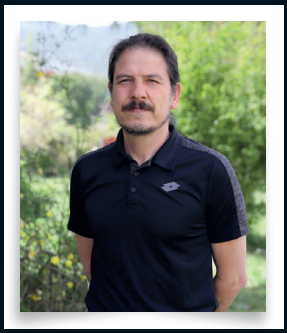
Dr. Macit TOKSOY



Prof. Dr. Sait Cemil SOFUOĞLU

Bu yayın TMMOB Makina Mühendisleri Odası'nın yayınıdır.
Yayın No: MMO/736
E-ISBN: 978-605-01-1547-5

KARBONDİOKSİT VE SINIFLAR

BÖLÜM 7
HAVALANDIRMA, STANDARTLAR, LİMİTLER

Yaklaşık iki yüzyıllık yoğun bilimsel ve teknolojik gelişmeler sonucunda temiz doğal dış hava ile havalandırma, insanların fizyolojik ve zihinsel sağlığı ile bilişsel performansı açılarından giderek önem kazanmış, son iki yıldır yaşanan COVID-19 salgını pratiğinde hayati bir konuma yükselmiştir. Isıtma Havalandırma İklimlendirme (HVAC[a]) pratiğinde, yaşam hacimlerindeki çeşitli emisyonlarla kirlenmiş olan iç ortam havasının temiz olduğu kabul edilen dış hava ile değiştirilmesi anlamında algılanan havalandırma için bu basit tanımın ötesinde bir tanım ve değerlendirme gerektiği görülmektedir. Bu bölümde havalandırma için daha açık bir tanım önerilmektedir. Bu tanımlama ve değerlendirme aslında mevcut teknolojinin havalandırma için öngördüğü özelliklerin öne çıkarılmasından başka birşey değildir. Ancak mühendislik pratiği açısından tasarımlara, uygulamalara ve denetime daha geniş bir perspektifte rehberlik edecek çerçeveyi çizmektedir.

Bu bölümde ikinci olarak havalandırma tasarımında karbon dioksitin önemi üzerinde durulmuştur. ASHRAE 62.1 – 2019 standardındaki İç Hava Kalitesi Prosedürüne göre bir iç ortama verilecek dış hava debisi ve belirlenecek diğer tasarım parametreleri, iç ortamdaki kirlilik kaynaklarına, kirlilik konsantrasyon limitlerine ve kabul edilebilir iç hava kalitesi seviyesine bağlı olarak belirlenir. Karbondioksit, okullar gibi özellikle insan yoğun iç ortamlarda, önemli bir kirleticidir ancak ASHRAE 62.1-2019 açısından diğer kirleticilere göre bir ayrıcalığı yoktur. Hal böyleyken karbon dioksit kaynağının sadece insanlar olduğu ortamlarda, karbon dioksit konsantrasyonunun, aynı zamanda iç ortamdaki diğer sıradan kaynaklardan (yüzeylerden vs) oluşan emisyonların konsantrasyonu için de bir gösterge olabileceği yaklaşımıyla, havalandırma sistemi tasarımında ve Talep Kontrollu Havalandırmada (TKH -DCV)[b] bir parametre olarak kullanılmaktadır.

[a] HVAC: Heating Ventilating Air Conditioning
[b] DCV: Demand Controlled Ventilation

Havalandırma sistemleri tasarımının başlangıç noktası, binalardaki hacimlere, basılacak temiz-dış hava debisinin belirlenmesidir. Bu amaçla belirlenen iki temel algoritma vardır. Bunlardan ilki (Havalandırma Miktarı Prosedürü - HMP) hacimlerin fonksiyonu (ofis, sınıf, yatak odası, vs) ve büyüklüğü (alanı), insan yoğunluğu göz önüne alınarak hava debisinin belirlenmesidir. Bu yöntem havalandırma teknolojisinde kullanılan ilk yöntemdir. İkincisi ise (İç Hava Kalitesi Prosedürü- İHKP) iç hava kirliliğinin her bir bileşeninin konsantrasyonunu sağlık limitlerinin altına indirecek şekilde, kirlilik ve emisyon hızlarına bağlı olarak dış hava debisinin belirlenmesidir. Bu yöntem ise giderek gelişmekte ve önem kazanmaktadır. Bu bölümde söz konusu iki algoritmanın (prosedürün) kritik bir değerlendirilmesi verilmiştir.

