

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAPALI ALANLARDA BULAŞ RİSKİNİN BELİRLENMESİ
VE DOĞAL HAVALANDIRMA ÖNERİLERİ:
İZMİT TREN GARI ÖRNEĞİ**

SENAY SEYMEN

KOCAELİ 2025

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAPALI ALANLARDA BULAŞ RİSKİNİN BELİRLENMESİ
VE DOĞAL HAVALANDIRMA ÖNERİLERİ:
İZMİT TREN GARI ÖRNEĞİ

SENAY SEYMEN

Doç. Dr. Neslihan TÜRKMENOĞLU BAYRAKTAR

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Beyhan PEKEY

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Nuri SERTESER

Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.01.2025

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☐ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☒ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından 3577 no' lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Senay SEYMEN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☒ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☐ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....
Senay SEYMEN

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, kapalı ve gün içinde aktif olarak kullanılan ulaşım yapılarına örnek olarak İzmit Tren Garı' ndaki, hava yoluyla yayılan patojen bulaş riski taşıyan kısımlar tespit edilmiş ve yapılan tespit doğrultusunda gardaki mevcut doğal havalandırma performansı değerlendirilmiştir. Riskli görülen kısımlar üzerine doğal havalandırma ve ek önlemleri içeren iyileştirme önerileri sunulmuştur. Yapılan çalışma, kapalı mekanlardaki doğal havalandırmanın, patojen yayılımının azaltılması ve salgın tehlikesinin önlenmesi bağlamındaki önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 3577 numaralı proje ile desteklenmiştir. BAP Birimi' ne destekleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecimde beni motive eden, bilgi ve deneyimleri ile yoluma ışık tutan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Neslihan TÜRKMENOĞLU BAYRAKTAR' a teşekkürlerimi sunarım. Bu süreçte desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, gücüme güç katan, sınırsız sevgisi ve sabrıyla hayatım boyunca arkamda olan annem ve babama her şey için teşekkür ederim.

Ocak – 2025

Senay SEYMEN

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Tezin Amacı.....	6
2.2. Tezin Yöntemi	7
3. LİTERATÜR TARAMA.....	11
3.1. Kapalı Alanlarda Hava Yollu Bulaş Riski.....	12
3.1.1. Hava Yoluyla Yayılan Patojenlere Örnek Olarak Covid-19 Virüsünün Yapısı ve Yayılma Dinamikleri.....	12
3.1.2. Hava Yollu Bulaş Riskinin Azaltılmasında Doğal Havalandırma Etkisi	17
3.2. Kapalı Alanlarda Hava Yollu Bulaş Riskinin Tespiti ve Azaltılmasına Yönelik Çalışmalar	23
3.2.1. Bulaş Riskinin Tespitinde CO ₂ Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar	26
3.2.2. Bulaş Riskinin Tespitinde PM Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar	28
3.2.3. Bulaş Riskinin Tespitinde Hava Hızı Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar	30
3.2.4. Bulaş Riskinin Tespitinde Hava Yaşı Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar	32
3.3. Kapalı ve Kalabalık Alanlar Olarak Ulaşım Yapılarında Hava Yollu Bulaş Riskini İnceleyen Çalışmalar	33
3.4. Literatür Değerlendirme ve Literatürdeki Boşluğun Tespit Edilmesi	36
4. İZMİT TREN GARI' NDA BULAŞ RİSKİNİN TESPİTİ VE AZALTILMASI ÖNERİLERİN GELİŞTİRİLMESİNDE İZLENECEK YÖNTEM	41
4.1. Çalışma Alanı	41
4.2. İzmit Tren Garı'nda Covid-19 Bulaş Riski Oluşturan Parametrelerin Ölçümü Aşamaları	45
4.2.1. Veri Toplama ve Analiz	46
4.2.2. Ölçüm	54
4.2.2.1. Ölçüm Cihazları	54
4.2.2.2. Ölçüm Süreci	55
4.3. Mevcut Durumun Simülasyonu ve Bulaş Riskinin Belirlenmesi	59
4.3.1. Simülasyon Modelinin Tanıtımı.....	60
4.3.2. Simülasyon Girdilerinin Tanıtımı.....	61
4.3.3. Simülasyon ve Ölçüm Sonuçlarının Kalibrasyonu.....	63

