 14 l/s olarak belirlenmelidir.

Tablo 7. MKH sistemi kalite düzenleme katsayıları [14].

Hava Debisinde Kalite Düzenleme	Düzenleme Katsayısı, C_{system}		
	Sistem tipi	Dağıtılmış (Distributed)	Dağıtılmamış (Not Distributed)
$Q_v = Q_r \times C_{system}$ Q_v = Kalitesi düzenlenmiş hava debisi (l/s) Q_r = Tablo 6 veya eşitlik 2'den hesaplanmış minimum havalandırma debisi (l/s)	Dengeli (Balanced)	1.0	1.25
	Dengeli olmayan (Not Balanced)	1.25	1.5

Tablo 8. MKH kesikli çalışma faktörü [14].

4 saatlik aralıkta çalışma yüzdesi	⇒	%50	%66	%75	%100
Faktör	⇒	2	1.5	1.3	1.0

□ Yerel egzoz sistemleri:

- Minimum hava debileri için Tablo 9'da verilen değerler önerilmektedir.
- Kod içinde yerel egzoz sistemlerin ekipmanlarının özellikleri, testleri, kontrolü alanlarında şartlar verilmektedir.

Tablo 9. Egzoz alanları minimum hava debileri [14].

Egzoz edilecek alan	Egzoz Debileri (l/s)	
	Kesikli Havalandırma	Sürekli Havalandırma
Mutfak	47	13 (12)*
Banyo ve tuvaletler	24	9
(*): IRC-2021'de 13 l/s (30 cfm) yerine 12 l/s (25 cm) önerilmektedir.		

Not 1: WAC 51-51-1505 kodunda verilmiş olan Tablo 6'de verilen bazı değerlerin, yatak odaları sayısı ile toplam konut alanı ilişkisi değerlendirilirse, pratikte herhangi bir karşılığı olmadığı görülmektedir. IRC 2018 (5. Versiyon 2022) konut alanlarının büyütüldüğü bir tablo vermektedir (Tablo 10). Bazı kodlarda ise (2021 Oregon) sadece eşitlik verilmiştir.

Not 2: Tablo 6'nın türetildiği Eşitlik 2'ye göre hesaplamada, konut alan aralıklarının üst sınırları kullanılmıştır. Tablo 10'da ise hem konut alanlarının üst değerleri hem de yatak odası sayısı aralıklarının üst değeri kullanılmıştır. Yatak odası sayısının 7'den büyük halinde ise yatak odası sayısı 10 alınmıştır.

Not 3: Eşitlik 2 ile hesaplanan Tablo 6 ve Tablo 10'daki değerler ile ASHRAE 62.2 2022'de verilen değerler (Tablo 3) karşılaştırıldığında, ASHRAE tarafından önerilen hava debilerinin IRC kodlarına göre yaklaşık iki kat büyüklükte olduğu görülmektedir.

Tablo 10. IRC 2018 (5. Versiyon-2022) [15].

Minimum Hava Debisi, Q_v (l/s)					
Toplam Konut Alanı (m ²)	Yatak Odası Sayısı				
	0-1	2-3	4-5	6-7	>7 (10)
<139	14	21	28	35	42
140-279	21	28	35	42	49
279-418	28	35	42	49	56
419-557	35	42	49	56	63
558-697	42	49	56	63	70
> 698	49	56	63	70	77

Not 4. IRC-2021 kodunda (Bölüm 1505) [16], 2018 kodunda öngörülen 4 saatlik aralık içinde en az 2 saatlik çalışmanın gerekliliği 1 saate kadar indirilmiştir. Böylece daha düşük çalışma saatleri için kesikli çalışma faktörüne ihtiyaç duyulduğundan kesikli çalışma faktörleri tablosu aşağıdaki gibi yenilenmiştir.

Tablo 11. IRC-2021 Kesikli çalışma faktörleri [16].

4 saatlik aralıkta çalışma yüzdesi ⇒	%25	%33	%50	%66	%75	%100
Faktör ⇒	4	3	2	1.5	1.3	1.0

Bu tabloda verilen değerlerin incelenmesinden, kesikli çalışma faktörleri ile dört saatlik zaman dilimindeki çalışma yüzdesi arasında aşağıdaki eşitlik geçerli olduğu görülmüştür.:

$$\text{Kesikli Çalışma Faktörü} = 101.24 \times (\text{Çalışma Yüzdesi})^{-1.005} ; \quad (R^2 = 0.9997)$$

Not 5: IRC-2021’de getirilen bir değişiklik de MKH’da, eğer mutfığa, yemek odasına ve oturma odasından (living room) birine veya daha fazlasına besleme kanalı doğrudan bağlandıysa veya MKH sistemi IGKH sistemi ise, yukarıda verilen tablolardan hesaplanan minimum hava debisinin %30 azaltılacağıdır.

SONUÇ

Konutların havalandırma sistemlerinin projelendirilmesinin ilk adımı konut içine verilecek kabul edilebilir nitelikte bileşime sahip temiz dış havanın miktarının belirlenmesidir. ABD’de konut havalandırılması için kullanılan yerleşik ve yaygın standart, en yeni versiyonu 2022 senesinde yayınlanan ASHRAE 62.2-2022 standardı, yine yerleşik ve yaygın olarak model alınan kod ise en son versiyonu 2021 de çıkan ICC IRC – 2021 kodudur. Üç yılda bir gözden geçirilerek geliştirilen söz konusu belgelerin uygulamada yasal zorunluluklar haline gelmesi, ancak yerel (eyaletler, şehirler) ve/veya federal yönetimlerin bu öneri-modellere dayalı kendi kodlarını - yönetmeliklerini – yayımlamaları ile mümkün olmaktadır.

2003 yılına kadar konut hacimlerinin (genel kullanım alanları, yatak odaları, mutfak, banyo ve tuvaletler) her biri için ASHRAE 62-2003’te ayrı ayrı havalandırma debisi verilirken, konutlar için 62.2 standartının çıkarılmasından sonra konutlar içindeki hava değişimi, taban alanına ve yatak odası sayısına bağlı olarak, konutun bütünü için belirlenmektedir. Standartın son versiyonunu ASHRAE 62.2 – 2022’de bir bütün olarak konutun havalandırma debisinin belirlenmesi için Eşitlikle 1 önerilmektedir:

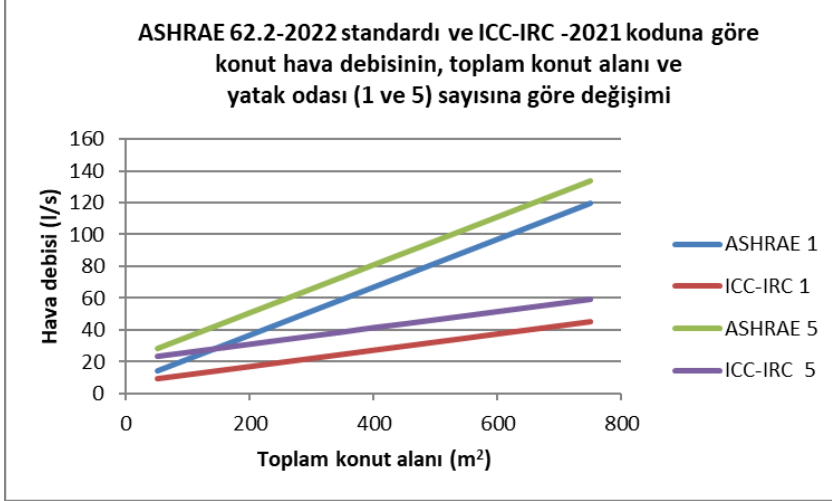
$$Q_v = 0.15 \times A + 3.5 (N_{br} + 1) ; \quad (\text{ASHRAE 62.2-2022}) \quad (1)$$

- Q_v = Minimum hava debisi (l/s)
 A = Evin toplam alanı (m²)
 N_{br} = Yatak odası sayısı (1’den küçük olamaz)

ICC-IRC – 2021 kodunda ise verilen Eşitlik 2'dir:

$$Q_v = 0.0508 \times A + 3.5396 \times (N_{br} + 1) \quad ; \quad (\text{ICC IRC} - 2021) \quad (2)$$

Örnek olarak 1 ve 5 yatak odalı konutlarda, eşitlik 1 ve 2'ye göre hesaplanan havalandırma debilerinin Şekil 1'de verilen karşılaştırılmasından, iki standartın önerdiği hava debileri arasında toplam konut alanı arttığında büyük fark olduğu görülmektedir.



Şekil 1: Konut alanı ve yatak odası sayısına göre eşitlik 1 ve 2'nin karşılaştırılması.

Standart ve kod içinde havalandırma debisi için ilgili eşitlikler (1 ve 2) kullanılarak hesaplanmış tabloların (Tablo 1 ve Tablo 3) oluşturulmasında da farklar vardır. Tablo 1'deki değerler ortalama alan değerlerine göre hesaplanırken, Tablo 3'te alan aralığının üst değerine göre hesaplanmıştır.

Havalandırma, temel olarak, konut içindeki her bölümde, her yaşta insanın fizyolojik sağlığı ve zihinsel performansı için, söz konusu bölümlerdeki havanın içindeki kirleticilerin, dış hava sirkülasyonu sağlanarak limit değerlerinin kabul edilebilir sınır değerlerinin altına indirilmesidir. Kirletici konsantrasyonları, havalandırma tipi ve performansına, kirletici kaynakların cinslerine, emisyon hızlarına ve kontrolüne, konuttaki insan yoğunluğuna, infiltrasyona, konutun diğer konutlarla ve yapılarla ilişkisine, konutun mimarisine ve yapısal özelliklerine, konut içindeki donanımlara ve dış hava kirliliğine bağlıdır. Bu çalışmada örnek olarak yapılan incelemede temel olarak, özellikle enerji tasarrufu nedeniyle sızdırmazlığı çok geliştirilmiş konutların merkezi mekanik havalandırılması (MKH) için önerilen ve tasarımın ilk adımı olan havalandırma debisi dikkate alınmıştır. Türkiye'de konutların iç hava kalitesinin geliştirilmesi amacıyla başlatılan teknik ve yasal alt yapı mevzuatı çalışmalarının, ilgili tüm bileşenlerin bir bütünlük içinde ele alınmasıyla yürütülmesi önemlidir.

KAYNAKLAR

- [25]. LUBLINER, M. vd. "Residential Ventilation Systems". ASHRAE Journal March 2020.
- [26]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/inside-story-guide-indoor-air-quality>
- [27]. TAYLOR, S. "Using a Human Health Standard for IAQ Management". ASHRAE JOURNAL, NOVEMBER 2022.
- [28]. BERK, J.V. vd. "The Effects Of Energy Efficient Ventilation Rates on Indoor Air Quality at a California High School". LBL-9174, 1979.
- [29]. "Whole-House Ventilation Strategies for New Homes". <https://basc.pnnl.gov/resource-guides/whole-house-ventilation-strategies-new-homes>
- [30]. <https://www.airassurance.com/blog/2019/03/12/the-history-of-home-ventilation>

- [31]. <https://guides.libraries.psu.edu/c.php?g=388626&p=3484426>
- [32]. <https://www.ashrae.org/about>
- [33]. STANKE, D. "Ventilation Through the Years: A Perspective". ASHRAE Journal, August 1999. ASHRAE. "Standard for Natural and Mechanical Ventilation, 1973.
- [34]. SHERMAN, M.H. "ASHRAE's First Residential Ventilation Standard". Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, LBNL-54331, 2004.
- [35]. <https://www.iccsafe.org/about/who-we-are/>
- [36]. ICC. Bylaws for the International Code Council, Inc. December 10, 2021.
- [37]. ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2022 Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings, 2022.
- [38]. <https://app.leg.wa.gov/wac/default.aspx?cite=51-51-1505>
- [39]. <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2018P5/preface>
- [40]. <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2021P2/chapter-15-exhaust-systems>

BÖLÜM 8

KONUT HAVALANDIRMASI TASARIM ESASLARI I: TASARIM KABULLERİ ve TASARIM GİRİŞ PARAMETRELERİ⁹⁷ 1

Residential Ventilation Design Fundamentals I: Design Assumptions and Design Input Parameters 1

Güniz GACANER ERMİN⁹⁸
Sait Cemil SOFUOĞLU⁹⁹
Macit TOKSOY¹⁰⁰
Sinan AKTAKKA¹⁰¹
Seçkin Tuncer ERDOĞMUŞ¹⁰²

Bugün yazılanlar çok yakın bir zamanda geçersiz olacaktır. Çünkü o, gök küre, çok hızlı değişiyor...

ÖZET

Konutların havalandırılması tarihi İran'da MÖ 3000 yıllarına, Mısırda MÖ 1300 yıllarına kadar gitmesine, konut dışı binalarda bina mekanik sistemleri içinde havalandırma, yüz yılı aşkın bir zamanda gelişen teknolojiyle birlikte giderek standart uygulama haline gelmişken, konutlardaki havalandırma ancak bu yüzyıl içinde önem kazanmış ve uygulama yaygınlaşmıştır. ABD ve AB'de 21. Yüzyıl içinde bir yandan ilgili bilimsel ve teknik alt yapı gelişirken, konut havalandırmasının öneminin, bilimsel ve teknolojik temelin, mevcut standartların, kodların ve yönetmeliklerin geliştirilmesi üzerine yayınların sürdüğü görülmektedir [1-7].

Havalandırma sistemi tasarım süreci, diğer mühendislik uygulamaları gibi, sistematik bir yaklaşımı gerektirir. Bu sistematik yaklaşımda havalandırma sistemi tasarımının ilk adımı, nihai uygulama projesini şekillendiren başlangıçta yapılan tasarım kabulleri ve giriş parametrelerinin, mevcut yapı kodları (standartlar, yönetmelikler, şartnameler, güncel mühendislik bilgi ve teknolojisi) çerçevesinde belirlenmesidir.

Fonksiyonları farklı binalardaki havalandırma sistem ve ekipmanları, enerji tüketimi hesaplanması, performans ölçme ve değerlendirme, tasarım esasları, ölçülendirme, kontrol, bakım ve temizlikle ilgili 100'ün üzerinde özgün veya AB normlarından uyarlanmış Türk standardı vardır. Bunlardan 28 tanesi, konut havalandırması ve içlerinde konut havalandırması ile ilgili bölümlerin olduğu bina havalandırmasına ait standartlardır.