BÖLÜM 7A
HAVALANDIRMANIN TANIMI

Dış hava kirliliği ve doğal olarak dış hava kirliliğinin başlangıç seviyesi olduğu iç hava kirliliğinin, insan sağlığı ile çalışma ve öğrenme performanslarına olan etkisi, bilim insanlarının son otuz yılda giderek artan bir hızla ilgisini çekmektedir. Günümüzde dış hava kirliliği, insan sağlığı açısından sigara ile aynı tehlike sınıfında yani kanserojenik sayılmaktadır. 2019 yılında başlayan ve 2022 yılında sürmekte devam eden COVID-19 salgınında, enfekte insanlardan yayılan havada asılı (airborne) virüslerin rolü, havalandırmada hedef olarak şimdiye kadar çok önem verilmeyen bir boyutu, biyolojik kirliliği, çok öne çıkarmıştır. 2020 yılının başından itibaren ölümcül bu salgına karşı, havalandırma açısından karmaşa görünümü içinde farklı yaklaşımlar geliştirilmiş, bu dönem iyi yönetilememiştir. Salgın dinamiğinin transdisipliner bir alan olmasına karşın, havalandırma yoluyla salgın riskin azaltılmasına ilişkin öneriler, mevcut havalandırma tasarım algoritmalarıyla geliştirilmeye çalışılmıştır. Kapalı yaşam hacimlerinde, partikül ve gaz kirliliğine maruziyet ile biyolojik (patojen) kirliliğine maruziyet arasında, insan sağlığına etkileri açısından önemli bir fark vardır. Günümüz hava kirliliği etkileri metriklerine göre partikül ve gaz kirliliklerinin, zaman ortalama maruziyet değerleri önemlidir; biyolojik kirliliğin ise kaynaktan vektörel dağılımı diğerlerinden daha önemli olduğu gibi, belli bir doz düzeyinin üzerinde maruziyeti, kısa zamanda ve etkin hatta bazı insanlar için ölümcül sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Amerika'da 17 Mart 2020'de, Skagit (Washington) kasabasında, bir klise koro çalışmasına katılan 61 kişiden birinin, 2,5 saat süren koro çalışması esnasında yaydığı virüsler nedeniyle toplam 52 kişi enfekte olmuş, hastalananlardan ikisi vefat etmiştir [1]. Benzeri bir yayılma profili, Ocak 2020 'de Çin'in Guangzhou şehrindeki bir restoranda, müşteriler arasındaki enfekte bir kişi, dokuz diğer müşterinin enfeksiyonuna neden olmuştur [2]. Söz konusu enfeksiyon yayılımının olduğu insan yoğunluğu yüksek iç ortamlarda ve benzeri yerlerde, partikül ve gaz kirliliğinin kısa zamanda neden olduğu ciddi hastalıklara ve ölümlere, 20 Mart 1995'de Tokyo metrosundaki sarin gazı terörizmi dışında, literatürde rastlanmamaktadır. COVID-19 örneğinde olduğu üzere biyolojik kirliliğin diğer iç ortam kirliliklerine göre göreceli ani ve şiddetli etkileri, havalandırma sistemlerinin, gelecekteki böylesine kirliliklere karşı "resilient - uyumlu" sistemler olması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda geliştirilecek olan havalandırma sistemleri için havalandırmanın yeniden daha açık (explicit) tanımlanmasında yarar görülmektedir.

1980'li yıllarda, ASHRAE (Handbooks) el kitaplarında "havalandırma dış havanın planlanmış olarak veya infiltrasyon veya exfiltrasyon olarak kendiliğinden bina içinden geçmesidir ve iki nedenle[a] önemlidir" şeklinde bir tanımı yapılmış [3,4] ve daha sonra havalandırma doğal (natural) veya zorlanmış (forced) olarak iki gruba, doğal havalandırma da infiltrasyon ve kontrollu doğal havalandırma olarak iki sınıfa ayrılmıştır; kontrol, açılır kapanır pencere ve kapıların, el ile açılıp kapatılmasıdır. Doksanlı yıllarda tanım ve sınıflandırmalar aynı kalmış, zorlanmış havalandırma için "mekanik havalandırma" ismi de literatüre kazandırılmıştır [5]. İki binli yıllarda tanımlara başkaca bir ekleme olmamıştır.

[a] Nedenlerden biri iç havanın dış hava ile seyreltilmesi, diğeri ise enerji

Havalandırmanın ASHRAE 62.1 (2010 ve sonrası) standardında tanımı ise "havalandırma, kirletici seviyesini, nemi veya sıcaklığı kontrol etmek amacıyla bir hacme hava verilmesi veya hacimdeki havanın alınmasıdır" şeklindedir. Standart formatı içinde yer alan tanımlar bölümünde infiltrasyon, mekanik havalandırma ve doğal havalandırma ayrıca tanımlanmıştır. Dış hava için standart içinde bir bölüm olmasına karşılık, ASHRAE Fundamentals'da olduğu gibi havalandırma tanımı içinde, iç hacimdeki havanın dış hava ile yer değiştirmesi kavramına yer verilmemiştir. Şüphesiz standartın bütünü göz önüne alındığında iç hava değişiminin dış hava ile yer değiştirmesi anlamında kullanıldığı görülmektedir. Hava temizleyicileri (air cleaners), hava temizleme (air cleaning) gibi terimler standart içinde sınırlı sayıda yer alsa da partikül filtrelenmesi, ultraviolet ışınım ve (öngörülmeyen) ozon ile dezenfeksiyon ilgili paragraflarda geçmektedir. Taşınabilir hava temizliyicileri tanımlamasında kullanılan (portable) kelimesi standart içinde yer almamaktadır.