4.3.4. Normalizasyon Yönteminin Tanıtımı.....	64
5. İZMİT TREN GARI' NDAKİ BULAŞ RİSKİNİN TESPİTİ VE SAĞLIK AMAÇLI DOĞAL HAVALANDIRMA ETKİNLİĞİNİN ARTTIRILMASINA YÖNELİK BULGULAR.....	66
5.1. Referans Noktaların CO ₂ Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	73
5.2. Referans Noktaların PM Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	76
5.3. Referans Noktaların Hava Hızı Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
5.4. Referans Noktaların Hava Yaşı Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	83
5.5. Ölçüm Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Tespiti.....	87
5.6. Normalizasyon Yöntemi ile Yüksek Riskli Alanların Tespiti.....	89
5.7. Bulguların Değerlendirilmesi	90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR.....	99
EKLER	109
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1.	Tez akış şeması.....	9
Şekil 3. 1.	SARS-CoV-2 virüsü	13
Şekil 3. 2.	Partikül maddelere yapışan ve havada asılı kalan SARS-CoV-2 virüsü.....	13
Şekil 3. 3.	Enfekte bir insanın havaya yaydığı damlacık ve biyoaerosol bulutları: (a) Hapşırıldığında, (b) Öksürdüğünde, (c) Soluk verdiğiğinde	15
Şekil 4. 1.	Kocaeli rüzgar hızı haritası	42
Şekil 4. 2.	2.12.2020 tarihine kadar görülen vaka sayıları - salgının 1. yılı	43
Şekil 4. 3.	20.03.2021 – 26.03.2021 tarihleri arasındaki Türkiye salgın risk haritası - salgının 2. yılı	43
Şekil 4. 4.	İzmit Tren Garı vaziyet planı	44
Şekil 4. 5.	İzmit Tren Garı: (a) Dışardan fotoğraf, (b) Zemin kat oturma alanı ve danışma bölümü, (c) 22:00’ da kapanan dükkan kapıları, (d) 1. kat ofis kapıları.....	47
Şekil 4. 6.	Tren sefer sayısı ve insan yoğunluğu grafiği	50
Şekil 4. 7.	İzmit Tren Garı kullanıcılarının dolaşım hatları.....	51
Şekil 4. 8.	İzmit Tren Garı içeriden fotoğraflar: (a) Gara giriş kapısı, (b) Gardan çıkış kapısı – raylara gidiş kapısı, (c) L şeklinde uzayan bilet kontrol sırası, (d) 1. kat galeri boşluğu	52
Şekil 4. 9.	İzmit Tren Garı zemin kat planı ve referans noktalar	53
Şekil 4. 10.	İzmit Tren Garı 1. kat planı ve referans noktalar	53
Şekil 4. 11.	Ölçümde kullanılan aletler: (a) Testo 440 CO ₂ ölçer, (b) Testo 435 hava hızı ölçer, (c) Cem DT-9880 PM ölçer.....	55
Şekil 4. 12.	Ölçüm aşamaları: (a) Kağıtların yapıştırılması, (b) Ölçüm aletlerinin 1.5 metre kotunda konumlandırılması, (c) Ölçüm aletlerinin 1 metre kotunda konumlandırılması, (d) Ölçüm anı.....	56
Şekil 4. 13.	Gar binası zemin kat planı ısı alanları	62
Şekil 4. 14.	Gar binası 1. kat planı ısı alanları.....	62
Şekil 4. 15.	Simülasyon ve ölçümlerde elde edilen hız değerlerinin korelasyonu	63
Şekil 5. 1.	Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük CO ₂ ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları.....	69
Şekil 5. 2.	Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük hız ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları.....	69
Şekil 5. 3.	Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük PM _{2.5} ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları.....	70
Şekil 5. 4.	Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük PM ₁₀ ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları.....	70
Şekil 5. 5.	Beş günün 3 ölçüm saatindeki dış ortam PM ₁₀ değerleri ve günlerin ölçüm saatlerinin ortalamaları, veriler Kocaeli-İzmit-MTHM istasyonundan alınmıştır	71

Şekil 5. 6.	İzmit Tren Garı zemin kat planı ve referans noktalar	73
Şekil 5. 7.	Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki CO ₂ değerleri	74
Şekil 5. 8.	L şeklinde uzayan bilet sırasında yer alan 3-Z-A, 2-Z-A ve 1-Z-A noktaları	75
Şekil 5. 9.	Çarşamba günündeki 16 referans noktanın ölçüm saatlerindeki PM _{2.5} ve PM ₁₀ değerlerinin korelasyonu	76
Şekil 5. 10.	Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki PM _{2.5} ve PM ₁₀ değerleri	77
Şekil 5. 11.	Akşamüzeri simülasyonu 1 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (17.00-17:45, kişi sayısı: 40)	79
Şekil 5. 12.	Akşam simülasyonu 2 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (18:15-19:00, kişi sayısı: 80)	80
Şekil 5. 13.	Gece simülasyonu 3 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (23:00-23:45, kişi sayısı: 5)	81
Şekil 5. 14.	Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki hava hızı değerleri	82
Şekil 5. 15.	Akşamüzeri simülasyonu 1 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (17.00-17:45, kişi sayısı: 40)	84
Şekil 5. 16.	Akşam simülasyonu 2 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (18:15-19:00, kişi sayısı: 80)	85
Şekil 5. 17.	Gece simülasyonu 3 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (23:00-23:45, kişi sayısı: 5)	86
Şekil 5. 18.	Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki hava yaşı değerleri	87
Şekil 5. 19.	Bekleme salonu bulaş riski haritası	90