Türkiye'de iç hava kalitesi, ısı konfor ve enerji tüketimi açısından kontrolsüz ve planlanmamış doğal havalandırma pratiği (infiltrasyon, pencere ve kapı açılması) dışında, kontrollü ve planlanmış konut havalandırması henüz mimari kodlar içinde geliştirilmemiştir. Bu çalışmanın amacı, var olan Türk Standartlarını, Avrupa Birliği'nden doğrudan uyarlanmış normları ve ulusal yönetmelikleri göz önüne alarak, konut havalandırmasının tasarımının ilk adımı olan konut havalandırması tasarım kabullerinin ve tasarım giriş verilerinin bir analizini yapmak ve tartışmaya açarak oluşturulması gereken yasal mevzuat ve uygulamalar için öneri geliştirmektir. TS EN 14788:-2006:2006 standardı içinde tasarım adımları verilmiş, ilk adımı yapılmaması gereken kabuller sıralanmıştır. TS EN 16798-1:2019 standardı içinde de tasarım giriş parametreleri bölümüne yer verilmiştir. Bu çalışmada her iki standartta anılan bölümler incelenerek, ayrıca diğer standartlar ve uygulama pratiğinden öngörülen bazı giriş parametreleri de göz önüne alınarak, konut havalandırma sistemi tasarımı kabulleri ve

⁹⁷ Bu çalışma Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinin oluşturduğu Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun (2023) oluşturduğu aynı adlı 8. Proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

⁹⁸ Güniz Gacaner ERMİN. GG Mühendislik. gunizgacaner@ggmuhendislik.com.tr

⁹⁹ Sait C.SOFUOĞLU. Prof.Dr. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü. cemilsofuoğlu@iyte.edu.tr

¹⁰⁰ Macit TOKSOY. RD&PM-F. macittoksoy@gmail.com

¹⁰¹ Sinan AKTAKKA. Doğu İklimlendirme A.Ş. sinan.aktakka@doguiklimlendirme.com

¹⁰² Seçkin Tuncer ERDOĞMUŞ. Doğu İklimlendirme A.Ş. seckin.erdogmus@doguiklimlendirme.com

tasarım giriş parametreleri öneri tablosu ve bu tablodaki ilk dört alan değerlendirilerek ilgili öneriler geliştirilmiştir. Çalışmanın devamında da geriye kalan kabuller ve giriş parametrelerinin değerlendirilmesi ve ilgili önerilerin geliştirilmesi gerçekleştirilecektir.

1. GİRİŞ

Hava kirliliğinin insan sağlığı, bilişim performansı ve üretkenliği, son zamanlarda yapılan araştırmalara göre yaratıcılığı üzerine olumsuz etkilerinin gözlemlendiği araştırmaların giderek artması, diğer alanlardan geç de olsa insanların ve özellikle çocukların zamanlarının büyük bir kısmını geçirdikleri konutların havalandırmasının da önemini artırmıştır. 2003 yılına kadar tüm binaları kapsayan ASHRAE 62 Standardı, bu yıldan sonra 62.1 ve 62.2 kodlarıyla ikiye ayrılarak. 62.1 konut dışı binaları içermiş, 62.2 de [8] konutlar için her üç yılda bir gözden geçirilerek ve geliştirilerek yayınlanmaya başlamıştır. Konutlar ile ilgili TS CEN TR 14788:2006 gibi teknik rapor olarak yayınlanan dokümanlar Avrupa Birliği (AB) mevzuatı içinde geliştirilmiş ve üye ülkeler tarafından uyarlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak ABD ve AB içinde pek çok ülkede konutların havalandırılması zorunlu hale gelmiştir.

Konut havalandırmasının tasarım, uygulama ve denetim süreçlerine ait bilgi ve teknoloji gelişmeye devam ederken, normlarını adapte ettiğimiz AB ülkelerindeki uygulamalarda, yayınlanmış normların ülke standartlarına bıraktığı alanlarda farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Bu farklılıklarının en önemlisi, ülkeler tarafından belirlenen tasarımın giriş verilerinden biri olan bir bütün olarak konut, konut mahalleri ve konutta yaşayan kişi başına birim zamanda göz önüne alınacak hava debileridir. "Air Infiltration and Ventilation Center"ın (AIVC)" yayınladığı teknik not dokümanında [9] "Farklı ülkelerdeki farklı havalandırma sistemlerinin yaygınlığından da görülebileceği gibi iklim, havalandırma sisteminin seçimini etkiler" notuyla ve özet iklim çeşitleriyle birlikte verilmiş, 11 Avrupa ülkesi ve 3 Avrupa dışındaki ülke için düzenlenmiş bir tabloda söz konusu debi farklılıkları gösterilmiştir.

Bu çalışmada TS CEN TR 14788:2006 [10] standartında verilen tasarım adımları temel alınarak geliştirilmiş ve havalandırma tasarımının ilk adımı olan "tasarım kabullerini içeren bir model sunulmuştur. Aynı konuda TS EN 16798-1:2019 [11] standardında, tasarım giriş parametreleri tanımlarıyla tasarımın başlangıç noktasına ait bir bölüm yer almıştır. Tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri olarak birlikte değerlendirilen bilgiler geliştirilecek havalandırma tasarımının, ulusal yoksa uluslararası standartlara, yönetmeliklere, güncel bilimsel ve teknik bilgiye dayalı temel giriş verileridir. Geliştirilen modelde, her iki standarttaki tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametrelerinin, ayrıca bu bilgilere ek olarak diğer iki standartta (TS CR 1752[12], TS 3419[13]) yer alan parametrelerin ve nihai olarak standartlarda yer almayan ve gerekli görülen diğer giriş parametrelerinin kümesi oluşturulmuş, gereklilikleri açıklanmış, bu küme içinde yer alan her madde için ilgili standartlar ve yasal mevzuat, güncel bilimsel ve teknik bilgi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak konut havalandırma sistemleri tasarımının birinci adımı için, proje dokümanları içinde yer alması gereken bir standart tablo önerisi geliştirilmiştir. Bu tabloda yer alan ilk üç madde (0,1,2) detaylı olarak incelenmiş ve öneriler geliştirilmiştir. Çalışmanın devamında diğer maddeler ele alınacaktır.

2. TÜRK STANDARTLARI ve YASAL MEVZUATINDA, İÇ HAVA KALİTESİ, HAVALANDIRMA ve HAVALANDIRMA TASARIMI

Bu çalışmanın ilk adımı olarak, konut havalandırma sistemleri tasarımı için mevcut özgün ve EN normlarından uyarlanan Türk Standartları, yönetmelikler ve şartnameler gözden geçirilmiş, tasarımın başlangıcındaki sınır şartları olan tasarım adımları, tasarım kabulleri ve tasarım giriş verileri belirlenmiştir.

Standartlar

Türk Standartları Enstitüsünün standart arama sitesinde [14], havalandırma kelimeleriyle yapılan aramada, iptal edilmiş standartlar dışında, 114 standart bulunmuştur (Ek 1). Bu standartların 28

tanisi konut havalandırması ve içlerinde konut havalandırmasıyla ilgili bölümlerin de bulunduğu standartlardır. Diğerleri konut dışında farklı fonksiyonları olan binalar ve farklı süreçler için sistem ve ekipmanları, enerji tüketimi hesaplamalarını, performans ölçme ve değerlendirme yöntemlerini, tasarım esaslarını, ölçülendirme, kontrol, bakım ve temizlik işlemlerini içermektedir.

Ek 1'de verilen konut havalandırması tasarımıyla ilgili veya konut havalandırma tasarımıyla ilgili bölümler içeren standartlar aşağıda verilmiştir.

- TS 3419:2002 *Havalandırma ve iklimlendirme tesisleri - Projelendirme kuralları*: Bu standartın içinde, bu çalışmanın konusu olan havalandırma sistemlerinin sistematik tasarım adımlarıyla ve bu adımların ilki olan tasarım kabulleri ve tasarım giriş verileriyle ilgili bir yaklaşım verilmemiştir.
- TS CR 1752:2002 *"Havalandırma - Binalar için bina içi ortamlar için tasarım kuralları"* standardı içinde tasarım kabulü ve tasarım giriş parametresi olarak değerlendirilebilecek maddeler yer almaktadır.
- TS CEN TR 14788:2006 *"Binalarda havalandırma- Konut havalandırma sistemi tasarımı ve boyutlandırılması"* standardında konut havalandırma sisteminin tasarım adımları ve bu adımların ilki olan tasarım kabulleri verilmiştir.
- TS EN 16798-1:2019 *"Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 1: Binaların enerji performansının tasarımı ve değerlendirilmesi için iç ortam çevresel girdi parametreleri iç ortam hava kalitesi, termal ortam, aydınlatma ve akustiği ele alma - Modül M1-6"* standardında ise, *"Binaların tasarımı ve ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin boyutlandırılması için tasarım girdi parametreleri"* adıyla bir bölüm yer almıştır.

Bu standartların içinde sadece TSE CEN TR 14788-2006 standardı konutlar için geliştirilmiş standarttır.

Bu çalışmada öneri tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri geliştirilirken söz konusu dört standart, yönetmelikler, şartnameler ve yazarlar tarafından öngörülen diğer giriş verileri göz önüne alınarak, havalandırma tasarımının ilk adımı olan tasarım kabulleri ve tasarım giriş verileri öneri tablosu (Tablo 6) hazırlanmıştır.

3. KONUT HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN TASARIM ADIMLARI

Havalandırma sistemi tasarımı birbirini takip eden ve önceki adımın bir sonraki adımda giriş verisi olarak kullanıldığı sistematik bir süreçtir. Havalandırma tasarımı ile ilgili sistematik yaklaşım adımları TSE CEN TR 14788-2006 içinde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

- 1.Adım: Havalandırma sistemi tasarımı kabullerinin belirlenmesi.
- 2.Adım: Tasarım performans gerekliliklerinin belirlenmesi.
- 3.Adım: Sistem seçimi ve kontrol tanımları.
- 4.Adım: Egzoz ve emme menfezlerinin yerlerini de içeren havalandırma sistemi çiziminin yapılması.
- 5.Adım: Öngörülen tasarım hava debisine ulaşmak üzere bileşenlerin (terminaller, kanallar, hava transfer cihazları, fanlar vs.) büyüklerinin ve performans ölçütlerinin belirlenmesi.

İlk adımdaki tasarım kabulleri, bir tasarımın detaylarının belirlenmesinin ve tasarımda beklenen performans beklentisinin hangi kabuller, seçimler ve yaygın kabul görmüş esaslar (standartlar, yönetmelikler, şartnameler ve güncel mühendislik pratiği) çerçevesinde yapıldığını belirtir. Bir anlamda yapılan tasarımın sonucunun sınır şartlarıdır. Şüphesiz tasarımı eksiksiz olarak yapılan havalandırma sisteminin işletmedeki performansı, tasarım sonucu beklenen performans ile aynı olmayabilir. Tasarımdan işletmeye kadar olan tüm süreçler de (uygulama, uygulama denetimi, TAD ve işletme performansı) nihai sonucu etkiler.

TSE CEN TR 14788-2006 içinde "Havalandırma sistemi tasarımı kabullerinin belirlenmesi" olarak öngörülen ilk adım, TS EN 16798-1:2019 standardı içinde "Binaların tasarımı ve ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinin boyutlandırılması için tasarım girdi parametreleri" olarak verilmiştir. İlk adım aslında hem tasarımcının seçimine kalmış kabulleri hem de iklim koşulları gibi, standartların öngördüğü kriterler olmak üzere tasarımcının seçimine bağlı olmayan giriş parametrelerini

içermektedir. Bu yüzden ilk adımın “Havalandırma sisteminin tasarım kabullerinin ve tasarım giriş parametrelerinin belirlenmesi” olarak adlandırılması daha uygun olacaktır.

4. STANDARTLARDA HAVALANDIRMA TASARIMI KABULLERİ ve TASARIM GİRİŞ PARAMETRELERİ

Bu bölümde yukarıda verilen dört standartta [10,11,12,13] verilen bilgiler ve bunlara ek olarak yazarların öngördüğü giriş verileri değerlendirilmiştir.

4.1 TSE CEN TR 14788-2006

TSE tarafından aynen uyarlanan bu standartta, tasarım kabulleri olarak Tablo 1’de yer alan 16 madde verilmiştir. Bu maddelerin bir kısmı doğrudan havalandırma sisteminin tasarımıyla ilgili bir kısmı da havalandırma yoluyla ısı konfor sistemi tasarımı ve enerji tüketimini belirleyecek parametrelerdir. Standartta “bu tasarım kabulleri sistemin tanımlanmasında belirtilmeli ve işletme kitabında yer almalıdır” notu düşülmüştür.

Tablo 1. Havalandırma sistemi tasarım kabullerinin belirlenmesi (TSE CEN TR 14788-2006).

No	Tasarım Kabulleri
1	Dış hava koşulları
2	Dış havanın kirlilik seviyesi
3	Dış ortam gürültü seviyesi
4	Binanın (dış etkenlere karşı) korunaklığı
5	Binanın sızdırmazlığı
6	Binanın ısı karakteristikleri
7	Bina bileşenlerinin (duvarlar, pencereler vs.) akustik karakteristikleri
8	Bina içindeki iç hava kalitesi limit değerleri
9	İç ortam ısı konfor şartları
10	İç ortam akustik konfor şartları
11	Odalardaki ve/veya tasarımı yapılan konuttaki insan sayısı
12	İç hava kirleticileri emisyon hızları
13	Havalandırma sistemi gürültüsü
14	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun yerleşimi
15	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun kullanımı
16	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun temizliği ve bakımı

TSE CEN TR 14788-2006 Standartında yer alan tasarımın 2. adımında yer alan gerekliliklerin, seçim ve tanımların da tasarımı etkileyecek kabuller olma ihtimali açısından değerlendirilmesini önemlidir. Standartta yer alan 2. adımdaki gereksinimler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. (2. Adım): Tasarım performans gereklilikleri (TSE CEN TR 14788-2006).