Makina mühendisliği eğitimi alanlar, tesisat mühendisliğinin pratiği içinde olanlar ve hatta yetişkinlerin tamamı için havalandırmanın, iç hacimdeki havanın dış hava ile yer değiştirmesini mümkün kılan doğal veya yapay süreçler olduğu açıktır. Ancak, görüldüğü üzere, gerek ASHRAE Fundamentals ve gerek ASHRAE Standard 62.1'de yapılan havalandırma tanımları, İlk Prensip (First Principle) ile havalandırma bilim ve teknolojisinin başlangıç noktası olarak, biyolojik kirlilik açısından da ışık tutucu değildir. Bu nedenle özellikle COVID-19 salgınında kapalı yaşam hacimlerinde risk azaltan bir araç olarak da havalandırma için aşağıdaki tanım yazarlar tarafından önerilmektedir:

Havalandırma, yaşam hacimlerindeki diğer iç çevre konfor şartlarından (özellikle ısıl ve akustik konfor) vazgeçmeden, biyolojik, kimyasal ve partikül kirliğini, yaşayanların fiziksel ve bilişsel sağlığını ve performansını etkilemeyecek konsantrasyona, dış havanın ortama entegrasyonu ile düşürmek olarak tanımlanır. Bu tanımdaki entegrasyon iç ortamda bulunan insanların tümü için, kirlilik kaynağının iç ortamdaki yerine bağlı olmaksızın, bireyler arasında özel enfeksiyon, gaz ve partikül tünelleri yaratmadan, biyolojik, kimyasal ve partikül kirlilik konsantrasyonlarının, insanlar için zararlı seviyede herhangi bir kirletici içermeyen dış hava kullanılarak, sağlık riski yaratmayacak şekide düşürülmesidir. Entegrasyon havalandırma terminolojisiyle, yüksek havalandırma etkinliği, düşük hava yaşı sağlamak demektir.

Ana teması CO_2 olan bu çalışmada havalandırma ve tanımı üzerinde durulmasının nedeni, kendisi de bir kirletici olan CO_2'in, havalandırma teknolojisinde bir gözlem ve kontrol parametresi olarak kullanılmasıdır.

KAYNAKLAR

[1]HAMMER, L. vd. "High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice-Skagit County, Washington, March 2020", CDC Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWE), Vol.69, No,19, 15 May 2020.
[2]LU, J. vd. "COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020". CDC EID Journal Vol. 26, No.7, July 2020. DOI: 10.3201/eid2607.200764, April 02, 2020.
[3]ASHRAE Fundamentals 1981.
[4]ASHRAE Fundamentals 1985.
[5]ASHRAE Fundamentals 1997.

BÖLÜM 7B
HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMINDA KARBONDİOKSİTİN ÖNEMİ

Günümüz Avrupa ve Kuzey Amerika standartları[a], yaşam hacimlerindeki insan kökenli (bioeffluent) hava kirleticilerinin yarattığı konforsuzluğu gidermek üzere gerekli minimum havalandırma debileri temelinde formüle edilmişlerdir ve iç hava içindeki gaz kirleticileri seyreltmek üzere eşik

[a] EN16798 (CEN, 2019), ADF (HM Government, 2015), Building Bulletin (BB)101 (Education and Skills Funding Agency, 2018), ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2019) ve the International WELL Building Standard (International WELL Building Institute, 2020a).

konsantrasyon değerlerini tanımlamaktadırlar [1]. Bunun sonucu olarak da, modern mekanik havalandırmalı binalarda iç hava kalitesi kontrol stratejisi, hacim içerisindeki CO_2 eşik değerine göre ayarlanan Talep Kontrollu Havalandırmaya (THK) dayanmaktadır [2].

Daha geniş olarak, özel bir fonksiyonu olmayan sıradan yaşam hacimlerindeki karbondioksit konsantrasyonu, sağlık, çevre ve havalandırma alanlarında ortak bir iç hava kalitesi bileşenidir. Yaşam hacimlerindeki karbondioksit konsantrasyonu günümüz havalandırma pratiğinde aşağıdaki işlemlerde kullanılmaktadır.

a.Havalandırma tasarımında,
b.Havalandırma yeterliğinin ve veriminin kontrolünde,
c.İç hava kalitesinin sağlık riskinin değerlendirilmesinde,
d.Kendisinin yaratacağı sağlık riskinin değerlendirilmesinde,
e.Karbondioksit de dahil olmak üzere, karbondioksitin temsil ettiği iç hava kirliliğinin yaratacağı sağlık riskinin değerlendirilmesinde.
f.İç hava kalitesi bileşenlerinden biyolojik kirliliğinin yaratacağı sağlık riskinin değerlendirilmesinde.