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 4. 1.	Kocaeli' nin 2021, 2022, 2023 yıllarına ait ısıtma-soğutma verileri ortalamaları.....	42
Tablo 4. 2.	Gar bekleme alanı açıklıklarının gün içindeki kullanımı.....	49
Tablo 5. 1.	16 Referans noktadaki hız, CO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ parametrelerinin çarşamba, perşembe, cuma, cumartesi ve pazar günlerindeki 17:00-17:45 (ölçüm 1), 18:15-19:00 (ölçüm 2), 23:00-23:45 (ölçüm 3) saatlerindeki değerlerinin ortalaması ve günlerin ölçüm saatindeki insan sayısı toplamı.....	67
Tablo 5. 2.	16 referans noktanın 5 güne ait hız, CO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ parametrelerinin ölçüm vakitlerindeki ortalamaları.....	72
Tablo 5. 3.	Referans notaların EK-A ve EK-B' de hesaplanan bulaş riski değerleri tablosu.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
'	: Dakika
°	: Derece
V	: Hacim
°C	: Santigrat derece
c	: Enfekte kişi sayısı
cm.	: Santimetre
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
I	: Enfektör sayısı
i	: Referans nokta
k	: Ölçüm saat aralığı
m ² .	: Metrekare
m ³ .	: Metreküp
m/s.	: Metre/Saniye
n	: İnsan sayısı
O ₂	: Oksijen
P	: Enfeksiyon risk olasılığı
p	: Enfeksiyona duyarlı kişinin akciğer solunum hızı (m ³ /h)
ppm.	: Parts per million (Milyonda Bir)
PM _{2.5}	: Partikül madde 2.5 mikrometre
PM ₁₀	: Partikül madde 10 mikrometre
R _p	: kişi başına hava değişim oranı (cfm/kişi)
R _a	: alan başına hava değişim oranı (cfm/ft ²)
Q	: Odanın havalandırma debisi (m ³ /dakika)
q	: Enfekte kişinin kuantum virüs üretme Hızı (saat ⁻¹)
s	: Enfeksiyona duyarlı kişi sayısı
sn.	: Saniye
t	: Maruz kalma süresi (saat)
µg/m ³	: Mikrogram/Metreküp
µm.	: Mikron
U	: Mikron
x	: İlgili referans noktanın tipik gün üç ölçüm saatinin ortalaması

Kısaltmalar

ACH	: Air Changes Per Hour (Saat Başına Düşen Hava Değişimi)
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği)
CDC	: Centers for Disease Control and Prevention (Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri)
CDD	: Cooling Design Days (Soğutma Gün Sayısı)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
EPA	: Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre

	Koruma Ajansı)
HDD	: Heating Design Days (Isıtma Gün Sayısı)
HVAC	: Heating, Ventilation, and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
IWEC	: International Weather for Energy Calculations (Enerji Hesaplamaları için Uluslararası Hava Durumu)
PCR	: Polymerase Chain Reaction (Polimeraz Zincir Reaksiyonu)
PM	: Particulate Matter (Partikül Madde)
PMV	: Predicted Mean Vote (Tahmin Edilen Ortalama Oy)
RBE	: Risk Baskılama Endeksi
REHVA	: Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (Avrupa Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme Dernekleri Federasyonu)
RH	: Relative Humidity (Bağıl Nem)
WHO	: World Health Organisation (Dünya Sağlık Örgütü)

KAPALI ALANLARDA BULAŞ RİSKİNİN BELİRLENMESİ VE DOĞAL HAVALANDIRMA ÖNERİLERİ: İZMİT TREN GARI ÖRNEĞİ

ÖZET

İnsan, yaşamının çoğunu özel veya kamusal olan kapalı ortamlarda geçirmektedir. Birçok insanın birlikte bulunduğu kapalı kamusal mekanlar, gerekli önlemler alınmadığında, hava yoluyla yayılan patojenler için elverişli koşullar oluşturmaktadır. Bu patojenler insanlar arasında temas olmasa dahi, kullanıcıları enfekte edebilir. Sağlıklı mekan koşullarının sağlanması için, doğal havalandırma performansının arttırılması yoluyla mekan havasının patojen yükünden seyreltilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Kocaeli ilinde aktif olarak kullanılan kapalı kamusal mekan olan ve olumsuz koşullarda olası bir salgından etkilenebilecek İzmit Tren Garı incelenmiştir. Gardaki bulaş riskinin tespiti için, güncel bir problem olan Covid-19 virüsü ele alınmıştır. Literatürün taranmasıyla virüs yayılma dinamikleri ve yayılımını etkileyen iç hava parametreleri olan CO₂, PM, hava hızı, hava yaşı faktörleri araştırılmıştır. Garın yolcular tarafından kullanılan bekleme salonunda tren seferlerine bağlı olarak kalabalık saatler analiz edilmiş, yolcuların dolaşım hattı üzerine referans noktalar konumlandırılmıştır. Referans noktalarındaki CO₂, PM, hava hızı değerleri salonda yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Bu noktalarda tipik günde ölçülen ve Designbuilder programı CFD (Computational Fluid Dynamics) eklentisiyle oluşturulan simülasyondan alınan hız değerlerinin kalibrasyonu ile referans model oluşturulmuştur. Referans modelden, noktaların tipik gündeki hava hızı, hava yaşı değerleri edinilmiştir. Tipik günün, referans noktalarındaki CO₂, PM, hava hızı, hava yaşı parametrelerinin ortalamaları normalize edilmiş, risk baskılama endeksi denkleminde kullanılmıştır. Denklemlerle hesaplanan baskılama endeksinin düşük olduğu noktalar, riskin yüksek olduğu bölgeler olarak tanımlanmıştır. Böylece temel iyileştirme önerilerinin üretilmesinden önce sorun tespitinin yapılması sağlanmıştır. Salonun güneydoğu bölgesinin bulaş riskinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu kısmın iyileştirilmesi üzerine sunulan doğal havalandırma önerileriyle olası salgın durumunda gar yapısının dirençli hale getirilerek kullanıcıların enfeksiyon kapmasını önleyecek proaktif bir çalışma sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulaş Riski, Doğal Havalandırma, İç Hava Parametreleri, İnsan Yoğunluğu, Kapalı Alanlar.