No	Tasarım performans gereklilikleri		
1	Havalandırma sistemi hava debisi		
	1.1	Kirletici grupları	
		Grup 1	Tip 1: Konut içinde kullanılan malzeme, mobilya ve ürünlerden kaynaklanan emisyonlar.
			Tip 2: Konut sakinlerinin metabolik emisyonundan kaynaklanan emisyonlar
		Grup 2	İnsan aktivitelerine (yemek pişirme, yıkama, banyo vb.) bağlı emisyon süresi kısa ama emisyon hızı yüksek kirleticiler
	Grup 3	Isıl konfor ve su ısıtma sistemlerindeki yanma emisyonları	
1.2	Havalandırma debisi		
1.3	Havalandırma Stratejisi		

	1.4	Kilit kirlitici emisyon hızının hesap yöntemi
	1.5	Minimum ve maksimum havalandırma debileri
	1.6	İklimin havalandırma debisi üzerine etkisi
	1.7	Sigara kullanım emisyonları
	1.8	Yanma cihazları
2		Odalar arasındaki hava akımının yönü
3		Yanma araçları ile etkileşim
4		Temizleme ve bakım
5		Havalandırma sistemi tarafından dağıtılan kirliticiler
6		Mukavemet ve sağlamlık
7		Yangın önlemleri
		Gürültü
8	8.1	Çeşitli aralıklardan ev içine gelen gürültü
	8.2	Havalandırma sisteminin konut içinde ve dışında yarattığı gürültü
	8.3	Konutlar arasında ve/veya havalandırma sistemi içinde ses iletimi
	8.3	Ses izolasyonu için ulusal veya yerel standartlar
9		Enerji
10		Isıl Konfor
		Diğer (örnekler)
11	11.1	Donma ve korozyondan korunma
	11.2	Defrost sistemi
	11.3	Kanallarda yoğunlaşma önlemleri

TSE CEN TR 14788-2006 Bölüm 7'nin giriş bölümünde, "tüm konut havalandırma sistemleri için, bilinen belirli iç mekân kirliticilerinin varsayılan veya öngörülen konsantrasyonlarının aşılmayacağı şekilde havalandırma havası hacmi akış oranlarının belirlenmesi gerekir" denilmektedir. Bu bağlamda tasarımın en başında iç ortam kirlitici konsantrasyonlarının ve bu kirliticilerin limit değerlerinin, havalandırma kabulleri ve giriş parametreleri arasında, tasarımın neye göre yapıldığının bilinmesi açısından yer alması gerekir. Dış hava kirlilik konsantrasyonlarının da havalandırma debisinin belirlenmesi açısından önemlidir; ulusal veya uluslararası otoritelerce tanımlanmış temiz dış hava değerleri, konutun bulunduğu yerdeki belli kriterlere göre, belirlenmiş tasarım dış hava kompozisyonu da tasarımın başında bilinmelidir. Bu durumda Tablo 1'de 2. Madde dış havanın havalandırmaya esas olan özellikleri olarak iki alt başlıkta düzenlenmelidir (Tablo 3):

Tablo 3.

	Dış havanın havalandırmaya esas olan özellikleri
	Temiz dış havanın bileşenleri
	Konutun bulunduğu yerdeki tasarıma esas dış hava kirliliği

Benzer şekilde birbiriyle yakın ilişkisi Tablo 1'deki 8. Madde, 12. Madde ile birleştirilip, Tablo 2'deki (1.4) "Kilit kirlitici emisyon hızının hesap yöntemi" de eklenerek" aşağıdaki şekilde (Tablo 4) düzenlenmelidir:

Tablo 4.

	İç ortam havasının havalandırma tasarımı için özellikleri
	İç ortam havası kirlilik limit değerleri
	İç ortam kirlilik emisyon hızları hesaplama yöntemi
	İç ortam kirlilik emisyon hızları
	Tasarımına esas iç hava kilit kirlilik değeri/değerleri
	Dış kirlilik ve iç kirliliğin konut içi mahaller arasındaki transferine karşı konut ve birimleri içi basınç stratejisi

Tablo 2'deki (1.3) "havalandırma stratejisi", kabuller ve giriş veri parametrelerine eklenmesine yazarlar tarafından gerek duyulan "havalandırma yöntemi" ve "havalandırma debisi belirleme yöntemiyle" birlikte bir maddenin alt başlıkları olarak (Tablo 5) düzenlenmelidir:

Tablo 5. Tablo 1'e Ek madde.

	Havalandırma sistemi kabulleri
	Havalandırma yöntemi
	Havalandırma stratejisi

4.2 EN 16798-1:2019

Avrupa normu EN 16798-1:2019'un 6. Bölümünde ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlanma sistemlerinin boyutlandırılması için tasarım giriş parametreleri verilmiştir. Bunlar içinde

- binaların kategorilerinin belirlenmesi,
- soğutma olmayan binalarda mahal içinde yaz aylarında havalandırma sisteminin yarattığı hava hızının soğutma etkisinden yararlanılması özelliği,
- Bina hasarına göre yoğunlaşmayı önlemek üzere havalandırma debisinin artırılması,

özelliklerinin tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri öneri tablosunun (Tablo 6) ilk maddesi içinde yer alması öngörülmüştür.

4.3 TS CR 1752:2002

TS CR 1752: 2002 standardında tek bir yerde, 4.38 *Hava Nemi* bölümünde konut kelimesi geçmektedir. Standartın Ek A bölümünün başında da tasarım kriterlerinin belirlenmesi için, Ek B'de "*Bina içi ortam hava kalitesi için*" "*adım adım*" olarak tanımlanan yöntem içinde, tasarım kabulü ve tasarım giriş parametresi olarak değerlendirilebilecek aşağıdaki maddeler yer almaktadır.

1. Standartta yapılan tanımlara göre bina sınıfının belirlenmesi
2. Sigara içen ve içmeyenlerin dikkate alınmasıyla kullanıcıların sebep olduğu hissedilir kirlilik yükünün takdir edilmesi.
3. Konutlar hariç diğer binaların fonksiyonlarına (okullar, ofisler vb.) bağlı olarak olf/(m² zemin) göre verilmiş değerlerle, iç ortam donanımların ve malzemelerin emisyonundan kaynaklanan kirlilik yükünün takdir edilmesi.
4. Yukarıdaki iki maddenin toplamı olarak tanımlanan "hissedilir kirlilik yükünün" hesaplanması
5. Bina dışı hava kalitesinin belirlenmesi
6. Havalandırma verimliliğinin belirlenmesi
7. En kritik kimyasal maddenin/maddelerin belirlenmesi ve elde edilebiliyorsa, ortamdaki bu kimyasal maddenin/maddelerin kirlilik yükünün takdir edilmesi,
8. Elde edilebiliyorsa, kritik kimyasal madde/maddeler için kılavuz değerlerin bulunması,

Yukarıda verilen tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri, daha önce dikkate alınmıştır. Özgün olarak konutlar için öngörülen tek parametre konut için bağıl nemin %30 ile %70 arasında olmasının uygun olduğudur.

4.4 TS 3419:2002

TS 3419 içinde, havalandırma sistemin projelendirme süreci için özgün bir sistematik bir yaklaşım önerisi ve kabuller-giriş parametreleri önerilmemiştir. Ancak "*havalandırma ve iklimlendirme tesisine ait projeleri*" için aşağıdaki bileşenler sayılmıştır:

- Öneri projesi ve raporu,
- Ön (avan) proje ve raporu,
- Projelendirmeye esas tüm hesapları ayrıntılı olarak içeren rapor ile uygulama projesi,
- Detay projeleri,
- Kullanılacak malzeme ve cihazların özellikleriyle birlikte malzeme çizelgesi (TS 885:2008 [15])

"*Öneri projesi ve raporu*" başlığa altında verilen,

- “İklimlendirilmesi istenen bina veya yapının enlem derecesi, boylam derecesi, denizden yüksekliği, kuzey, güney, doğu ve batı yönleri vb. coğrafi konumunu (TS 825:2008),
- En düşük ve en yüksek kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ile bağıl nem değerleri, etkin rüzgâr yönü ve hızı, barometrik basınç durumu vb. meteorolojik durumlarını (TS 825:2008”),
- Havalandırılması istenen bina veya ortamda istenen iç hava sıcaklığı, bağıl nem değeri,
- Pencere yapısını (tek camlı, çift camlı, camın türü, sabit ve açılır kanatlar, pencere aralık boyları, gölgeleme düzenleri, renklendirme vb.)”,

bilgileri havalandırma tasarım giriş verisi olabilecek parametreleri içermektedir. Bu bölümde verilen,

- bina ve yapının enlem ve boylam derecesi,
- denizden yüksekliği,
- etkin rüzgâr yönü ve hızı,
- barometrik basınç durumu,
- pencerelerin yapısı (tek camlı, çift camlı, camın türü, sabit ve açılır kanatlar, pencere aralık boyları, gölgeleme düzenleri, renklendirme vb.),

parametrelerinin bina hakkındaki bilgileri içeren Tablo 6 içine dahil edilmesi uygun görülmüştür. “En düşük ve en yüksek kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ile bağıl nem değerleri” parametreleri de Tablo 1’deki “İç ortam ısı konfor şartları” maddesi içinde değerlendirilmelidir.

TS 3419 içinde verilen diğer giriş parametreleri konut garajları hava debileri, konut mutfakları için 2 saatlik çalışmada üretilen buhar miktarı aralığı, mutfaklar için seçilecek aspiratörlerle sağlanacak hava değişim sayılarıdır. Bu değerler Tablo 5’teki madde 16.3 “Havalandırma debisi belirleme yöntemi” maddesi içinde değerlendirilecektir.

4.5 TASARIMDA 1. ADIMDA GÖZ ÖNÜNE ALINMASI GEREKEN DİĞER ÖNERİLER

Daha önce belirtildiği üzere, diğer standartlardan alınan giriş verileri ile geliştirilen Tablo 6’daki ilk maddede (0) yer alan konut kimlik bilgilerinin tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri içerisinde ilk sırada yer alması gereken ek madde olması öngörülmüştür.

Öneri tabloda seçilen havalandırma yöntemine göre havalandırma sistemi enerji verimliliği limitleri, seçilen sisteme göre kullanılacak cihazlarla ilgili (fan, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazı, filtreler, vb.) enerji-performans ve ses seviyesi limitleri (sınır değerleri) giriş verileri olarak yer almalıdır. Tablo 5 aşağıdaki şekilde (Tablo 5.1) geliştirilmiştir.

Tablo 5.1. Havalandırma sistemleri kabulleri ve giriş parametreleri Tablo 1’e Ek madde

Havalandırma sistemi kabulleri	
	Havalandırma yöntemi
	Havalandırma stratejisi
	Havalandırma debisi belirleme yöntemi
	Seçilen havalandırma yöntemine göre seçilecek hava transfer cihazları
	Seçilen hava transfer cihazlarının performans gereklilikleri
	Seçilen hava transfer cihazlarının ses seviye limitleri

5. TASARIM KABULLERİ VE TASARIM GİRİŞ PARAMETRELERİ ÖNERİ TABLOSU

4. Alt Bölüm ’de değerlendirilen dört standart içinde ve yazarlar tarafından öngörülen tasarım kabullerinin farklı olanlarının kümesi göz önüne alınarak Tablo 1’in geliştirilmesiyle konut havalandırma sistemleri tasarımının ilk adımı olarak tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri önerisi grupları ve alt grupları oluşturulmuştur. Her grup içinde yer alan kabuller ve parametreler tanımlanmış (Alt Bölüm 6) ve ilgili standartlar, yönetmelikler ve diğer bilimsel ve teknolojik kaynaklar incelenerek öneriler geliştirilmiştir. TSE CEN TR 14788-2006 standardına göre bu kabuller ve giriş parametreleri aynı zamanda hazırlanması gereken işletme kitabında da yer almalıdır.

6. TASARIM GRUPLARI, DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER

Bu bölümde tasarım standartları, şartnameler ve ilgili bilimsel ve teknolojik araştırmalar/yayınlar göz önüne alınarak Tablo 6'da yer alan ilk üç gurup (0,1,2) ve bunların içinde yer alan tasarım kabulü ve tasarım giriş parametreleri incelenmiş ve bir konutun havalandırma sistemi tasarımının ilk adımı olan kabuller ve giriş parametreleri için öneriler geliştirilmiştir. Diğer gruplar çalışmanın ikinci fazında ele alınacaktır.

Tablo 6 . Tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri grupları önerisi.

GRUP No	GRUP İSMİ
0	Konutun kent içindeki konumu, cinsi, geometrik özellikler, beklenti seviyesi.
1	Dış hava koşulları (enerji)
1.1	Dış hava ortalama ve maksimum koşulları
1.2	Dış hava tasarım koşulları
2	Dış havanın tasarıma esas özellikleri
2.1	Temiz dış hava bileşenleri
2.2	Konutun bulunduğu yerdeki dış hava kirlilik seviyesi
3	Dış hava gürültü seviyesi
4	Binanın dış etkenlere karşı korunaklığı
5	Binanın sızdırmazlığı
6	Binanın ısı karakteristikleri
7	Bina bileşenlerinin akustik karakteristikleri
8	İç ortam havasının havalandırma tasarımı için özellikleri
8.1	İç ortam havası kirlilik sınır değerleri
8.2	İç ortam kirlilik emisyon hızları hesap yöntemleri
8.3	İç ortam kirlilik emisyon hızları
8.4	Tasarıma esas mahal iç hava kilit kirlilik bileşeni
8.5	Dış kirlilik ve iç kirliliğin konut içi mahaller arasındaki transferine karşı konut ve birimleri içi basınç stratejisi
9	İç ortam ısı konfor şartları
10	Akustik şartlar
10.1	İç ortam akustik konfor şartları
10.2	Havalandırma sistemi gürültüsü ve limitleri (Seçilen havalandırma yöntemine göre kullanılacak cihazların performans limitleri)
11	Odalardaki ve/veya konuttaki insan sayısı
12	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun yerleşimi
13	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun kullanımı
14	Havalandırma sisteminin ve bileşenlerinin uygun temizliği ve bakımı
15	Havalandırma sistemi kabulleri
15.1	Havalandırma yöntemi
15.2	Havalandırma stratejisi
15.3	Havalandırma debisi belirleme yöntemi
15.4	Seçilen havalandırma yöntemine göre seçilecek hava transfer cihazları
15.5	Seçilen hava transfer cihazlarının minimum enerji performans kriterleri
15.6	Seçilen hava transfer cihazlarının maksimum ses seviye kriterleri
16	Isı geri kazanım Tipi
16.1	Rekuperatif
16.2	Rejeneratif
17	By Pass
17.1	By Pass kesiti
17.2	By Pass basınç düşümü
17.4	By Pass debisi artımı (%)
18	Donma ve korozyondan korunma
19	Defrost sistemi
20	Kanallarda yoğuşma önlemleri

6.0. (Grup 0) KONUT KİMLİĞİ: Konutun kent içindeki konumu, cinsi, geometrik özellikler, beklenti seviyesi

Tasarım kabulleri ve tasarım giriş verilerinin ilk adımı havalandırma sistemi tasarımı yapılacak binanın kimlik bilgileri ile tasarıma yön veren temel kabullerin-seçimlerin yer aldığı gruptur. Bu adımda yapılacak kabuller ve giriş bilgileri diğer adımlardaki giriş parametrelerinin de seçimini etkiler. Örneğin konutun coğrafi konumu, (dış hava kirliliği, tasarım dış sıcaklıkları gibi) tasarımda kullanılacak giriş parametrelerinin seçimini yönlendirir. Tablo 6.1 de geliştirilmiş ilk gruba (0) ait alt guruplar ve alt guruplardaki parametre önerileri verilmiştir.