Havalandırma tasarımında bir kapalı hacim içerisinde bulunan insanların temiz hava gereksiniminin karşılanmasında ASHRAE tarafından, üçüncüsü ilk ikisi ile ilintili, 3 yöntem (procedure) verilmektedir:

1.HMP-Havalandırma Miktarı Prosedürü
(VRP-Ventilation Rate Procedure).

2.İHKP-İç Hava Kalitesi Prosedürü
(IAQP-Indoor Air Quality Procedure)

3.DHP-Doğal Havalandırma Prosedürü
(NVP-Natural Ventilation Procedure)

Önceki yüzyılın sonundaki ASHRAE Fundamentals rehberinde Havalandırma Miktarı Prosedürü ön planda iken, diğer iki prosedür zamanla gelişerek bugün önerilen algoritmalara ulaşmışlardır. Elbette HMP de, hacimlerin fonksiyonlarına göre giderek geliştirilmiştir. ASHRAE Standard 62-1999'da sınıflar için tek bir havalandırma değeri verilirken, ASHRAE 62-2019'da sınıflar 2-8 yaş arası, 9 ve daha büyük, yoğunluğun daha yüksek olduğu sınıflar (lecture classroom), konferans salonları, sanat sınıfları vs gibi alt kırılımlara ayrılmıştır (Tablo 7B1).

Tablo 7B1, havalandırmada gerekli hava debisinin ve yönteminin değişimini gösterirken, IAQ üzerine son otuz yılda yapılan araştırmaların değişim üzerindeki etkisini de göstermektedir. ASHRAE Mevcut Durum dokümanında [2] vurgulandığı üzere daha çok araştırmalara gereksinim vardır. İç hava kalitesini belirleyen faktörler arasında (iklim, mimari özellikler, metabolik alışkanlıklar, vs gibi) yerel parametrelerin de mevcut olması, söz konusu çalışmaların farklı coğrafyalar için de yapılması gerektiğini göstermektedir.

ASHRAE 62.1-2019'dan alınan ve Tablo 7B1'de gösterilen değerler, günümüzde Havalandırma Miktarı Prosedürüne (HMP) göre, kapalı hacimlerde insan ve kapalı hacim taban büyüklüğüne bağlı olarak havalandırma debisinin belirlenmesinde kullanılan büyüklüklerdir. Bu büyüklüklerin belirlenmesinde hacim içerisinde kararlı halde karbondioksitin belli bir eşik değerin altında tutulması öngörüsü söz konusudur. Örneğin; EN16798-1:2019'da yer alan I., II. ve III. Kategori mahaller için, dış hava CO_2 konsantrasyonunun üzerinde öngörülen limit 550 ppm, 800 ppm ve 1350 ppm değerleri, sırasıyla 10 l/s.kişi, 7 l/s.kişi ve 4 l/s.kişi havalandırma debilerine karşılık gelmektedir [3].

Tablodaki hacim fonksiyonlarına bağlı farklılıklar göz önünde tutulursa, hesaplanan her hava debisi için hacim içinde metabolik karbondioksit emisyonuna bağlı farklı bir karbondioksit-zaman ilişkisi doğar. Bu ilişkinin belirlediği zaman ortalama ve maksimum konsantrasyon değerleri, hem karbondioksit açısından hem de, karbondioksitin temsil etiği diğer kirleticilerin tümü için, kapalı hacimdeki iç hava kalitesinin orada yaşayanlar için uygun olup olmadığının ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Tablo 7 B1. Eğitim kurumlarında solunum bölgesinde minimum havalandırma debisi karşılaştırılması (ASHRAE 62- 1999, 2019).

EĞİTİM ORTAMI (FONKSİYON)		Tahmini yoğunluk insan/100 m²		Dış Hava Gereksinimi			
				L/s.kişi		L/s.m²	
		1999	2019	1999	2019	199	2019
SINIFLAR	Sınıf	50		8			
	Sanat sınıfı		20		5		0,9
	(5 - 8) yaş arası sınıflar		25		5		0,6
	(9 yaş ve daha büyük) sınıflar		35		5		0,6
	Kreş hasta odası		25		5		0,9
	Kreş (4 yaşa kadar)		25		5		0,9
	Konferans dersliği		65		3,8		0,3
	Sabit koltuklu konferans salonu		150		3.8		0.3
	Atölyeler /Marangoz-Metal	30	20	10	5		0,9
LABORA - TUVARLAR	Laboratuvarlar (1)	30		10			
	Bilim Laboratuvarları		25		5		0,9
	Ünivesite /Meslek Okulu Lab		25		5		0,9
	Bilgisayar laboratuarı		25		5		0,6
	Müzik odaları	50		8			
	Müzik/Tiyatro/Dans odaları		35		5		0,3
	Kütüphaneler	20	**10**	8	2.5		0.6
	Soyunma odaları					2,50	
	Koridorlar					0,50	
	Auditorium	150	150	8	2.5		0.3
	Sigara salonları (2)	70		30			
	Medya Merkezi		25		5		0,6
	Çok amaçlı toplantı salonu		100		3,8		0,3
	(1) Bazı prosesler ve hayvanların bulunduğu laboratuvarlar için özel kirlilik kontrol sistemleri gerekebilir (*Kimya laboratuvarlarında çeker ocakların olması gibi – mt/scs*). (2) Normal olarak havanın transferi ile sağlanır.						