ASSESSMENT OF TRANSMISSION RISK IN ENCLOSED SPACES AND NATURAL VENTILATION RECOMMENDATIONS: A CASE STUDY OF İZMIT TRAIN STATION

ABSTRACT

People spend the majority of their lives in enclosed environments, whether private or public. Enclosed public spaces with high human occupancy can facilitate the spread of airborne pathogens, particularly without necessary safety measures. These pathogens can infect individuals even without direct contact between people. To ensure healthy environmental conditions, it is essential to reduce the pathogen load in indoor air by improving natural ventilation performance. This thesis examines İzmit Train Station, a closed public space actively used in Kocaeli Province, which could be significantly affected by a potential outbreak under adverse conditions. The study focuses on the Covid-19 virus, a current issue, to assess the risk of transmission within the station. A literature review investigated the dynamics of virus transmission and the indoor air parameters affecting viral spread CO₂, PM, air velocity, and air age. Crowded hours were analyzed based on train schedules in the station's waiting hall, which passengers use, and reference points were positioned along the passengers' circulation paths. The CO₂, PM, and air velocity values at the reference points were determined through measurements taken in the hall. A reference model was created by calibrating air velocity data from typical day measurements and simulations generated using the DesignBuilder software with its Computational Fluid Dynamics (CFD) module. Velocity and age of air values at the reference points were extracted from the reference model for a typical day. The Risk Suppression Index formula normalized and utilized the average values of CO₂, PM, air velocity, and air age parameters at the reference points on a typical day. The points where the suppression index calculated by the formula is low are defined as regions with a high risk. In this way, problem identification is ensured before generating basic improvement proposals. It was determined that the southeast section of the hall carries a higher risk of transmission. A proactive study was presented to make the station structure more resilient in the event of a potential outbreak, with natural ventilation recommendations provided to improve this section and prevent users from contracting infections.

Keywords: Transmission Risk, Natural Ventilation, Indoor Air Parameters, Human Density, Enclosed Spaces.

1. GİRİŞ

Yaşam aktivitelerimizin büyük kısmını gün içinde zorunlu olarak bulunduğumuz okul, işyeri gibi mekanlarda gerçekleştiririz. Geçici ve kısa zaman dilimlerinde çok sayıda insan ile bir arada bulunarak kullandığımız mekanlar da bulunmaktadır. Özellikle kapalı ve geçici kamusal mekanlarda insan yoğunluğunun artış gösterdiği zaman zarflarında, bu kısa sürelerde dahi bulaşıcı hastalıklara yakalanma riski oldukça yüksek seviyelerdedir. Bazı hastalık yapıcı mikroorganizmalar, insanlar arasında herhangi bir tensel temas olmasa dahi, hava yoluyla yayılarak, sağlıklı olan mekan kullanıcılarını enfekte edebilirler. Havalandırmanın yetersizliği ve buna bağlı olarak düşük iç hava kalitesi, bu gibi mikroorganizmaların yayılması için elverişli ortam koşullarını oluşturur. Hastalık yapıcı mikroorganizmalar, mekan içindeki hava akımları ile kaynağından uzaklaşarak dolaşabilir. Mekan dışına çıkamayan patojenik mikroorganizma yüklü kirli hava, insanın en temel aktivitesi olan solunum yolu ile kullanıcıların vücutlarına girer ve kişi bu yolla hasta olabilir. Özellikle, belli zaman aralıklarında kalabalıklaşan ulaşım yapıları gibi, farklı yerlerden gelen insanların kullandığı ve toplu taşıma aracını beklerlerken vakit geçirdikleri mekanlarda, havadaki patojen yükü daha çabuk yükselir. Dolayısıyla bu gibi binalar, etkin bir şekilde havalandırılmıyorsa kullanıcıların tümü için tehlikeli mekanlar haline gelirler.

Yaklaşık 3 yıl boyunca tüm Dünya' yı etkisi altına alan ve hava yoluyla bulaşan bir virüs kaynaklı olan Covid-19 pandemisi, ilk kez 17 Kasım 2019 tarihinde, Çin' in Wuhan kentinde ortaya çıkmıştır (URL-1). Çin hükümeti, Wuhan kentini karantinaya almış olsa da salgın, kenti çoktan aşmış, farklı coğrafyalara yayılmış ve 11 Mart 2020' de WHO (World Health Organisation) tarafından küresel bir salgın/ pandemi olarak bildirilmiştir (URL-2). Virüsün Türkiye sınırlarına gelmesi ile birlikte dönemin sağlık bakanı, 1 Nisan 2020' de salgının tüm Türkiye' ye yayıldığını belirtmiştir (URL-3). Mutasyon yeteneği fazla olan bu virüsün genotip çeşitliliği fazladır. Geçirdiği mutasyonlar ile virüs, ortam koşullarına daha dayanıklı, enfekte ediciliği artan ve bu şekilde hastaların bağışıklık kazanmasını geciktirir hale gelmiştir (Di Gennaro ve diğ., 2022). SARS-CoV-2' nin, Dünya' da bulunan ve solunum yoluyla bulaşan diğer mevsimsel virüslerden daha hızlı yayıldığı bilinmektedir (Coelho ve diğ., 2020). Böylece salgın aşı bulunup, toplumsal bağışıklık kazanılana kadar dünya genelinde devam etmiştir.