Tablo 6.0.1. Tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri önerisi.

0 Konutun kent içindeki konumu, cinsi, geometrik özellikler, beklenti seviyesi.						
0	0.1	Konutun konumu				
		0.1.1	Kent			
		0.1.2	Adresi			
		0.1.3	Ada			
		0.1.4	Parsel			
		0.1.5	Konutun enlem ve boylamı			
		0.1.6	Konutun denizden yüksekliği			
	0.2	Konutun cinsi				
		0.2.1	Apartman Dairesi – ayırık		<input type="checkbox"/>	
		0.2.2	Apartman dairesi – tek taraflı bitişik		<input type="checkbox"/>	
		0.2.3	Apartman dairesi – iki taraflı bitişik		<input type="checkbox"/>	
		0.2.4	Müstakil – ayırık		<input type="checkbox"/>	
		0.2.5	Müstakil – tek taraflı bitişik		<input type="checkbox"/>	
		0.2.6	Müstakil – iki taraflı bitişik		<input type="checkbox"/>	
	0.3	Konutun kaç katlı olduğu				
	0.4	Konutun kaçınca katta olduğu				
	0.6	Konut Planı (ek olarak verilecektir)			Ek No:	
	0.6	Konut yönlenme bilgisi (kat planı üzerinde işaretlenecektir)				<input type="checkbox"/> (İşlendi)
	0.7	Konut çevresinin hava kalitesi açısından genel değerlendirilmesi				
		0.7.1	Endüstriyel bölge		<input type="checkbox"/>	
		0.7.2	Yoğun trafik		<input type="checkbox"/>	
		0.7.3	Yoğun konut alanı		<input type="checkbox"/>	
		0.7.4	Kırsal alan		<input type="checkbox"/>	
		0.7.5	Diğer		<input type="checkbox"/>	
	0.8	Konutun geometrik özellikleri				
			Birim	Taban alanı (m ²)		Yükseklik
		0.7.1	Salon			
0.7.2		Yatak odaları				
0.7.2.1		Ebeveyn yatak odası				
0.7.2.2		Çocuk yatak odası				
0.7.2.3		Misafir yatak odası				
0.7.3		Banyo				
0.7.4		Mutfak				
0.7.5		Çalışma odası				
0.7.6		Koridor				
0.7.7	Kiler					
0.7.8	Garaj					
	Toplam alan					
0.9	Bina kategorisi (sınıfı)	<input type="checkbox"/> (I)	<input type="checkbox"/> (II)	<input type="checkbox"/> (III)	<input type="checkbox"/> (IV)	
0.10	Mekanik soğutma olmayan konutta yaz periyodunda hava hızının değişimiyle ısı konfor sağlanması seçeneğinin öngörülüp öngörülmediği.					
	0.9.1	<input type="checkbox"/> Öngörülüyor				

	0.9.2	<input type="checkbox"/> Öngörülüyor	
0.11	Konutta ısıtma veya iklimlendirme sisteminin cinsi		
	0.10.1	Sobalı	<input type="checkbox"/>
	0.10.2	Bağımsız ısıtma sistemi (kalorifer)	<input type="checkbox"/>
	0.10.3	Merkezi ısıtma sistemi (kalorifer)	<input type="checkbox"/>
	0.10.4	Bağımsız iklimlendirme sistemi	<input type="checkbox"/>
	0.10.5	Merkezi iklimlendirme sistemi	<input type="checkbox"/>
	0.10.6	Ayrık (split) klima-soğutma ünitesi	<input type="checkbox"/>
	0.10.7	Kat bazında ayrık (split) klima-soğutma sistemi	<input type="checkbox"/>
0.12	Bina yüzeylerinde, yapısında, malzemelerde yoğuşmaya neden olacak hasar.		
	0.11.1	Var	<input type="checkbox"/>
	0.11.2	Yok	<input type="checkbox"/>

Bu grupta yer alan ve tasarımcının karar vereceği maddeler ve öneriler aşağıda açıklanmıştır.

0.7 Konut çevresinin hava kalitesi açısından genel değerlendirilmesi

Bu maddede tasarımcı tarafından, konutun bulunduğu yerin dış çevre-hava kirliliği açısından (endüstriyel bölge, konut bölgesi, yoğun trafik bölgesi, ticaret merkezi vb. gibi) farklılıklarına göre genel değerlendirilmesi istenmektedir. Bu bilgi dış hava kirliliğinin belirlenmesinde (Tablo 6, Grup 2.2) önemli rol oynar.

0.9 Bina sınıfı (kategorisi)

Standartlarda iç hava kalitesi açısından iki farklı sınıflandırma yer almaktadır:

- TS CR 1752-2002 : A, B, C sınıfları
- EN 16798-2019 : I, II, III, IV sınıfları

Standartlar söz konu bina sınıfının seçimini tasarımcıya bırakır gözükmemektedir. Bu sınıflandırmaların ilgili standartlardaki tanımları aşağıda verilmiştir.

TS CR 1752-2002: A, B, C sınıfları

TS CR 1752 içinde, ısı konfor ve iç hava kalitesi beklentileri için binalar üç sınıfa (kategoriyeye) ayrılmış ve bu sınıflar, memnuniyet yüzdeleri, desipol (dp) olarak hissedilen hava kalitesi, temiz bina dışı ortam havası ve etkili bir havalandırma sağlandığında tanımlanan olf kirlilik yüküne bağlı olarak aşağıdaki tabloda verildiği şekilde tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma, temel olarak hissedilen hava kalitesi yüzdesine bağlı olarak tanımlanmış, hedef hissedilen hava kalitesi seçimine ve binanın hesaplanan toplam hissedilir kirlilik yüküne bağlı olarak hava debisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Tablo 6.0.2. Bina içi ortamda hissedilen hava kalitesinin üç kategorisi (TS CR 1752: 2002, Çizelge A5).

Kategori	Hissedilen hava kalitesi		Gerekli havalandırma debisi* (l/s x olf)
	Memnun edilemeyen, %	dp	
A	15	1,0	10
B	20	1,4	7
C	30	2,5	4

* Havalandırma debileri, sadece hissedilen hava kalitesine ait örneklerdir. Bu değerler, sadece temiz bina dışı ortam havası ve etkili bir havalandırmadan birisi için uygulanır.

Standartta, olf olarak hissedilir kirlilik yükünün hesabı için kullanılması önerilen parametreler konutlar için verilmediğinden, bu sınıflandırmanın ve havalandırma debisini bulmak için kullanılan yöntemin, konutlar için kullanılmasını olası kılmamaktadır.

EN 16798-2019: I, II, III, IV sınıfları

AB normu TS EN 16798-1:2019 içinde 6. Bölümde¹⁰³, ısıtma, soğutma havalandırma ve aydınlanma sistemlerinin boyutlandırılması için tasarım giriş parametreleri verilmiştir. Bölümün başında giriş veri parametreleri içinde sayılabilecek bilgilerden biri, binanın sınıfının belirlenmesidir. Standartta yer alan sınıflar (kategoriler) ve tesisattan beklenti seviyeleri aşağıda şekilde verilmiştir:

Tablo 6.0.3. İç hava kalitesi kategorileri (TS EN 16798-1:2019).

Kategori	Beklenti seviyesi
IEQ _I	Yüksek (High)
IEQ _{II}	Orta (Medium)
IEQ _{III}	İlımlı (Moderate)
IEQ _{IV}	Düşük (Low)

Standart içindeki metinlerde ve tablolarda kategoriler sırasıyla I, II, III ve IV sayıları ile temsil edilmiştir. Normal seviyenin “Orta (Medium)” seviyesinin olabileceği, “Yüksek (High)” seviyenin çocuklar, yaşlılar, engelliler vs. için yapılan binalarda uygun beklenti seviyesinin seçilebileceği not edilmiştir. Eurovent rehber dokümanında [16] ise farklı ülkelerde konutlar için II. ve III. Kategorilerin kabul edildiği not edilmiştir. Tasarımcının, bir konutu kimlerin kullanacağını bilmesi mümkün değildir. Ayrıca konut sakinlerinin zamanla değişebileceğini de tahmin etmek zor değildir. Bu bağlamda konutların III kategoride kabul edilmesi uygun olmadığı gibi I. ve II. Gruplardan hangisinin seçilmesi tartışılmalıdır. Gerek muhtemel konut sakinlerinin değişkenliği gerekse küresel olarak dış hava kirliliğindeki artışlar göz önüne alındığında beklenti seviyesinin “I Yüksek” kabul edilmesi, yazarlar tarafından uygun görülmemiştir.

Bina Enerji Performansı Yönetmeliğinin [17] 6. Maddesinin 4. fıkrasında getirilen otomatik kontrol zorunluluğu¹⁰⁴, minimum havalandırma debisini sağlarken, kirletici/kirleticilere göre yapılacak havalandırma kontrolü farklı konut sakinleri için hem iç hava kalitesini hem de debi kontrolü ile enerji tasarrufunu sağlayacaktır.

TS 3419:2002 ve TSE CEN TR 14788-2006 standartlarında beklenti seviyesi açısından binalar için herhangi bir sınıflandırma yapılmamıştır.

0.10 Mekanik soğutma olmayan konutta yaz periyodunda hava hızının değişimiyle ısı konfor sağlanması seçeneğinin öngörülüp öngörülmediği

EN 16798-1:2019, mekanik soğutma olmayan binalarda, havalandırma debisinin ve sonuç olarak iç ortamdaki hava hızının artırılarak ısı konforun iyileştirilebileceği öngörülmüştür. Bu özelliğin kullanılması havalandırma debisinin ısı konfor için de kullanılabilmesi seçeneğini doğurmaktadır. Havalandırma sisteminde ısı konfor seviyesini yükseltecek ortam havası hızlarını kullanılmasının öngörülmesi, tasarımda havalandırma debisinin artırılmasını gerektirecek bir işletme modunun kontrol sisteminde yer almasını gerektirmektedir. Benzer bir yaklaşım, ABD’de zorunlu standart olan yeni ASHRAE 241 standartında [18], bir başka anlamda (salgın durumunda havada asılı patojenlerin bulaş riskini azaltmak için) hava debisinin artırılmasını sağlayacak enfeksiyon riski yönetim modunun (IRMM)¹⁰⁵ havalandırma sistemleri yeteneğine ve kontrolüne eklenmesidir.

0.11 Konutta ısıtma veya iklimlendirme sisteminin cinsi

Konuttaki ısıtma sistemi, havalandırma yoluyla olan ısı kayıplarından tasarruf edilmesi (ısı geri kazanımı) ve havalandırma nedeniyle ısı konforun etkilenmemesi için göz önüne alınacak sistemlerin projelendirilmesinde önemli bir parametredir.

0.12 Bina yüzeylerinde, yapısında, malzemelerde yoğuşmaya neden olacak hasar.

¹⁰³ “Design input parameters for design of buildings and sizing of heating, cooling, ventilation and lighting systems”.

¹⁰⁴ “Bir mekânındaki özel mekanik havalandırma sistemi, mekânda insanların bulunmadığı zamanlarda mekânın minimum iç hava kalitesini sağlayacak şekilde otomatik sistem ile donatılır”.

¹⁰⁵ “Infections Risk Management Mode”

EN 16798-1:2019 standartında, mevcut binalardaki hasar durumlarının bir giriş parametresi olarak göz önüne alınmasını, yüzeylerde, malzemelerde ve bina yapısı içinde yoğuşmanın önlenmesi için hasarlı binalarda hava debisinin artırılması önerilmiştir.

6.1. (Grup 1) Dış HAVA KOŞULLARI (I): Sıcaklıklar, Nem ve Rüzgâr verileri

6.1.1 Dış Hava Ortalama ve Maksimum Koşulları

Dış hava koşulları ile ilgili TS CEN TR 14788-2006 ve EN 16798-1:2019 belirtilen Tablo 6.1.1.1'de yer alan dış hava parametrelerinin tasarım kabulleri ve tasarım giriş verileri arasında olması öngörülmektedir.

Tablo 6.1.1.1. Enerji hesaplamalarında kullanılan dış hava koşulları.

1	DIŞ HAVA KOŞULLARI					
1.1	Dış hava ortalama ve maksimum koşulları					
	Parametre	Aylık Ort.	Yıllık Ort.	Aşırı Değ.	Saatlik Ort.	Standartlar
1.1.2	Hava sıcaklığı (°C)					TS CEN TR 14788-2006
1.1.3	Hava nemi (%)					
1.1.4	Rüzgâr hızı (m/s)					
1.1.5.	24 saatlik ortalama dış hava sıcaklığı					EN 16798-1:2019

Havalandırma ve infiltrasyon yoluyla olan enerji kayıplarının hesaplanabilmesi ve ısıtma/iklimlendirme sistemlerinin tasarımı ve yıllık enerji tüketimlerinin belirlenmesi için yerel dış hava tasarım koşullarına gereksinim vardır. Yukarıdaki tabloda verilen parametreler ile ilgili standart bilgileri aşağı özetlenmiştir.