İster mekanik havalandırma, ister doğal havalandırma, ister mekanik havalandırma ile doğal havalandırmanın birlikte kullanıldığı kapalı ortamlarda, karbondioksit konsantrasyonunun limit değerlerinin altında tutulması, havalandırmanın temel hedefi olmaktadır. DING [3] tarafından yapılan çalışmada görüleceği üzere Amerika, İngiltere, Fransa, Danimarka, Hollanda, Finlandiya, İtalya, Çin'de yüzlerce okulda yapılan havalandırma seviyelerinin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda, sınıflardaki havalandırma debilerinin yeterliliği ölçülen CO_2 konsantrasyonlarına göre belirlenmiştir. Metabolik karbondioksit dışında özel bir karbondioksit kaynağının olmadığı sınıf gibi kapalı hacimlerde, CO_2'in limit konsantrasyon değerinin altında tutulmasının, geleneksel-kültürel yapı elemanları ve fonksiyonel donanımların diğer kirleticilere ait emisyonlarının da birikime yol açmayacağı öngörülmektedir. İnşaat ve donanım kodlarına ve standardlarına bağlı olarak kapalı hacimlerde kullanılan her türlü malzemenin kirletici emisyon değerleri de farklı olacaktır. Her türlü hacimde olduğu gibi sınıflarda kullanılan her türlü malzemenin emisyonlarından oluşan konsantrasyonların değişiminin karbondioksit konsantrasyonu değişimi ile ilişkisi incelenmelidir. Ancak bu tür çalışmalardan sonra karbondioksitin limit değerinin bir gözlem elemanı olarak kullanılıp kullanılamayacağına, ya da önerilen karbondioksit limit değerlerinin diğer kirleticilerinin seviyesine gerekli limit değerlerin altında tutup tutmayacağına

karar verilmelidir. Şüphesiz bu noktada diğer kirleticilerin kolay ve ekonomik ölçülmesine ait teknolojilerin de gelişmesi önemlidir.

COVID-19 ile karbondioksitin gözlem aracılığı ve limit değerinin bir kontrol parametresi olması bir başka boyut kazanmıştır. Bu boyut kapalı ortamdaki karbondioksit konsantrasyonuyla, kapalı hacimde enfekte insanların yaydığı biyo-aerosollerden diğer insanlar için oluşacak bulaşma (enfeksiyon) riski arasındaki ilişkidir. Bulaşma riskinin hesaplanması, bulaşıcı hastalıkların yayılma dinamiğinin anlaşılması ve toplum için bulaşma riskinin tahmini açısından önemlidir. Sayısal risk değerlendirmesi, hastalığın yayılmasının ve alınan önlemlerin etkinliğinin sayısal olarak analizine de imkan verir [4].

Bir kapalı hacimde havada asılı patojenlerler ile enfeksiyonun yayılma riskini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir [4]:

- Havada asıl patojenin dağıtımı ve dağılımı
- Havalandırma stratejisi
- Patojenin yaşam süresi
- Patojeni taşıyan partikül (Aerosol) büyüklüğü
- Solunum ile biriken miktar (Respiratory deposition)
- Heterojen bulaşıcılık (Heterogeneous infectivity)
- Havadaki türbülans
- Patojen – taşıyan (host) ilişkisi
- Kontrol tedbirleri

En genel halde bir kapalı hacimdeki enfeksiyon riskinin hesaplanmasında bu faktörlerin göz önüne alınması gerekir. Ancak henüz bu faktörlerin tümüne göz önüne alan bir model geliştirilmemiştir.

Şimdilik gittikçe geliştirilen, hem deterministik hem de olasılıksal (probabilistik) risk simülasyonlarında kullanılan iki model vardır [4,5]. Bunlardan ilki, Wells-Riley eşitliği olarak anılan modeldir. Wells-Riley olarak anılan eşitliğin geliştirilmesine sebep olan projenin ilgi çekebilecek hikayesi Riley tarafından 2001 tarihinde, okunmaya değer önemli bir belge olarak yayınlanmış, çalışmaya çok önemli katkı koyan araştırmacılar ve kurumsal katkılar anılmıştır [6]. Diğer model ise kimyasalların, ilaçların, biyo-ajanların ve diğer stres etkenlerinin, organizmalar üzerindeki etkilerini tanımlamak için kullanılan, HAAS-1993 tarafından geliştirilen ve daha çok tehlikeli kimyasalların risk değerlendirmesinde kullanılan Doz-Tepki Modelidir [4]. Her iki modelde yapılan çalışmaların değerlendirmeleri TO ve CHAO [4] ile BRENT [7] tarafından verilmiştir. Son zamanlarda Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği (Computational Fluid Mechanics) araçlarının da risk analizinde kullanıldığı görülmektedir [8]. Literatür incelendiğinde havalandırmanın önemli rol oynadığı, havada asılı patojenlerin yayılması ile gelişen bulaşıcı hastalıkların ilgili risk analizlerinde, Wells-Riley Eşitliği ve modifiye edilmiş varyantları günümüze kadar pekçok çalışmada kullanılmış [5,9÷17] ve söz konusu modellerin algoritmalarını kullanan simülatörler geliştirilmiştir [12,15]. Doz-Tepki Modeli için geliştirilmiş simülatörler de söz konusudur [18,19]. Bu modelin havalandırma ile arakesiti, risk analizinde (ister mekanik ister doğal olsun) havalandırma debisinin kullanılmasıdır. Pratikte bir hacimdeki havalandırma debisinin belirlenmesi, zamanla değişimi de göz önüne alınırsa, çok güçtür.