Covid-19, bir solunum yolu hastalığıdır. Hastada, ateş, solunum yetmezliği, öksürme, vücutta ağrılar, yorgunluk, tat ve koku duyularında hissizleşme gibi belirtiler görülebilir. Bazı vakalarda ise ilerleyen hastalık, ciddi soluk yetmezliğine veya zatürreye sebep olabildiğinden, yoğun bakım ünitelerinde tedavi gerektirir (Bhadoria ve diğ., 2021). WHO' nun sitesinde en son verilere göre 30 Haziran 2024 itibariyle Dünya genelinde 775.482.000 vaka, 7.049.000 ölüm, Türkiye genelinde ise 17.004.000 vaka 101.420 ölüm bildirilmiştir (URL-4; URL-5). 2020 yılından itibaren yaklaşık 3 yıl süren pandemi hali, aşının bulunması ve toplumsal bağışıklığın sağlanması yoluyla vaka sayısının giderek azalması ile sonlanmıştır.

Pandemide ülkelerin çoğu, salgın yayılımını azaltacak önlemlerin teşhis edilmesi, ardından uygulanmasına kadar olan süreçte hızlı müdahalede bulunamamıştır. Dünyanın bu çapta bir salgına hazırlıksız olması, SARS-CoV-2 fizyolojik yapısı sebebiyle hava yoluyla yayılıma sebep olması pandemi oluşumunu ve boyutunu hızlandırmıştır. Türkiye ve diğer ülkelerin, salgın yayılımını kontrol altına alması sürecinde, birçok alanda ciddi problemler yaşanmıştır. Hastane kapasiteleri yetersiz kalmış ve sağlık çalışanları büyük risk koşullarında çalışmışlardır. Salgının kontrol altına alınmasındaki yetersizlik ve gecikme karantina önleminin alınmasına neden olmuştur. Karantina süreci ve karantinaya rağmen virüsün yayılmaya devam etmesi nedeniyle, sağlık, eğitim, seyahat, turizm, hizmet vb. sektörleri derinden etkilemiş, ekonomik durgunluk, yüksek enflasyon, işsizlik, stokçuluk, gıda kıtlığı yaşanmış ve dünya ekonomisi daralmıştır. Tüm bunlarla birlikte, bu süreçte yüz binlerce insanın hayatını kaybetmesi ülkelerin acil durum ilan ederek durumun iyileştirilmesi adına yaptıkları çalışmalarını hızlandırmıştır.

Virüsün fizyolojisi ve bulaşma dinamiklerinin anlaşılmasına başlanması ile birlikte, tüm kentin karantinaya alınması gibi sıkı yasaklar bırakılarak, hijyen, maske kullanımı, sosyal mesafe gibi önlemler ile "yeni normal" günlük hayatın devamı sağlanmaya çalışılmıştır. Virüsün, hava yoluyla yayılımının tespiti ile birlikte havalandırmanın önemi anlaşılmış, yayınlanan rapor ve makalelerde mekanların havalandırılması gerekliliği vurgulanmıştır (Light ve diğ., 2020; Morawska ve diğ., 2020; Park ve diğ., 2021; Rey-Hernandez ve diğ., 2023; WHO, 2021; Zuo ve diğ., 2020). Bununla birlikte mekanda havalandırma yönteminin seçimi önemlidir ve etkin şekilde uygulanması gerekmektedir. Li ve diğ. (2021) yılında yürüttükleri çalışma sonucunda, mekanik havalandırmanın virüs

yayılımını arttırabileceği ve doğal havalandırma ile taze hava girişinin enfeksiyon riskini düşürebileceği belirtilmiştir (Li ve diğ., 2021). Dolayısıyla mekana taze hava giriş çıkışının uygun olan doğal havalandırma senaryosu ile sağlanması sağlıklı ortam koşullarının sağlanması adına gerekli bir uygulamadır.

Bir salgının sınırlı bir bölgede beklenen sayıdan fazla olması, yerel bir salgın diğer bir ifade ile “epidemi” olarak isimlendirilir. Epidemide, hızlı müdahale ile hastalık kaynağının ortadan kaldırılması, bu mümkün değilse kontrol önlemlerinin alınması, daha geniş bölgelere yayılımın önlenmesini sağlar. Pandemi ise, bir coğrafyada başlayarak hızlı bir şekilde küresel ölçekte yayılan ve milyonlarca insanı etkileyen bulaşıcı hastalıkların sebep olduğu salgındır. Pandemilerin kontrol edilmesi oldukça zor olduğundan, her insan için bir risk ve küresel boyutta tehdit oluştururlar (Bolat, 2022). İnsanlık tarihinde farklı dönemlerde, birçok farklı pandemi görülmüş, bunlardan bazıları milyonlarca insanın ölümüne sebep olmuştur. Covid-19 veya yaşanan diğer hastalıkların, ortadan kalkması ender bir durumdur ve yeni türde hastalıklar, her zaman yaşanabilir (Raoult, 2013). Yeni hastalıkların yayılımı, günümüz koşullarında kentlerdeki nüfus artışı ve gün içindeki hareketliliklerden kaynaklı çok hızlı gerçekleşebilir (Li ve diğ., 2020).

Aynı zamanda son zamanlarda görülen pandemilere sebep olan virüslerin yüksek mutasyon yeteneğine sahip olduğu görülmektedir (Di Gennaro ve diğ., 2022; Khyar ve Allahi, 2020; Marquioni ve de Aguiar., 2021). Mutasyon yeteneği fazla olan virüsler, konak bağışıklığına daha dirençlidir. Toplum bağışıklığı kazanılana kadar, sürecin doğru yönetilmemesi, yayılımın artarak pandemi boyutuna gelmesine neden olabilmektedir. Dolayısıyla salgın, tekrar etme olasılığı yüksek bir risk unsurudur.