TSE CEN TR 14788-2006

Bu standartta, giriş verilerinden ilki, aylık yıllık ve aşırı değerleriyle dış hava koşulları yer almıştır. Önerilen dış hava koşulları, iç ortam sıcaklıklarıyla birlikte konut içindeki birimlerin (yatak odası, salon, banyo) havalandırma debilerinin seçiminde de kullanılmaktadır.

EN 16798-1:2019

Bu standartta dış hava koşulları olarak dış hava sıcaklığından türetilmiş iki sıcaklık kullanılmaktadır. Bunlardan ilki "bir gün için saatlik ortalama dış hava sıcaklığı"¹⁰⁶, diğeri ise saatlik ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan, hesaplama yöntemi ve varsayılan (default) değerleri tanımlanmış "üstel ağırlıklı ortalama dış hava sıcaklığı"¹⁰⁷. Üstel ağırlıklı ortalama dış hava sıcaklığı, iç ortam operatif sıcaklığını hesaplamak için kullanılan bir parametredir. Sonuç olarak EN 16798-1:2019 içinde kullanılan dış hava sıcaklığı saatlik ortalama dış hava sıcaklığıdır. Bu standartta dış havanın nemi ve rüzgâr hızı ile ilgili bir giriş parametresi anılmamaktadır.

TS CR 1752-2002 ve **TS 3419** standartlarında dış hava koşullarıyla ilgili giriş parametresi tanımlanmamaktadır.

Tablo 6.2' de verilen ve havalandırma enerji kayıplarının hesaplanmasında kullanılacak dış sıcaklık, hava nemi ve rüzgâr değerlerinin hesaplanabilmesi için, uzun yıllara dayalı sıcaklık, nem ve rüzgâr ölçüm verilerine ve analizine gerek vardır. Alt Bölüm 6.3'te bu ölçümler konusu ele alınmıştır.

6.1.2 Dış Hava Tasarım Koşulları

Dış hava tasarım koşulları, ısıtma ve soğutma tasarım yükünün yanında, ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarındaki taze havanın ısıtma/soğutma yükünü karşılayan sistemlerin tasarımı açısından gereklidir.

¹⁰⁶ Average of the hourly mean outdoor air temperature for one calendar day

¹⁰⁷ Exponentially weighted running mean of the daily mean outdoor air temperature

Tablo 6.1.21'de yük hesapları için gerekli tasarım giriş parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.1.2.1

1.2	Dış hava tasarım koşulları		
	Parametre	Kış	Yaz
1.2.1	Dış hava tasarım sıcaklığı (°C)		
1.2.2	Dış hava tasarım Nem (%)		
1.2.3	Dış hava tasarım Rüzgâr hızı (m/s)		

Tablo 6.1.2.1'de yer alan parametrelerle ilgili standartlarda yer alan bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Dış hava tasarım sıcaklığı (Kış – Isıtma): Standartlar

TS 2164:1998

Isıtmada dış hava tasarım koşulları için 1993 tarihli TS 2164'te [19], Çizelge 1'deki değerler verilmiştir. Ancak küresel ısınma, kentler içindeki ısı adacıkları gibi faktörler dış sıcaklık tasarım değerlerinin değiştiğini göstermektedir. TS 2164-1983'te 2011 yılında yapılan değişiklik (T3: Temmuz 2011), 0.2.64 maddesi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

0.2.64 – Projelendirme Dış Hava Sıcaklığı (t_d)

Projelendirme dış hava sıcaklığı, her bölge için 10 senelik meteorolojik dış sıcaklıklarının aritmetik ortalamasıdır. Bölge için düzeltilmiş sıcaklık değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ilgili birimlerinden temin edilerek kullanılmalıdır. Çizelge 1'de verilmiş olan yerel sıcaklık değerleri bilgi içindir.”

Bu değişiklik, TS 2164:1983 standardında verilen dış hava tasarım sıcaklıkları, son on senelik gerçekleşen sıcaklık verilerinin istatistiksel analizine dayanmadığı için artık geçerli değildir, bilgi için verildiği açıklanmıştır.

Dış sıcaklık verilerinin bilinen tek analizi 2000 yılında TTMD ARGE fonu ile desteklenen “Türkiye İklim Verileri” projesi ile gerçekleştirilmiştir [20]. Bu çalışmada yapılan analizlerin sonucunda, “ASHRAE'nin iklim verileri üretimindeki yaklaşımının uygulanabilmesi için” dört büyük şehirdeki (Ankara, Antalya, İstanbul - Florya, Göztepe, Sarıyer-, İzmir,) saatlik iklim verileri kullanılarak, TS 2164-1983'te olmayan yıllık kümülatif meydana gelme frekanslarına (%99 ve %99,6) karşılık gelen kış kuru termometre sıcaklıkları, ekstrem sıcaklık ortalaması ve standart sapmalar, (%0.4, %1.0, %2.0) kümülatif meydana gelme frekanslarına karşılık gelen yaz kuru ve yağ termometre sıcaklıkları, rüzgar hızları ve yönleri ve maksimum yağış şiddetleri verilmiştir. Çalışma incelenirse önerilen tasarım sıcaklıklarının TS 2164:1983'ten farklı oldukları görülmektedir. Mekanik sistem büyüklüklerini ve enerji analizlerini etkileyen bu verilerin önemi açıktır. Bu çalışmanın üzerinden 23 sene geçmiştir. Özellikle son yıllarda gözlenen sıcaklık değişiklikleri göz önüne alınırsa, TS 2164 T3 (Temmuz 2011) değişikliği göz önüne alınarak son 10 yıllık verilerin, Türkiye İklim Verileri kitabında yer alan analiz yöntemleri ile ulusal kurumlar veya sivil toplum örgütleri tarafından yenilenmesi ve elde edilen nihai verilerin tasarımlarda kullanılması gerekmektedir.

TS CR 1752:2002

Standart dış hava şartları için “En yüksek ve en düşük dış ortam hava şartlarının (örneğin, normal bir yılın yüzdeleri)” şeklinde dikkate alınmasını getirmektedir. Ancak, bu gereklilikteki normal yıl tanımlanmamaktadır.

Dış hava tasarım sıcaklıkları (Yaz - İklimlendirme): Standartlar

CARRIER HAP

İklimlendirme sistemlerinin tasarımında yaygın olarak kullanılan CARRIER HAP programında ASHRAE Handbook 2001 verileri yer almakta, bunlar düzeltilerek programlar çalıştırılmaktadır. Ancak düzeltme amacıyla kullanılan değerler de iklim verilerinin çok eski istatistiklerine dayandığı için bu programların kullanılmasında da son on senelik verilerin yeniden değerlendirilmesine gereksinim vardır.

TS 3419:2002 – TS 825:2008

Konut dışı binalar havalandırma ve iklimlendirme tesisleri projelendirme esaslarını içeren bu standartta “en düşük ve en yüksek kuru ve yaş termometre sıcaklıkları” değerleri için TS 825 standardı referans verilmektedir. TS 825 standardında verilen dış sıcaklık değerleri, enerji kayıplarının hesaplanmasında kullanılan “*Farklı derece gün (dg) bölgeleri için ısı kaybı ve yağışma hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleridir*”. Tasarım açısından pik yüklerin hesaplanması için uygun değerler değildir.

Dış hava tasarım nem değerleri: Standartlar

TS 3419:2002

Havalandırma sistemi tasarımı açısından nem, havalandırma yoluyla iç ortama verilen havanın, iç ortam neminin konfor şartlarına ve küf oluşuma etkisi bakımından önemlidir. TS 3419 standardı içinde sistem projelendirilmesine yönelik bağıl nem değerleri için TS 825 standardı referans verilmektedir. Bu standartta yer alan EK G’ de iller ve bazı ilçeler için aylık ortalama bağıl nem oranları verilmiş, sistem tasarımdaki pik yük değerleri için tasarım değerleri verilmemiştir. Ayrıca tasarım sıcaklıkları için öngörüldüğü üzere, bu ortalama nem değerlerinin de son 10 yıllık iklim verilerinin analizi ile denetlenmesine gerek vardır.

Dış hava tasarım (rüzgâr) hızları: Standartlar

TS CR 1752:2002; TS 3419:2002; TS 825 – TS 2164

TS 1752 standardında rüzgâr ve verileriyle ilgili bir referans yoktur. Isıtma ve iklimlendirme sistemleri tasarımında kullanılan TS 3419 standardında rüzgâr, doğal ve çatı havalandırmasının tanımlanmasında ve havalandırma sistem ve ekipmanlarının rüzgâr etkisinden korunması için niteliksel tanımlamalar içinde geçmektedir. TS 3419 içinde “*etkin rüzgâr yönü ve hızı barometrik basınç vb. benzeri meteorolojik durumları*” için TS 825 standardı referans verilmektedir. Ancak TS 825 içinde bu bilgiler yer almamaktadır. TS 2164 standardında ise bazı kentlerin, sadece R sembolü ile rüzgârlı olup olmadıkları standartta yer almaktadır, yön ve şiddet yoktur.

Türkiye’de havalandırma sistem tasarımlarında rüzgâr hızları ve yönlerine ait değerler kullanılmamaktadır. Yerel rüzgâr verileri aşağıdaki nedenlerle önemlidir:

- Mekanik havalandırmanın yanında rüzgâr nedeniyle oluşan infiltrasyon açısından rüzgâr verileri önemlidir.
- Rüzgâr verileri EN 16798-7 ve EN16798-8’de infiltrasyon hesaplarında, ANSI/ASHRAE 62.2-2022’de mekanik havalandırma sistem tasarımlarında ve enerji hesaplamalarında kullanılmaktadır.
- Rüzgâr hızı ve yönü, havalandırma sistemlerindeki egzoz ve taze hava menfezlerindeki hava akımını etkileyebilir.

6.2. (Grup 2) DIŞ HAVA KOŞULLAR (II): Dış Hava Kalitesi Parametreleri

Bu grupta geliştirilen tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametrelerinde insan sağlığına olumsuz etkisi olmayan temiz dış hava kirletici sınır değerleri ile, havalandırma sistemi tasarımında gerekli, konutun çevresindeki havanın kirletici bileşenleri tabloları düzenlenmiştir.

6.2.1. Temiz dış hava bileşenleri sınır değerleri

Havalandırma sistemi tasarımı için temiz dış hava ana kirletici bileşenleri Tablo 6.2.1.1'de verilmiştir.

Tablo 6.2.1.1

2. Dış havanın havalandırma sistemi tasarımına esas özellikleri			
2.1	Temiz dış hava bileşenleri sınır değerleri		
	Bileşen	Sınır değer	Birim
2.1.1	CO ₂		
2.1.2	PM _{2.5}		
2.1.3	PM ₁₀		
2.1.4	Ozon		
2.1.6	NO ₂		
2.1.7	CO		
2.1.8	SO ₂		
2.1.0	Benzen		

TEMİZ HAVA TANIMI

Tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri içerisinde yer alması öngörülen temiz dış hava bileşenleri yukarıda verilen tabloda yer alan, güncel uluslararası standartlar göz önüne alınarak, havalandırma sistemleri tasarımı açısından temel kirletici bileşenleri ile oluşturulmuştur. Bu tabloda yer alması gereken sınır değerler, tabloda işaret edilen standart ve yönetmeliğin aşağıda verilen değerlendirilmesi sonucu oluşturulmuştur.

Temiz dış hava bileşenleri denildiğinde dış havadaki kirleticilerin insan sağlığını etkilemeyecek sınır değerleri anlaşılmalıdır. Bu etkiler kısa ve uzun vadede maruziyet durumunda ortaya çıkabilecek etkiler olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Dolayısıyla, bir kirletici için iki farklı etki grubunu hedefleyen iki ayrı standart değer öngörülebilmektedir. Ülkelerin hava kalitesini düzenleyen mevzuatı, insan sağlığı yanında çevre (ekosistem, vejetasyon vb. ifadelerle) sağlığını korumaya yönelik ikincil standart değerler de uygulayabilmektedirler. Bu çalışmada ikincil standartlar dikkate alınmamıştır. Göz önüne alınan standartlar temiz dış hava sınır değerleri açısından aşağıda değerlendirilmiştir.

Standartlar

TS CR 1752-2002

Bu standartta dış hava kirlilik değerleri için "WHO bölgesel yayınları, Avrupa serisi No 23, 1987'den alınmış tablolar (Ek 2; çizelge ek 2-8) yer almaktadır. Söz konusu referans 1987 yılına ait olduğu için göz önüne alınmamış, DSÖ'nün 2021 değerleri "Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA) bölümünde verilmiştir.

TS 3419:2002

Bu standartta temiz hava kalitesi ile ilgili bir bilgi yoktur.

PD CEN TR 14788:2006

Standartın 5.2 "Dış havanın bileşimi" bölümünde üç bileşenin oranlarının (oksijen %20,9; nitrojen %79,0 ; karbondioksit %0,034) önemli ölçüde değişiklik göstermediği, karbondioksitin yerleşim alanlarda daha yüksek konsantrasyonlarda, havalandırma tasarımını etkileyecek kadar yüksek olabileceği belirtilmiştir. Standart dış havadaki su buharını temel bileşen olarak göstermiş, Avrupa genelinde tipik özgül nemin yıllık hava koşullarında kg kuru hava başına 1,0 g ila 16 g nem arasında değiştiği vurgulanmıştır.

Yukarıda verilen bilgilerin dışında temiz havayı tanımlayıcı sınır değerleriyle ilgili PD CEN TR 14788:2006 standardında bilgi yer almamaktadır.

BS EN 16798-1:2019

EN16798-1:2019 standardında, WHO Hava Kalitesi Guidelines 2005 referans verilerek kükürtdioksit, ozon, PM_{2.5} ve PM₁₀ kirleticileri için sınır değerleri verilmiş, bu sınır değerlerin başka bir rehber veya ulusal öneri yoksa iç hava kalitesi için referans değerler olarak kullanılabilceği not edilmiştir. WHO Hava Kalitesi Rehberi 2005 içinde kükürtdioksit, ozon, PM_{2.5} ve PM₁₀ kirleticileri verilen sınır değerleri WHO Hava Kalitesi Rehberi 2021 içinde verilenlerden çok farklı olduğu için, WHO rehberliği için 2021 sınır değerlerinin göz önüne alınması uygun görülmektedir.