Havalandırma debisinin belirlenmesindeki belirsizlik aralığı hiç şüphesiz hesaplanan risk değerindeki hassasiyeti de tartışılır hale getirecektir. Zamana bağlı havalandırma debileri olması halinde Wells-Riley eşitliğinin geçerli olmadığı belirtilerek, risk analizlerinde havalandırma debisine dayalı dezavantajdan kaçınmak için havalandırma debisi yerine, kolay ölçülebilir kendisi de bir kirletici olan ve iz elamanı olarak kullanılan karbondioksitin kullanılması öngörülerek, öncülüğünü RUDNICK ve MILTON'ın [20] yaptığı risk modelleri kullanılmaya başlamıştır [11,21÷27]. Karbondioksit temelli risk analizleri, iç ortamlardaki karbondioksit konsantrasyonunu daha da önemli hale getirmiştir. Böylelikle biyolojik kirliliğin söz konusu olduğu hallerde, karbondioksit ve diğer kirleticiler için belirlenen karbondioksit limit değerinin bulaşma riskini hangi seviyeye getirdiği veya bulaşma riskini çok düşürmek için olması gereken karbondioksit konsantrasyonun ne olması gerektiği gibi analizleri yapmak mümkün olacaktır. Bu bağlamda, karbondioksit konsantrasyonunun değişimi ile quanta[b] konsantrasyonun değişimi arasındaki ilişki ve quanta konsantrasyonunun Wells-Riley modeline göre tahmin edilen bulaşma

[b] Enfeksiyonun quantumu, enfeksiyona sebep olan solunum ile alınan partikül ölçüsüdür [35]. Havada asılı (aerosol) enfeksiyon yeteneği olan partiküller (damlalar, damlacık çekirdekleri) quanta olarak tanımlanmaktadır [7]. Wells, havada asılı olup solunum ile alınan her enfekte damlanın/aerosol'ün enfeksiyon yapmayacağını kabul etmiştir. Kararlı, iyi karıştırılmış (well mixed - izotropik) bir kapalı ortamda bulunanların %63'ünü (=1-1/e)enfekte edecek, minimum quanta sayısı bir quantum olarak tanımlamıştır. Bu sayı virüs tipi gibi parametrelere bağlıdır [7, 12]. Fiziksel bir birim olmayıp hipotetik bir doz birimidir ve epidemiyolojik çalışmalardan tanımlanmaktadır [7].

riskine etkisi üzerine yapılan bir çalışma ve değerlendirilmesi literatürde yer almaktadır [12].

COVID-19'un yayılma riskinin azaltılması amacıyla 1000 ppm eşik değeri ile CO_2'in sürekli izlenerek havalandırmanın kontrol edilmesi önerilmektedir [28,29]. Araştırmacılar COVID-19 ve grip gibi hava yoluyla yayılan hastalıkların bir iç ortamdaki bulaşma riskinin, CO_2'in izlenmesi yoluyla gerçek zamanlı olarak takip edilebeleceğini göstermektedirler [22,27,30÷32]. Ancak mutlak CO_2 konsantrasyonunun hava yoluyla bulaşma riskinin tek göstergesi olmadığı [33] ve özellikle insan yoğunluğu düşük olduğu büyük kapalı hacimlerde düşük karbondioksit seviyesinin, enfeksiyonun hava yoluyla bulaşmasının önlenmesi için yeterli olmadığı not edilmiştir [34].