Covid-19 pandemisinden ders çıkarılmalı ve her disiplin üzerine düşen sorumluluğu üstlenmelidir. Bu hususta mimarlık disiplinine düşen pay, mimari çözüm teknikleri ile, iç mekan havasında yüklü patojenlerin seyreltilmesi yoluyla öncelikle mekan kullanıcılarının ardından yapı çevresinin hastalıktan korunması ve pandemi yayılımının engellenmesidir (Megahed ve Ghoneim, 2021). Bu sorumluluk bilinciyle çalışma, hava yoluyla yayılan herhangi bir patojenin sebep olabileceği salgın ihtimaline karşı Kocaeli ve çevresi illerdeki vakaların önlenmesini amaçlamaktadır. Gar binaları gibi farklı coğrafyalardan gelen insanların kullandığı, ulaşım araçlarının özellikle varış ve ayrılma saatlerinde kalabalıklaşarak insan sayısının en yüksek seviyelere ulaştığı kapalı

mekanların kriz süreçlerinde daha az riskli hale gelmesi, ulaşımın, günlük hayat pratiklerinin ve dolayısıyla ekonominin devamının sağlanması açısından gerekli olduğu için Kocaeli’ de de benzer özelliklere sahip bir bina olarak İzmit Tren Garı, çalışmada ele alınmıştır. İzmit Tren Garı özelinde yapılan çalışma ile gardaki bulaş riski tespit edilerek mekanın doğal havalandırılmasının önemi vurgulanmıştır. Sonuç ve öneriler kısmında sunulan doğal havalandırma önerileri ve ek önlemler ile hava yoluyla bulaşan patojen kaynaklı pandemilerde binaların bu süreçlere hazır hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Hava yoluyla yayılan patojenlere örnek olarak SARS-CoV-2 virüsünün kapalı mekandaki davranışını anlayabilmek adına, yayılımı etkileyen iç hava parametreleri, yapılan literatür araştırmaları ile tespit edilmiş ve bu parametrelerin gardaki bulaş riskine etkisi araştırılmıştır. İnsan sayısının fazlalaşması, hava akışının etkilenmesi, enfekte birey bulunma ihtimalinin ve kirletici oranlarının yükselmesi sebepleriyle bulaş riskini arttırır. Yapılan kaynak araştırmaları sonucunda 3. Bölüm Literatür Tarama kısmında açıklandığı üzere, iç hava kirleticilerinden olan PM (particulate matter) ve CO₂ miktarı ile virüs yayılımı arasında ilişkili bir durum olduğu tespit edilmiştir (Alves ve diğ., 2013; Fantozzi ve diğ., 2022). Aynı zamanda mekandaki hava hareketleri, taze hava dağılım durumunu etkilediğinden virüs bulaş riskinin belirlenmesi konusunda değerlendirilmesi gereken bir faktördür. Literatür çalışmalarında, iç mekandaki hava hareketlerinin yorumlanmasında, hava yaşı ve hava hızı değerlerinin kullanıldığı görülmektedir (Feng ve diğ., 2023; Li ve diğ., 2020). Hava yaşı, açıklıklardan yapıya giren temiz, taze havanın mekan içinde kaldığı süreyi temsil eder ve değeri iç mekan hava hızının artması ile çoğunlukla azalmaktadır. Hava hızı ise, hem hava yaşının hem de kirleticilerin havadaki miktarlarının azaltılmasında etkilidir.

Bu tespitler doğrultusunda çalışmada, gar binasında yolcuların kullandığı bekleme salonunda belirlenmiş referans noktadaki PM, CO₂ ve hava hızı değerleri, yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Aynı zamanda, insan yoğunluğu ve kullanıcı sirkülasyonu yerinde gözlemlenmiş, bu kullanım durumunun ölçüm değerleri ile olan ilişkisi incelenmiştir. Kullanım saatleri ve yoğunluğuna dair gözlem yoluyla elde edilmiş veriler, mevcut durumu temsil eden bina simülasyon modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Gar binası DesignBuilder programında modellenmiştir. Ilıman nemli iklimsel koşulların etkisi altında olan garın gerçek dış çevre sıcaklık, nem gibi

mikroklimaya yönelik parametreleri, saatlere göre kullanıcı yoğunluğu, pencere ve kapıların açık olma durumları, kullanıcı aktiviteleri gibi veriler programa tanıtılmıştır. Programın CFD (computational fluid dynamics) eklentisi ile mevcut durum simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon ve ölçüm aşamaları sonuçlarında elde edilen PM, CO₂, hava hızı ve hava yaşı değerleri analiz edilerek bulaş riskli bölgeler tespit edilmiştir. Mevcut durumdaki bulaş riskli alanların tespiti aşamasından sonra, gardaki kullanıcı yoğunluğu, sirkülasyonları, ısı alanların kullanım durumu, kullanıcı aktiviteleri, pencere ve kapıların açık/ kapalı olma durumları, yolcu ve çalışanların konfor durumları göz önünde bulundurularak doğal havalandırma ve kullanım önerileri sunulmuştur.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tezin Amacı