HAVA KALİTESİ DEĞERLENDİRME ve YÖNETİMİ YÖNETMELİĞİ ve DSÖ KÜRESEL HAVA KALİTESİ REHBERİ

Türkiye’de kabul edilen temiz dış hava konsantrasyonları, Avrupa Birliğinin 96/62/ec, 99/30/ec, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak hazırlanan 2008 tarihli “Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği”nde yer almaktadır. Yönetmeliğin verdiği değerler Tablo 2.1.1’de Dünya Sağlık Örgütü’nün Küresel Hava Kalitesi Rehber’inde yer alan sınır değerleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

6 Haziran 2008 tarihli Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde verilen ve Tablo 6.2.1.1’de gösterilen değerler,

- CO için 1 Ocak 2017’de,
- SO₂ ve Benzen için 1 Ocak 2019’da,
- Ozon için 2022’de,
- PM₁₀, NO₂ için 1 Ocak 2024 ’de

ulaşılacak limit (sınır) değerlerdir ve 1 Ocak 2024 tarihi itibarıyla güncel değerlerdir.

AMERİKAN ÇEVRE KORUMA AJANSI

Amerikan Çevre Koruma Ajansı (USEPA), insan ve çevre için aşılmaması gereken Çevre (Ortam) Hava Kalitesi Standartı tablosunu (NAAQS [¹⁰⁸]) aşağıdaki gibi vermiştir. Burada kirleticiler için birincil ve ikincil olarak öngörülen iki farklı limit değer söz konusudur. Bu değerler, “Birincil standartlar, astım hastaları, çocuklar ve yaşlılar gibi “hassas” nüfusların sağlığının korunması da dahil olmak üzere kamu sağlığının korunmasını sağlar. İkincil standartlar, görüş mesafesinin azalmasına ve hayvanlara, mahsullere, bitki örtüsüne ve binalara zarar verilmesine karşı koruma da dahil olmak üzere kamu refahının korunmasını sağlar” [21], şeklinde açıklanmıştır.

Tablo 6.2.1.2. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği ve DSÖ Küresel Hava Kalitesi Yönergesi limit değerleri.

Bileşen	Yönetmelik [22]		DSÖ Rehberi [23]		* Bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama. ** Maksimum günlük 8 saatlik ortalama *** İnsanlar için kanserojendir, dolayısıyla güvenli bir düzeyi önerilmemiştir.
	Konsantrasyon	Birim	Konsantrasyon	Birim	
PM10	50 (24 sa. ort.)	µg/m ³	45 (24 sa. ort.)	µg/m ³	
	40 (yıllık ort.)		15 (yıllık ort.)		
Ozon	120 (8 sa. ort.)*	µg/m ³	100 (8 sa. ort.)	µg/m ³	
NO ₂	200 (sa. ort.)	µg/m ³	10 (24 sa. ort.)	µg/m ³	
	40 (24 sa. ort.)		25 (yıllık ort.)		
CO	10 (8 sa. ort.)**	mg/m ³	4 (24 sa. ort.)	mg/m ³	
SO ₂	350 (sa. ort.)	µg/m ³	40 (24 sa. ort.)	µg/m ³	
	125 (24 sa. ort.)				
Benzen	5 (yıllık ort.)	µg/m ³	***		

¹⁰⁸ NAAQS: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

Tablo 6.2.1.3: USEPA, Çevre Hava Kalitesi Standartı Tablosu [21].

Kirleticiler	Birincil / İkincil	Ortalama alma zamanı	Sınır değeri	Açıklama	
Karbonmonoksit	Birincil	8 saat	9 ppm (10 mg/m ³)	Yılda bir defadan fazla aşılmamalıdır	
		1 saat	35 ppm (40 mg/m ³)		
Kurşun	Birincil and İkincil	3 aylık ortalama	0.15 µg/m ³ (1)	Aşılmamalıdır	
Azotdioksit	Birincil	1 saat	100 ppb (188 µg/m ³)	1 saatlik günlük maksimum konsantrasyonların 98. Persentili (3 yılın ortalaması)	
	Birincil ve İkincil	1 yıl	53 ppb (100 µg/m ³)	Yıllık ortalama	
Ozon	Birincil ve İkincil	8 saat	0.070 ppm (137 µg/m ³)	Yıllık dördüncü en yüksek günlük maksimum 8 saatlik konsantrasyon (3 yılın ortalaması)	
Partikül Madde (PM)	PM _{2.5}	Birincil	1 yıl	12.0 µg/m ³	Yıllık ortalama (3 yılın ortalaması)
		İkincil	1 yıl	15.0 µg/m ³	Yıllık ortalama (3 yılın ortalaması)
	PM ₁₀	Birincil ve İkincil	24 saat	35 µg/m ³	98.persentil (3 yılın ortalaması)
		Birincil ve İkincil	24 saat	150 µg/m ³	Yılda bir defadan fazla aşılmamalıdır. (3 yılın ortalaması)
Kükürtdioksit (SO ₂)	Birincil	1 saat	75 ppb (196 µg/m ³)	1 saatlik günlük maksimum konsantrasyonların 99. persentili (3 yılın ortalaması) – 196,5 µg/m ³	
	İkincil	3 saat	0.5 ppm (1.3 mg/m ³)	Yılda bir defadan fazla aşılmamalıdır.	

KARBONDİOKSİT KONSANTRASYONU

Konutlarda havalandırma tasarımının esaslarını belirlemeleri açısından göz önüne alınan standartlarda temiz dış hava CO₂ sınır değerleri yer almamaktadır. İç ortamların havalandırılmasında iç hava sınır değeri ile yerel dış hava konsantrasyonu arasındaki fark, havalandırma debisinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Temiz dış hava CO₂ konsantrasyonu ise güncel anlamda ortalama küresel atmosferik CO₂ konsantrasyonu değeriyle 417 ppm [24] olarak belirlenebilir. Bu değer bir sınır değer değil, iç ortamlar için belirlenen sınır değerlerin çok altında henüz güvenli bir sembolik bir değer olarak öngörülebilir.

ÖNERİ

Yukarıda verildiği üzere güncel sınır değerler, DSÖ, USEPA ve öngörülen limit (sınır) değerlerine 1 Ocak 2024 tarihinde uyulması öngörülen, AB sınır değerleriyle uyumlu Hava kalitesi ve Değerlendirme Yönetmeliği tarafından öngörülen sınır değerlerdir. Ulusal mevzuat olması nedeniyle bu yönetmelikte belirtilen değerlerin Tablo 2.1.3'te temiz dış hava sınır değerleri olarak belirlenmesi uygun bulunmuştur. Yönetmelikte öngörülme CO₂ konsantrasyonu içinde daha önce verildiği üzere ortalama küresel atmosferik karbondioksit konsantrasyonunun (417 ppm) listede yer alması uygun bulunmuştur. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde bulunmayan PM_{2.5} yani ince partiküller için USEPA 'da [21] yer alan değerlerin yer alması uygun görülmüştür.

Tablo 6.2.1.4. Temiz dış hava bileşenleri sınır değerleri önerisi.

2. Dış havanın tasarıma esas özellikleri				
2.1	Temiz dış hava bileşenleri sınır değerleri			
	Bileşen	Sınır değer	Birim	Açıklama
2.1.1	CO ₂ (*)	417	ppm	
2.1.2	PM _{2.5} (*)	35 (24 sa. ort.)	µg/m ³	98. yüzdelik (3 yılın ortalaması)
		12 (yıllık ort.)		Yıllık ortalama (3 yılın ortalaması)
2.1.3	PM ₁₀	50 (24 sa. ort.)	µg/m ³	Bir yılda 35 defadan fazla aşılmaz
		40 (yıllık ort.)		-
2.1.4	Ozon	120 (8 sa. ort.) ^b	µg/m ³	Bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama
2.1.5	NO ₂	200 (sa. ort.)	µg/m ³	Bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz
		40 (24 sa. ort.)		-
2.1.6	CO	10 (8 sa. ort.) ^c	mg/m ³	Maksimum günlük 8 saatlik ortalama
2.1.7	SO ₂	350 (sa. ort.)	µg/m ³	Bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz
		125 (24 sa. ort.)		Bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz
2.1.8	Benzen	5 (yıllık ort.)	µg/m ³	-

(*) Tabloda yer alan CO₂ ve PM_{2.5} değerleri Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde (2008) yer almamaktadır. CO₂ için 2021 yılı itibarıyla küresel ortalama CO₂ konsantrasyonu uygun görülmüştür. PM_{2.5} için USEPA [21] 2023 değerleri sınır değer olarak seçilmiştir.

6.2.2 Konutun bulunduğu yerdeki dış hava kirlilik tasarım değerleri.

Havalandırma sistemi tasarımında filtreleme ve hava temizleme fonksiyonlarının belirlenmesinde Tablo 6.2.2.1 'de belirtilen temel kirlleticilerin değerlerine gereksinim vardır. Bazı endüstri bölgelerinde bu kirlleticilerin dışında bazı kirleticilerde, konsantrasyonları itibarıyla insan sağlığı için önem kazanabilir. Konutun bulunduğu bölge bu kirleticiler açısından ayrıca değerlendirilmelidir.

Tablo 6.2.2.1

2.2	Konutun bulunduğu yerdeki dış hava kirlilik tasarım değerleri			
	Kirlilik bileşeni	Konsantrasyon	Birim	Standartlar, yönetmelikler
2.2.1	CO ₂			
2.2.2	PM _{2.5}			
2.2.3	PM ₁₀			
2.2.4	Ozon			
2.2.5	NO _x			
2.2.6	CO			
2.2.7	SO ₂			
2.2.8	Radon (*)			
2.2.8	Nem			

(*) Radon konutun üzerinde bulunduğu zeminin jeolojik özelliklerine bağlı olarak toprak kaynaklı önemli bir iç hava kirleticisi olabilmektedir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun ülke çapında evlerde yaptığı ölçümler ile oluşturulan bir radon haritası bulunmaktadır. Dolayısıyla, radon, bu bölgelerde dikkate alınması gereken bir iç hava kirleticisi olmakla birlikte mevzuatta bir dış hava kirleticisi olarak sınıflandırılmamaktadır.

Herhangi bir konutun havalandırma sisteminin tasarımı için konutun bulunduğu yerdeki dış hava kalitesi dört açıdan önemlidir:

1. Dış hava kirleticilerinin yeterli periyotta belirlenmiş ortalama maksimum tasarım değerleri, havalandırma tasarım debisinin belirlenmesi için gereklidir.
2. Ortalama maksimum değerleri aynı zamanda havalandırma sistemindeki filtreleme ve temizlik sistemlerinin tasarımı için gereklidir.

3. Dış hava kirleticilerinin ani değerlerinin tasarımda öngörülmeleyen büyüklüklere ulaşması halinde (sistemin kapatılması gibi) havalandırma güvenliği için gereklidir.
4. Dış hava kirleticilerinin ani değerleri, iç hava kalitesinin değişimine göre aşırı havalandırma yapılmaması için kontrol edilerek enerji tasarrufu yapılması için gereklidir.

Dış Hava kirlilik bileşenlerinin tasarım değerleri, sıcaklık tasarım değerlerinin belirlenmesi yönetimine benzer bir yöntemle belirlenmesi gerekir. Ani değerlerin de uygun özelliklere sahip ölçme sistemleri-sensörlerle, havalandırma sistemi kontrol üniteleri tarafından ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Dış hava tasarım kirlilik değerlerinin belirlenmesi için günümüzde iki kaynak söz konusudur:

1. Kentlerde Çevre, Şehircilik ve İklim ve Şehircilik Bakanlığının yaptığı ölçümler ve
2. Kentlerde Büyükşehir Belediyelerinin işlettiği istasyonlarda yapılan ölçümler.

Her iki kaynaktan ölçülen konsantrasyonlar (Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı - UHKİA) veri tabanında açık erişimdedir [25]. Her iki ölçüm organizasyonunda, havalandırma tasarımında bilinmesi öngörülen ölçüm verileri açısından eksiklikler olduğu görülmektedir. Ölçülen kirletici sayısı ikiden (PM₁₀, SO₂)'den altıya (PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO₂, O₃, CO) çıkarılmış olmakla birlikte bu durum istasyonlar arasında farklılık göstermekte, yani istasyonların tümünde bütün kirleticiler henüz ölçülmemektedir¹⁰⁹ [26]. Ayrıca bu ölçüm veri setlerinden elde edilecek tasarım verilerinin, ölçüm yerlerinin konumu ve konutun bulunduğu yer ve bina morfolojisinin etkileri göz önüne alındığında, ölçüm coğrafyasının tamamını temsil etmeyeceği aşıkardır.

Yukarıda verilen iki veri kaynağında da CO₂ konsantrasyonu ölçüm değerleri arasında yoktur. Ancak güncel teknoloji göz önüne alındığında iç ortam CO₂ konsantrasyonu, diğer kirleticiler için kabul edilebilir güvenilirlikte/maliyette sensörler olmadığından, talep kontrollü havalandırmanın (Demand Controlled Ventilation) kilit-iz kirletici bileşenidir ve dış CO₂ konsantrasyonu havalandırma debisinin belirlenmesinde ve kontrolünde giriş parametresidir. Bu nedenle, maliyet duyarlılığı ve teknolojik gelişim seviyesi açısından henüz tüm kirleticiler için kullanılabilir sensörler mevcut değilse de sensörlerinin uygunluğu açısından anlık dış hava CO₂ konsantrasyonunun ölçülmesi ve değerlendirilmesi havalandırma sistemlerinin bir özelliği olmalıdır.

Dış hava kirliliğinin ölçüme dayalı verilerle maksimum ortalamalar (%99, %96 persentil) olarak belirlenecek tasarım değerlerinin belirlenmesi açısından her kent coğrafyasında veri eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu olumsuzluğa kısa vadeli bir çözüm olarak, mevcut kirletici kaynakların göz önüne alınmasıyla geliştirilecek modellerle, kentler için havalandırma tasarımına yönelik dış hava kirleticileri haritasının oluşturulması önerilmiştir [27]. Bu yöndeki çalışmaların başlatılması uygun görülmektedir.