Sonuç olarak günümüzde kapalı hacimlerdeki CO_2 konsantrasyonu, en başta insan kaynaklı kirleticiler nedeniyle oluşan iç hava kalitesi (koku) konforsuzluğunun göstergesidir. Yine günümüzde, genel olarak 1000 ppm, daha hassas uygulamalarda 800 ppm eşik değerleri ile hem fizyolojik hem bilişsel sağlıklı yaşam ortamları yaratmak üzere, İç Hava Kalitesi Prosedürü ile havalandırma debisinin belirlenmesinde ve kontrolunda, bulaşıcı hastalıkların yayılmasında riskin hesaplanması, riskin azaltılması ve nihayet riskin takibinde CO_2 kullanılmaktadır.▪

KAYNAKLAR

[1]McLEOD, R.S. vd. "An Investigation of Indoor Air Quality in a Recently Refurbished Educational Building". Front. Built Environ. 7:769761, 2022. doi: 10.3389/fbuil.2021.769761
[2]"ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide". February 2, 2022, February 2, 2022, Expires February 2, 2025.
[3]DING, E. vd. "Ventilation Regimes of School Classrooms Against Airborne Transmission of Infectious Respiratory Droplets: A Review". Building and Environment, 207, 108484, 2022.
[4]TO, G.N.S. ve CHAO C.Y.H. "Review and Comparison between the Wells–Riley and Dose-Response Approaches to Risk Assessment of Infectious Respiratory Diseases". Indoor Air, 20: 2–16, 2010.
[5]NOAKES, C.J. ve SLEIGH, P.A. "Applying the Wells-Riley Equation to the Risk of Airborne Infection in Hospital Environments: The importance of Stochastic and Proximity Effects". In: Indoor Air, 2008 : The 11th International Conference on Indoor Air Quality and Cl. Indoor Air 2008, Copenhagen, Denmark, 17-22nd August 2008.
[6]RILEY, R.L. "What Nobody Needs to Know About Airborne Infection". Amerıcan Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 163, 2001.
[7]STEPHENS, B. "HVAC Filtration and the Wells-Riley Approach to Assessing Risks of Infectious Airborne Diseases". Final Report, NAFA Foundation Report, 2012.
[8]FOSTER, A. ve KINZEL, M. "Estimating COVID-19 Exposure in a Classroom Setting: A Comparison between Mathematical and Numerical Models". Phys. Fluids 33, 021904,2021. https://doi.org/10.1063/5.0040755
[9]ESCOMBE, A.R. vd. "Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion". PLoS Med 4(2): e68. 2007. doi:10.1371/journal.pmed.0040068
[10]FURUYA, H. "Risk of Transmission of Airborne Infection during Train Commute Based on Mathematical Model". Environmental Health and Preventive Medicine, 12, 78–83, March 2007.
[11]BUONANNO, G. vd. "Quantitative Assessment of the Risk of Airborne Transmission of SARS-CoV-2 Infection: Prospective and Retrospective Applications". Environment International, 145, 106112, 2020.
[12]LOOMANS, M. vd. "Calculating the Risk of Infection". REHVA Journal, October 2020.
[13]LI, J. vd. "Evaluation of Infection Risk for SARS-CoV-2 Transmission on University Campuses". Science and Technology for the Built Environment, 27:9, 1165-1180, 2021 doi:10.1080/23744731.2021.1948762
[14]NORDSIEK,F. vd. "Risk Assessment for Airborne Disease Transmission by Poly-Pathogen Aerosols". 2021. doi.org/10.1101/2020.11.30.20241083
[15]YILMAZOĞLU, M.Z. ve DEMİRCAN, A. "Covid-19 Sürecinde Mevcut Hastanelerde Mekanik Sistemlerinde Alınması Gereken Önlemler ve Tecrübeler", Politeknik Dergisi, Cilt , Sayı , 1-1,.2021 http://dergipark.org.tr/politeknik/archive
[16]LI, X, vd. "A Spatiotemporally Resolved Infection Risk Model for Airborne Transmission of COVID-19 Variants in Indoor Spaces". Science of the Total Environment, 812, 152592, 2022.
[17]YANG, Y. vd. "Effects of Purifiers on the Airborne Transmission of Droplets Inside a Bus". Phys. Fluids, 34, 017108, 2022. doi.org/10.1063/5.0081230
[18]HENRIQUES, A. vd."Modelling Airborne Transmission of SARS-CoV-2 Using CARA: Risk Assessment for Enclosed Spaces". Interface Focus 12: 20210076. 2022. doi.org/10.1098/rsfs.2021.0076
[19]AZIMI, P. vd. "Mechanistic Transmission Modeling of COVID-19 on the Diamond Princess Cruise Ship Demonstrates the Importance of Aerosol Transmission". PNAS, Vol. 118, No. 8, 2021.
[20]RUDNICK, S. N. ve MILTON, D. K. "Risk of Indoor Airborne Infection Transmission