Kocaeli ile çevresi iller arasındaki tren seferleri kullanımı için gün içinde aktif olarak kullanılan bir ulaşım yapısı olan İzmit Tren Garı, farklı illerden gelen insanların kapalı alanda bir arada olduğu ve günün belli zamanlarında insan yoğunluğunun arttığı bir binadır. Tren garı gibi, ulaşım binalarında olumsuz iç ortam koşullarında gereken önlemler alınmadığında, hava yoluyla yayılan patojen kaynaklı bir hastalığın yayılarak mekan kullanıcılarını enfekte etme olasılığı oldukça yüksektir. İzmit Tren Garı özelinde gerçekleştirilen çalışmada, olumsuz koşulları inceleyebilmek amacıyla havalandırmanın daha yetersiz olduğu kış dönemi ve kapalı ortam koşulları ele alınmıştır. Hava yoluyla yayılan patojenlere örnek olarak güncel bir sorun teşkil eden Covid-19 virüsünün bulaş riski, salonda yapılan yerinde ölçümler ve salonun mevcut durumunu temsil eden bina simülasyonlarıyla değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım ile gara dair iyileştirme önerileri getirilmeden önce, öncelikle mevcut sorunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, salonda riskli alanların belirlenmesi ve ileride yapılacak detaylı doğal havalandırma senaryolarına yönelik temel iyileştirme önerilerinin sunulmasıyla sınırlandırılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan gar binası bekleme salonu doğal havalandırmanın, kış döneminde dahi mevcut olduğu bir yapıdır. Yolcu giriş-çıkışları sırasında kapıların açılıp kapanması ile yapıya dış ortam temiz havası aralıklı olarak girmektedir. Dolayısıyla gar binası mevcut kullanımdaki doğal havalandırmanın etkin kullanımı için elverişlidir. Pasif bir yöntem olarak doğal havalandırmanın, yapı coğrafyası iklimsel faktörler, yapı formu ve iç mekan düzeni, yapı içi yolcu yoğunluğu ve aktiviteleri göz önünde bulundurularak kontrolü sağlanmalıdır. Ayrıca mekanik sistemlerin yükü azaltılarak, yenilenebilir enerji kullanımıyla doğaya verilen zararın önüne geçilmiş olur. Bu doğrultuda bulaş riskli alanlar tespiti ile mevcut durumun iyileştirilerek doğal havalandırma performansının artırılmasına yönelik uygulanabilecek öneriler açıklanmış, olası bir yerel veya küresel boyuttaki salgın durumunda gardaki bulaş riskinin minimum seviyeye indirilmesine yönelik örnek bir çalışma sunulmuştur.

2.2. Tezin Yöntemi

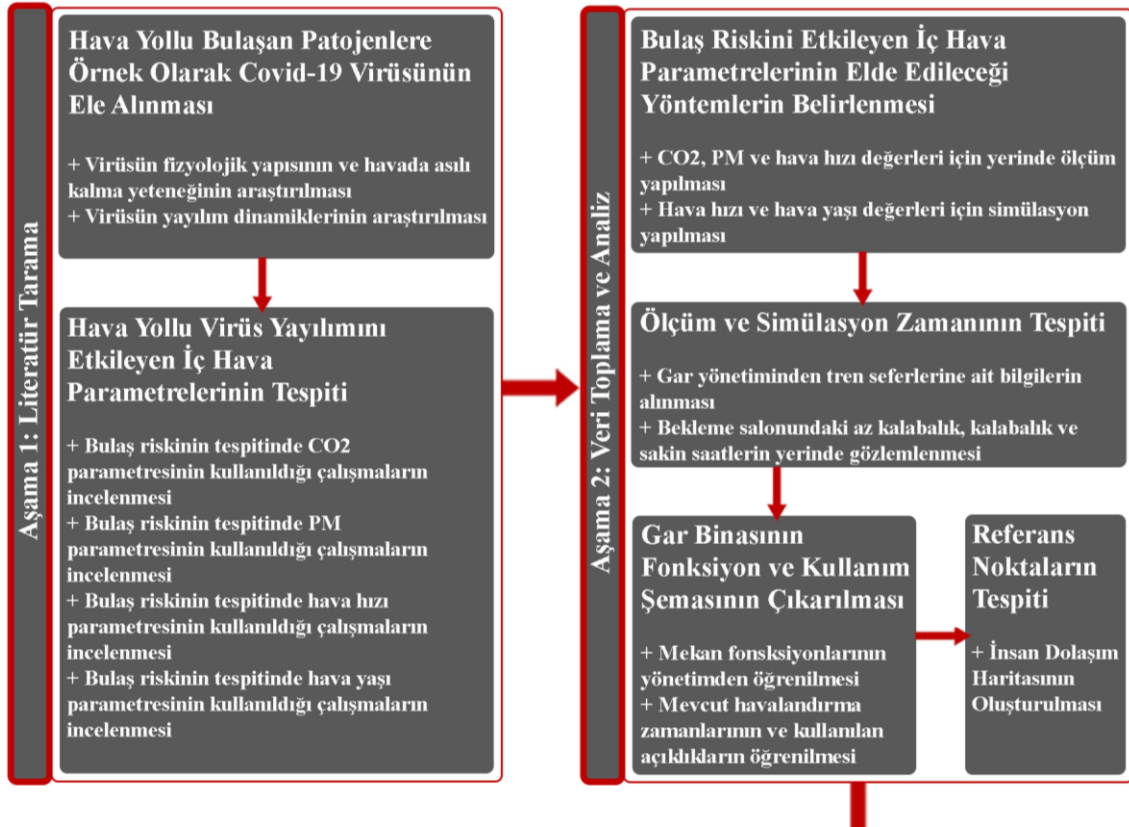
Kapalı ortamlarda, hava yoluyla bulaşan patojenler daha hızlı yayılarak kullanıcıların enfekte olmalarına sebep olur. Enfekte edici patojenlerin hava yoluyla yayılımının azaltılması için, bulaşma olasılığını arttıran ve azaltan parametrelerin tespiti gerekmektedir. Hava yoluyla yayılabilecek birçok patojen bulunmaktadır. Ancak çalışma kapsamında daha sınırlı olarak, çok güncel bir problem olan Covid-19 virüsü ele alınmıştır.