Gerek dış hava kirliliğinin gerek iç hava kirliliğinin anlık değerlerinin ölçülmesi, havalandırma sisteminin performansının kontrolü ve enerji tasarrufu açısından önemlidir. Kontrol sisteminin algoritmasının belirlenmesi yanında ölçümleri gerçekleştirecek sensörlerin seçimi, önemli tasarım adımlarından biridir. Bu konudaki son gelişmeler ve kullanılması önerilen sensörlerin özellikleri TOKSOY VE SOFUOĞLU tarafından özetlenmiştir[28]. Ayrıca hava kalitesi ölçme ve sensörlerle ilgili farklı alanlara (sensör seçimi, konuşlandırma, performans değerlendirilmesi, belgelendirme alanlarında) AB Standartları söz konusudur [29-32]. Sensörler konusunda tasarım giriş verilerinin tanımı için söz konusu güncel gelişmelerin ve standartların değerlendirilmesiyle bir öneri geliştirilmesi, sadece konutlar için değil, tüm havalandırma sistemleri için önerilmektedir.

7. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Türkiye'de kontrollü ve planlanmış konut havalandırması henüz mimari kodlar içinde geliştirilmemiştir. Bu çalışmada, MMO İzmir Şubesi tarafından oluşturulan Konutlarda İç Hava Kalitesi Çalışma Grubunun

¹⁰⁹ Mobil istasyonlar, CO₂ dışında, gerekli değerleri ölçme yeteneğine sahip olabilmektedir. Bu araç ile sistematik bir yaklaşımla veya düşük maliyetli sensör ağları kurmak yoluyla, sabit ölçme istasyonlarının ölçtükları kirletici değerlerinin ilgili coğrafyadaki dağılımı ne ölçüde temsil ettiğinin belirlenmesi gerektiği düşünülmektedir.

(2023) amacı doğrultusunda, mevcut standartları ve mevzuatı inceleyerek, konut havalandırma sistem tasarımının ilk adımı olan tasarım kabulleri ve tasarım giriş parametreleri için bir öneri (Tablo 6) geliştirilmiş ve bu tabloda yer alan gurupların ilk üçü (0,1,2) için öneriler geliştirilmiştir. Çalışmanın devamında geriye kalan maddeler değerlendirilecek ve öneriler geliştirilecektir.

İlk üç guruptaki parametrelerin değerlendirilmesinde, havalandırma sistemleri için olduğu kadar, ısıtma ve iklimlendirme sistemleri için de bazı ulusal projelerin geliştirilmesinin de gerekli olduğu ortaya çıkmıştır:

- Havalandırma, ısıtma ve iklimlendirme sistemleri için, kentler ve kentler içindeki ısı adacıkları göz önüne alınarak, son 10 yıllık meteorolojik verilerin analizi ile tasarım dış yaş ve kuru termometre sıcaklıkları, rüzgâr yön ve hızları, süre gelen iklim değişikliklerinin getireceği şartlar için esnek sistemlerin oluşturulması da göz önünde tutularak, yeniden belirlenmelidir.
- Havalandırma temel olarak temiz olduğu varsayılan dış havanın iç ortamlara verilmesidir. Ancak günümüzde dış hava kirliliği de küresel bir sorundur, coğrafi konuma ve zaman bağlı olarak, özellikle kentlerde insan sağlığına etkileyen değerlere ulaşabilmektedir. Havalandırma sistemlerinin amacına hizmet edebilmesi için kentlerde, dış hava kirliliğinin, binaların dışında tasarım performansını etkilemeyecek hassasiyette dar bölgelere yayılmış gerekli kirlenici bileşenlerinin tümünü ölçen bileşenlere sahip ağlarla ölçülmesi, modellenmesi bir zorunluluk olarak görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. SHERMAN, M.H. "How ASHRAE Set the Rates For Residential Ventilation". ASHRAE Journal, July 2015.
- [2]. JONES, B. "Dallying with DALYs". ASHRAE Journal, February 2023.
- [3]. LUBLINER, M. vd. "Residential Ventilation System". ASHRAE Journal, March 2020.
- [4]. BENITO, P.A. vd. "Ventilation for Residential Buildings: Critical Assessment of Standard Requirements in the COVID-19 Pandemic Context". Front. Built Environ. 7:656718. 2021. doi: 10.3389/fbuil.2021.656718.
- [5]. KURNITSKI, J. Vd. "Residential Heat Recovery Ventilation". REHVA Guide Book 25, 2021.
- [6]. "Residential Heat Recovery Ventilation Unit". Eurovent RAHU Guidebook". (First Edition), September, 2021.
- [7]. KUTNITSKI, J. ve MIKOLA, A. "Ventilation Requirements and Results in Renovation of Estonian Apartment Buildings with KredEx Scheme". The REHVA European HVAC Journal — April 2022.
- [8]. ANSI ASHRAE 62.2: 2023. "Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings".
- [9]. CONCANNON, P. "Residential Ventilation Technical Note AIVC 57, 2002.
- [10]. TS CEN TR 14788:2006. "Binalarda Havalandırma- Konut Havalandırma Sistemi Tasarımı ve Boyutlandırılması".
- [11]. TS EN 16798-1:20019. "Binaların Enerji Performansı - Binalar için Havalandırma - Bölüm 1: Binaların Enerji Performansının Tasarımı ve Değerlendirilmesi için İç Ortam Çevresel Girdi Parametreleri İç Ortam Hava Kalitesi, Termal Ortam, Aydınlatma ve Akustiği Ele Alma - Modül M1-6".
- [12]. TS CR 1752:2002. "Havalandırma - Binalar için Bina İçi Ortamlar için Tasarım Kuralları"
- [13]. TS 3419:2002. "Havalandırma ve İklimlendirme Tesisleri - Projelendirme Kuralları"
- [14]. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/StandardAra.aspx>
- [15]. TS 825:2008. "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları".
- [16]. Eurovent Guide: "RESIDENTIAL HEAT RECOVERY VENTILATION UNITS". 2021
- [17]. "Bina Enerji Performansı Yönetmeliği". RG 31755, 15 Şubat 2022.
- [18]. ASHRAE Standard 241:2023. "Control of Infectious Aerosols".
- [19]. TS 2164:1993. "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları".
- [20]. ŞEN,O. vd. "Türkiye İklim Verileri". (Proje sorumlusu: Ahmet ARISOY). Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, 2000.

- [21]. NAAQS: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. (Last updated on MARCH 15, 2023).
- [22]. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, Resmî Gazete No 26898, 06.06.2008
- [23]. "WHO Global Air Quality Guide". 2021.
- [24]. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- [25]. SİM (Sürekli İzleme Merkezi) | T.C Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
<https://sim.csb.gov.tr/>
- [26]. <https://www.izmir.bel.tr/tr/KorfezHavaVeGurultuDenetimi/22/99>
- [27]. ŞAHİN, Ü.A. "Türkiye'de Dış Ortam Hava Kalitesi ve İç Hava Kalitesindeki Önemi". Türkiye İklimlendirme Sektörü Uluslararası "Okullarda ve Öğrenci Yaşam Alanlarında İç Hava Kalitesi Zirvesi, Kızılcahamam / Ankara, 19-21 Eylül 2023.
- [28]. TOKSOY, M. ve SOFUOĞLU, S.C. "Okullarda İç Hava Kalitesi Yönetmeliği: Kapsam ve Esaslar". Türkiye İklimlendirme Sektörü Uluslararası "Okullarda ve Öğrenci Yaşam Alanlarında İç Hava Kalitesi" Zirvesi, Kızılcahamam/Ankara, 19-21 Eylül 2023.
- [29]. "Guidance on Low-Cost Sensors Deployment for Air Quality Monitoring Experts Based on the AirSensEUR Experience". EC JRC Tech. Report, EUR 31240 EN, 2022.
- [30]. "Guidance on Low-Cost Air Quality Sensor Deployment for Non-experts Based on the AirSensEUR Experience". EC JRC Technical Report, EUR 31274 EN, 2022.
- [31]. CEN/TS 17660-1:2021. "Air Quality - Performance Evaluation of Air Quality Sensor Systems - Part1: Gaseous Pollutants in Ambient Air".
- [32]. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on "Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe".

Ek 1: Havalandırma ve konut anahtar kelimeleriyle bulunan TSE Standartları listesi.
(**h:** Havalandırma kelimesi içeren standartlar ; **kh:** Konut-Bina havalandırması ile ilgili standartlar).

No1	No2	Standart No	Standart ismi
1	h1	TS EN 12236	Havalandırma-Binalar için-Hava kanalı askı ve destekleri-Dayanım özellikleri
2	h2	TS EN 14813-1:2006+A1:2010	Demiryolu uygulamaları - Makinist kabini için havalandırma - Bölüm 1 :Konfor parametreleri
3	h3	TS EN 14813-2:A1:2010	Demiryolu uygulamaları - Makinist kabini için havalandırma - Bölüm 2 : Tip deneyleri
4	h4	TS EN 15116	Binalarda havalandırma - Soğutulmuş sinyaller - Test ve derecesi active chilled beams soğutulmuş etkin sinyaller
5	h5	TS EN 15423	Binalar için havalandırma sistemleri - Binalardaki hava dağıtım sistemleri için yangın tedbirleri
6	h6	TS EN 15500-1	Binaların enerji performansı - Isıtma, havalandırma ve klima uygulamalarının kontrolü - Bölüm 1: Elektronik bireysel bölmesi kontrol donanımları - M3-5, M4-5 ve M5-5 modülleri
7	h7	TS EN 15650	Binalarda havalandırma - Yangın damperleri
8	h8	TS EN 15726	Binalar için havalandırma-Hava teneffüsü- Isıl ve akustik şartlarının değerlendirilmesi için klima/havalandırılmış odaların kapladığı alanda ölçümler
9	h9	TS EN 15759-2	Kültürel mirasın korunması - İç mekân iklimi -Bölüm 2: Kültürel miras yapılarının ve koleksiyonlarının korunması için havalandırma yönetimi
10	h10	TS EN 16009	Alevsiz patlama-Havalandırma tertibatları
11	h11	TS EN 12237	Binalarda havalandırma - Kanal şebekesi - Dairesel sac metal kanallar - Dayanım ve sızdırmazlık
12	h12	TS EN 16282-1	Ticari mutfak ekipmanları - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 1: Hesaplama yöntemi dahil genel şartlar
13	h13	TS EN 16282-2	Ticari mutfak ekipmanları - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 2: Mutfak havalandırma davlumbazları; tasarım ve güvenlik gereksinimleri
14	h14	TS EN 16282-3+A1	Ticari mutfak ekipmanları - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 3: Mutfak havalandırma tavanları; tasarım ve güvenlik gereksinimleri
15	h15	TS EN 16282-4	Ticari mutfak ekipmanları - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 4: Hava girişleri ve çıkışları; tasarım ve güvenlik gereksinimleri
16	h16	TS EN 16282-5	Ticari mutfaklar için ekipman - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 5: Hava kanalı; Tasarım ve boyutlandırma
17	h17	TS EN 16282-6	Ticari mutfaklar için donanımlar - Ticari mutfaklarda havalandırma için bileşenler - Bölüm 6: Aerosol ayırıcılar; Tasarım ve güvenlik gereklilikleri

No1	No2	Standart No	Standart ismi
18	h18	TS EN 16282-7+A1	Ticari mutfaklar için ekipmanlar - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 7: Sabit yangın söndürme sistemlerinin kurulumu ve kullanımı
19	h19	TS EN 16282-8	Ticari mutfaklar için ekipman - Ticari mutfaklarda havalandırma bileşenleri - Bölüm 8: Aerosol muameleleri için tesisler; Gereksinimler ve testler
20	h20	TS EN 16304	Gaz brülörleri ve gaz yakan cihazlar için otomatik havalandırma vanaları
21	h21	TS EN 16522	Tehlikeli maddelerin taşınması için tanklar - Tanklarda kullanılan servis donanımı - Havalandırma tertibatları için alev tutucular
22	h22	TS EN 12237	Havalandırma-Binalarda-Kanal şebekesi-Dairesel enkesitli sac metal hava kanalları-Dayanım ve sızdırmazlık
23	h23	TS EN 16522	Tanklar için Servis ekipmanları - Tehlikeli malların taşınması için tanklar havalandırma cihazları Alev arestörleri
24	h24	TS EN 17088	Yan perde havalandırma sistemleri - Güvenlik
25	h25	TS EN 17110	Tehlikeli malların taşınması tanklar - Tanklar için servis ekipmanları - Buhar manifoldu havalandırma valfi
26	h26	TS EN 50381/AC	İç tahliyeli veya iç tahliyesiz, taşınabilir havalandırılmalı odalar
27	h27	TS EN 60896-11	Sabit kurşun-Asitli bataryalar - Bölüm 11: Havalandırılmalı tipler - Genel kurallar ve deney metotları
28	h28	TS EN 62877-1	Havalandırılmalı kurşun asit akümülatörler için elektrolit ve su - Bölüm 2: Elektrolit için gereklilikler
29	h29	TS EN 62877-2	Havalandırılmalı kurşun asit akümülatörler için elektrolit ve su - Bölüm 2: Su için gereklilikler
30	h30	TS EN 721	Karavanlar - Güvenlik havalandırması gereksinimleri
31	h31	TS EN IEC 62877-1	Havalandırılmalı kurşun asit akümülatörler için elektrolit ve su - Bölüm 1: Elektrolit için gereklilikler- İş programında olan standartlar
32	h32	TS EN ISO 10121-1	Gaz fazında, hava temizleme maddesinin ve genel havalandırma cihazlarının performans değerlendirilmesi için deney yöntemi
33	h33	TS EN 12238	Havalandırma - Havalandırma uç elemanları aerodinamik deneyler
34	h34	TS EN ISO 15138	Petrol ve doğal gaz endüstrisi – Açık deniz (offshore) üretim tesisleri - Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
35	h35	TS EN ISO 21805	Gazlı yangın söndürme sistemleriyle korunan kapalı alanların yapısal bütünlüğünü korumak için havalandırma menfezlerinin tasarımı, seçimi ve montajına ilişkin kılavuz ve tavsiyeler
36	h36	TS EN ISO 29462	Parçacık büyüklüğünün uzaklaştırma verimliliği ve hava akışına direnç ile şantiyedeki genel havalandırma filtrasyon cihazları ve sistemlerinin saha deneyleri
37	h37	TS EN ISO 6412-3	Teknik resim - Boru hatlarının sadeleştirilmiş gösterimi - Bölüm 3: Drenaj sistemleri ve havalandırmanın bağlantı ucu özellikleri
38	h38	TS EN ISO 7547/AC	Gemicilik ve denizcilik teknolojisi-Yaşam alanlarında havalandırma ve iklimlendirme-Tasarım şartları ve hesaplama esasları
39	h39	TS EN ISO 8861+AC	Gemi inşası - Dizel motorlu gemilerde makina odası havalandırması - Tasarım kuralları ve hesaplama esasları
40	h40	TS ISO 14269-2	Tarım ve orman makineleri - Traktörler ve kendi yürür makineler -Operatör kabin ortamı - Bölüm 2: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme deney metodu ve performansı
41	h41	TS ISO 15500-15	Kara yolu taşıtları - Sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) yakıt sistemi bileşenleri - Bölüm 15: Gaz-Sızdırmaz mahfaza ve havalandırma hortumu
42	h42	TS ISO 26802	Nükleer tesisler - Nükleer reaktörler için sınırlama ve havalandırma sistemlerinin tasarımına ve işletilmesine yönelik ölçütler