Estimated from Carbon Dioxide Concentration". Indoor Air, 13, 237–245, 2003.
[21]TAYLOR, J.G. vd. "Measuring Ventilation and Modelling M. Tuberculosis Transmission in Indoor Congregate Settings, Rural KwaZulu-Natal". INT. J. TUBERC. LUNG. DIS. 20(9):1155–1161, 2016. doi.org/10.5588/ijtld.16.0085
[22]PENG, Z. ve JIMENEZ, J.L. "Exhaled CO2 as a COVID-19 Infection Risk Proxy for Different Indoor Environments and Activities". Environ. Sci. Technology Lett., 8, 392-397, 2021.
[23]PENG, Z. vd. "Practical Indicators for Risk of Airborne Transmission in Shared Indoor Environments and Their Application to COVID-19 Outbreaks". Environ. Sci. Technology, 56, 1125-1137, 2022.
[24]VOURIOT, C.V.M. vd. "Seasonal Variation in Airborne Infection Risk in Schools Due to Changes in Ventilation Inferred From Monitored Carbon Dioxide". Indoor Air, 31:1154–1163, 2021.
[25]BURRIDGE, H.C. vd. "Predictive and Retrospective Modelling of Airborne İnfection Risk Using Monitored Carbon Dioxide". Indoor and Built Environment, 0(0) 1–18, 2021. doı: 10.1177/1420326X211043564
[26]GOSMANN, A.K. vd. "Reducing Infection Risk and optimization of Airing Concepts for indoor Air Quality by Accurate Aerosol and CO2 Measurement". Healthy Buildings 2021 – Europe, 2021.
[27] BAZANT, M.Z. vd. "Monitoring Carbon Dioxide to Quantify the Risk of Indoor Airborne Transmission of COVID-19". Flow, 1 E10, 2021. doi:10.1017/flo.2021.10
[28]ESTRELLA, P. vd. "Should Carbon Dioxide (CO2) Monitors be Used to Reduce Transmission of COVID-19?". Philippine COVID-19 Living Clinical Practice Guideline. Institute of Clinical Epidemiology, National Institutes of Health, UP Manila. 5 November 2021.
[29]EYKELBOSH, A. "Can CO2 Sensors be Used to Assess COVID-19 Transmission Risk?". Vancouver, BC: National Collaborating Centre for Environmental Health; Jan 15, 2021.
[30]TANG, H. vd. "Tempo-Spatial Infection Risk Assessment of Airborne Virus via CO_2 Concentration Field Monitoring in Built Environment". Building and Environment, 217, 109067, 2022.
[31]CIRES, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences at the University of Colorado Boulder. "Carbon Dioxide Levels Reflect COVID Risk". April 7, 2021.
[32]ZIVELONGHI, A. ve LAI, M. "Mitigating Aerosol Infection Risk in School Buildings: The Role Of Natural Ventilation, Volume, Occupancy and CO_2 Monitoring". Building and Environment, 204. 108139, 2021.

ÖZGEÇMİŞLER

Macit TOKSOY

1972'de İTÜ Makina Fakültesini bitirdi. 1976'da Ege Üniversitesinde Mühendislik Fakültesinde Doktora çalışmasını tamamladı. Ege Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsünde öğretim elemenı ve öğretim üyesi olarak çalıştı. 1978 - 1980 seneleri arasında North Carolina Eyalet Üniversitesinde misafir öğretim üyesi olarak çalıştı. 2013 senesinde endüstride çalışmak üzere emekli oldu. 2013-2018 yıllarında tam zamanlı olarak Eneko A.Ş'de çalıştı. 2019 başından bu yana tesisat sektöründe danışmanlık yapıyor.

Üniversitelerde çeşitli kademelerde yöneticilik yaptı. 2005 İzmir Üniversiade Yaz Oyunları'nda Genel Koordinatör Yardımcısı, 2011 Erzurum Universiade Kış Oyunlarında Genel Sekreter, 2013 Mersin Akdeniz Oyunlarında Genel Koordinatör Yardımcısı olarak görev aldı. Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesinde ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneğinde yöneticilik yaptı, her iki kuruluşun çalışmalarına aktif olarak katkı koyuyor. MMO'nun düzenlediği Ulusal Tesisat Mühendiliği Kongresine ve TTMD'nin Uluslararası Yapıda Tesisat Sempozyumu organizasyonlarında yürütme kurullarında görev yaptı. MMO, TTMD, ASHRAE ve TIBTD üyesi, İSKİD Onur Üyesi, REHVA ve EUROVENT çalışmalarına katıldı.

Akademik çalışma alanları ısı transferi, güneş enerjisi, jeotermal enerjini doğrudan ve dolaylı uygulamaları. Diğer ilgi alanları: Üniversite Eğitimi, Proje Yönetimi, Uluslararası Spor Etkinliği Yönetimi, Dijitalleşme, Ortaçağda Aydınlanma.170 civarında makale ve bildirinin yazarı. REHVA''nın bir ek kitabının yazarlarından biri. Evli iki çocuklu.

Sait Cemil SOFUOĞLU

DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüden mezun oldu. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak iki yıl çalıştı. Öğrenimine ABD'de devam edip yüksek lisans ve doktorasını Illinois Institute of Technology'den aldı. Halen, İYTE Çevre Mühendisliği bölümünde Prof. Dr. ünvanı ile çalışmakta, iç hava kirliliği, hava kirliliği ve maruziyet – risk değerlendirmesi konularında araştırmalar yapmakta ve dersler vermektedir.

➧ *Devamı bir sonraki sayımızda yayınlanacaktır.*