43	h43	TSE CEN/TR 15500-2	Binaların Enerji Performansı - Isıtma, havalandırma ve klima uygulamalarının kontrolü - Bölüm 2: TR prEN 15500-1'e eşlik eden: 2015 - Modüller M3-5, M4-5, M5-5
44	h44	TS EN 12599	Binalarda havalandırma - Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin üzerindeki deney işlemleri ve ölçme metotları
45	h45	TSE IEC/TR 60079-16	Patlayıcı gaz ortamlarında kullanılan elektrikli cihazlar bölüm 16-Analizleme binalarının korunması için yapay havalandırma
46	h46	TSE K 43	Plâstik yapı mamulleri - Havalandırma amaçlı kullanılan malzemeler ve aksesuarları
No1	No2	Standart No	Standart ismi
47	h47	TS EN 12792	Havalandırma-Binalar için - Semboller, terminoloji ve grafik sembolleri
48	h48	TS EN 13030	Havalandırma-Binalarda-Uç elemanlar- Havalandırma kanallarının benzeştirilmiş yağmur ortamında performans deneyi
49	h49	TS EN 13180	Binalar için havalandırma - Kanallar - esnek kanallar için boyutlar ve mekanik özellikler
50	h50	TS EN 13182+AC	Binaların havalandırması-Havalandırılan hacimdeki hava hızının ölçülmesinde kullanılan cihaz özellikleri
51	h51	TS EN 13403	Binalarda havalandırma - Metal olmayan kanallar - Yalıtımlı kanal panellerinden imal edilmiş kanal sistemi
52	h52	TS EN 13403	Binalarda havalandırma - Metal olmayan kanallar - Kanal yalıtım panellerinden imal edilmiş kanallar
53	h53	TS EN 14277	Havalandırma-Binalar için-Hava taşıyıcı tertibatlar-ATD/basınç odalarına yakın veya içindeki kalibreli duyargalarla hava debisinin ölçülmesi
54	h54	TS EN 1505	Havalandırma binalarda-Sac metalden yapılan-Dikdörtgen enkesitli hava kanalları ve bağlantı elemanları-Boyutlar
55	h55	TS EN 1506	Havalandırma binalarda-Kanal şebekesi-Dairesel en kesitli sac metal hava kanalları-Bağlantı elemanları-Boyutlar
56	h56	TS EN 1507	Havalandırma-Binalarda-Kanal şebekesi-Dikdörtgen enkesitli sac metal hava kanalları-Dayanım ve sızdırmazlık-Özellik ve deneyler
57	h57	TS EN 15727	Binalarda havalandırma - Kanallar ve kanal şebekesi bileşenleri, sızdırmazlık sınıflandırması ve deney
58	h58	TS EN 15780:2011	Binalar için havalandırma-Kanal şebekesi- Havalandırma sistemlerinin temizliği
59	h59	TS EN 15805	Hava filtreleri - Genel havalandırmada parçacık filtrelemek için - Standardize edilmiş boyutlar
60	h60	TS EN 16211	Binalar için Havalandırma - hava Ölçümü sitelerde - Yöntemleri
61	h61	TS EN 17192	Binalar için havalandırma - Kanal sistemi - Metalik olmayan kanal sistemi - Gereklere ve deney yöntemleri
62	h62	TS EN 1751	Binalarda havalandırma - Hava terminal cihazları - Damper ve vanaların aerodinamik deneyleri
63	h63	TS EN 1886	Havalandırma- Binalarda- Hava işleme ünitelerinin mekanik performansı
64	h64	TS EN 45510-4-3	Enerji santralleri-Donanımlar için tedarik kılavuzu-Bölüm 4: Kazan yardımcı tesisleri-Kısım 3: Havalandırma donanımı
65	h65	TS 3420	Havalandırma ve iklimlendirme tesislerini yerleştirme kuralları
66	h66	TS EN 50636-2-92	Güvenlik kuralları – Ev ve benzeri yerlerde kullanılan elektrikli cihazlar için - Bölüm 2-92: Yaya kumandalı, şebeke elektriği ile çalışan çim kazıma ve havalandırma makinaları için özel kurallar
67	h67	TS EN 60335-2-88	Güvenlik kuralları - Ev ve benzeri yerlerde kullanılan elektrikli cihazlar için - Bölüm 2-88: Isıtma, havalandırma veya iklimlendirme sistemleri ile kullanılması amaçlanan nemlendiriciler için özel kurallar
68	h68	TS EN IEC 60665	A.A. havalandırma fanları ve ev ve benzeri yerlerde kullanılan hız regülatörleri- Performans ölçme yöntemleri

69	h69	TS EN ISO 10121-2	Genel havalandırma için gaz fazlı hava temizleme ortamı performansı ve cihazlarının muayenesi için deney yöntemleri- Bölüm 2: Gaz fazlı hava temizleme cihazları (GPACD)
70	h70	TS EN ISO 10121-3	Gaz fazlı hava temizleme maddesinin ve genel havalandırma cihazlarının performansını değerlendirmek için deney yöntemleri - Bölüm 3: Dış mekân havanın temizlenmesi için uygulanan GPACD'ler için sınıflandırma sistemi
71	h71	TS EN ISO 16890-1	Genel havalandırma için hava filtreleri - Bölüm 1: parçacık madde verimliliğine (EPM) dayanan teknik şartnameler, gereklilikler ve sınıflandırma sistemi (ISO 16890-1: 2016)
72	h72	TS EN ISO 16890-2	Genel havalandırma için hava filtreleri - Bölüm 2: Kesirli verimlilik ve hava akış direncinin ölçümü
73	h73	TS EN ISO 16890-3	Genel havalandırma için hava filtreleri - Bölüm 3: Yakalanan test tozunun kütlesine karşı gravimetrik verimliliğin ve hava akışı direncinin belirlenmesi (ISO 16890-3: 2016)
74	h74	TS EN ISO 16890-4	Genel havalandırma için hava filtreleri - Bölüm 4: Minimum kesirli test verimliliğini belirlemek için şartlandırma yöntemi
No1	No2	Standart No	Standart ismi
75	h75	TS 3831	Sıcak havalı ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, ayar ve kontrol tesisatında kullanılan semboller
76	h76	TS EN ISO 5135	Akustik - Havalandırma cihazlarından, birimlerinden, sönümleyicilerden ve vanalardan kaynaklanan gürültü ses güç seviyelerinin çinlama odalarında ölçülerek belirlenmesi
77	h77	TS EN ISO 7235	Akustik - Havalandırma kanalına monte edilen susturucular ve hava sonlandırma birimleri için laboratuvar ölçme işlemleri - Araya girme kaybı, akış gürültüsü ve toplam basınç kaybı (ISO 7235:2003)
78	h78	TS EN ISO 7235	Akustik - Havalandırma kanalına monte edilen susturucular ve hava sonlandırma birimleri için laboratuvar ölçme işlemleri - Eklenti kaybı, akış gürültüsü ve toplam basınç kaybı
79	h79	TS ISO 9512	Sigaralar-Havalandırma tayini-Tarifler ve ölçüm prensipleri
80	h80	TSE CEN/TS 16244	Hastanelerde havalandırma - Hastanelerde ventilasyon ile ilgili terimler ve tanımlar
81	h81	TSE CEN/TS 17153	Binalar için havalandırma - Hava akış oranının ortam koşullarına göre düzeltilmesi
82	h82	TSE CEN/TS 17441	Laboratuvar tesisatları - Laboratuvar havalandırma sistemleri
83	h83	TSE K 196	Kanal tipi sığınak havalandırma cihazı
84	h84	TSE K 536	Havalandırma üniteleri - Binalarda kullanılan metalik ve sentetik filtreler - Özellikler ve deneyler
85	h85	TSE K 538	Havalandırma - Binalarda hava kanallarında kullanılan susturucular - Özellikler ve deneyler
86	h86	TS 5895	Merkezi klima (iklimlendirme) ve havalandırma tesislerinin işletme ve bakım kuralları
87	kh1	TS CR 1752	Havalandırma - Binalar için bina içi ortamlar için tasarım kuralları
88	kh2	TS 3419	Havalandırma ve iklimlendirme tesisleri - Projelendirme kuralları
89	kh4	TS CEN TR 14788:2006	Binalarda havalandırma- Konut havalandırma sistemi tasarımı ve boyutlandırılması
90	kh3	TS EN 13141-1	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 1: harici ve dahili olarak monte edilmiş hava aktarma tertibatı
91	kh7	TS EN 13141-2	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 2: Egzoz ve hava beslemesi uç birim tertibatı
92	kh8	TS EN 13141-3	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 3: konutlarda kullanım için aspiratörler"

93	kh9	TS EN 13141-4	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 4: Tek yönlü havalandırma ünitelerinin aerodinamik, elektrik gücü ve akustik performansı
94	kh10	TS EN 13141-5	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 5: Davlumbazlar ve çatı çıkışı uç birim tertibatı"
95	kh11	TS EN 13141-6	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri - Bölüm 6: Tek bir konutta kullanılan egzoz havalandırma sistemleri"
96	kh12	TS EN 13141-7	Binalar için havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/ürünlerin performans testi - Bölüm 7: Kanallı mekanik besleme ve egzoz havalandırma ünitelerinin performans testi (ısı geri kazanımı dahil)
97	kh13	TS EN 13141-8	Binalar için havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyi - Bölüm 8: Kanalsız mekanik besleme ve egzoz havalandırma ünitelerinin performans deneyi (ısı geri kazanımı dahil)
98	kh14	TS EN 13141-9	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri -Bölüm 9: Harici olarak monte edilmiş nem kontrollü hava iletim elemanları
99	kh5	TS EN 13141-10	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenlerin/mamullerin performans deneyleri -Bölüm 10: Nem kontrollü süzme hava uç elemanları
No1	No2	Standart No	Standart ismi
100	kh6	TS EN 13141-11	Binalar için Havalandırma - konut havalandırma için bileşenler / ürünlerin Performans testleri - Bölüm 11: Tedarik havalandırma üniteleri
101	kh15	TS EN 13142	Binalarda havalandırma - Konut havalandırması için bileşenler/mamuller - Zorunlu ve ihtiyari performans karakteristikleri
102	kh16	TS EN 14134	Binalarda havalandırma - Meskenlerdeki havalandırma sistemlerinin performans deneyleri ve montaj kontrolleri
103	kh17	TS EN 15665	Binalarda havalandırma - Konut havalandırma sistemleri için performans kriterlerinin belirlenmesi
104	kh18	TS EN 16573	Binalar için Havalandırma - Konut binalarının bileşenlerinin performans testleri - Isı pompaları da dahil olmak üzere tek ailelik konutlar için çok fonksiyonlu dengeli havalandırma üniteleri
105	kh19	TS EN 16445	Binalar için Havalandırma - Hava difüzyon - Karışık akış uygulaması için Aerodinamik test ve değerlendirilmesi: soğuk jet için izotermal olmayan işlem
106	kh20	TS EN 16798-1	TS EN 16798
107	kh21	TS EN 16798-3	
108	kh22	TS EN 16798-5 - 1	
109	kh23	TS EN 16798-5 - 2	
			Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 1: Binaların enerji performansının tasarımı ve değerlendirilmesi için iç ortam çevresel girdi parametreleri iç ortam hava kalitesi, termal ortam, aydınlatma ve akustiği ele alma - Modül M1-6
			Binaların enerji performansı - Binalarda havalandırma - Bölüm 3: Konut dışı binalar için - Havalandırma ve oda şartlandırma sistemleri için performans gereksinimleri (Modüller M5-1, M5-4)
			Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 5-1: Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin enerji gereksinimleri için hesaplama yöntemleri (Modüller M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8) - Yöntem 1: Dağıtım ve üretim
			Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 5-2: Havalandırma sistemlerinin enerji gereksinimleri için hesaplama yöntemleri (Modüller M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8) - Yöntem 2: Dağıtım ve üretim

- KONUTLARDA İÇ HAVA KALİTESİ VE HAVALANDIRMA -

110	kh24	TS EN 16798-7	Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 7: Binalardaki hava akış oranlarının belirlenmesi için hesaplama metotları, sızma dahil (Modüller M5-5)
111	kh25	TS EN 16798-9	Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 9: Soğutma sistemlerinin enerji gereksinimleri için hesaplama yöntemleri (Modüller M4-1, M4-4, M4-9) - Genel
112	kh26	TS EN 16798-13	Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 13: Soğutma sistemlerinin hesaplanması (Modül M4-8) - Üretim
113	kh27	TS EN 16798-15	Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 15: Soğutma sistemlerinin hesaplanması (Modül M4-7) - Depolama
114	kh28	TS EN 16798-17	Binaların enerji performansı - Binalar için havalandırma - Bölüm 17: Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin denetimi ile ilgili esaslar (Modül M4-11, M5-11, M6-11, M7-11)

SÜRDÜREBİLİRLİĞİN GELECEĞİ İÇİN DOĞU'YA BAKIN

İklimlendirme sektörüne yön veren Ar-Ge yatırımlarımız ve güçlü ekibimizle, dünyanın geleceğini düşünen cihazların titizlikle test edildiği yerdeyiz.



DOĞU'DA PROJELENDİRİLDİ

Enerji verimliliği yüksek, çevreci, yenilikçi ve sürdürülebilir iklimlendirme cihazlarını geleceğin teknolojisi ile planlıyoruz.