Çalışmanın ilk aşaması literatür taramadan oluşmaktadır. Covid-19 virüsünün fizyolojisi ve yayılma dinamikleri aktarılmıştır. Yine literatür tarama ile virüsün yayılımını etkileyen iç hava parametreleri tespit edilmiştir. Covid-19 ve bazı benzer hava yoluyla yayılan virüslerin yayılımını, hava yaşı, hava hızı, CO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ gibi iç hava parametreleri arttırdığından, tez çalışmasında ilgili parametreler ele alınmıştır (Bhagat ve diğ., 2020; Park ve diğ. 2021; Peng ve Jimenez, 2021; Qian ve diğ., 2018; Wu ve diğ., 2020).

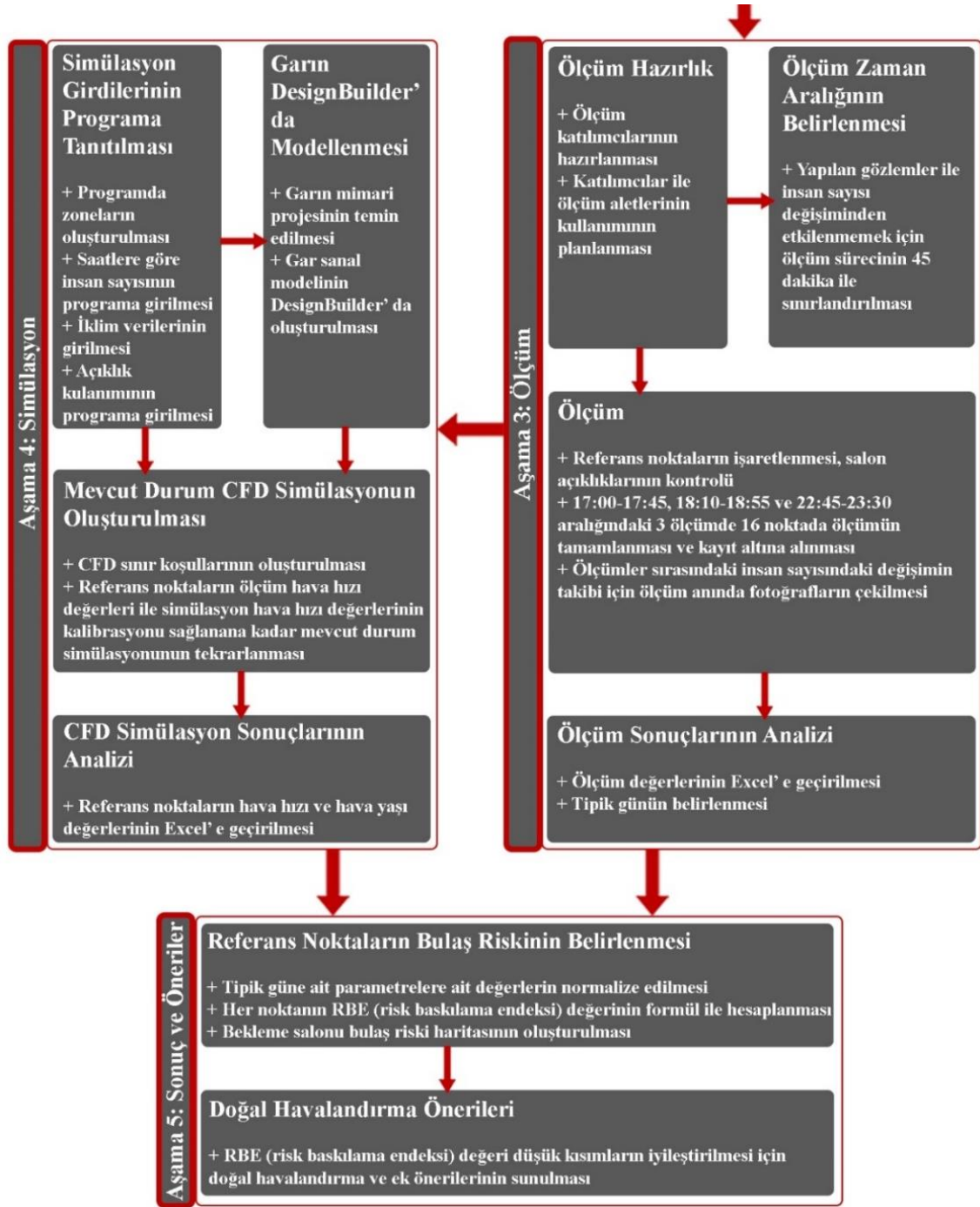
Çalışmanın ikinci aşaması veri toplama ve analizden oluşmaktadır. Çalışma alanı olan İzmit Tren Garı Binası' nın bulunduğu coğrafyanın iklim verileri, garın fonksiyon şeması, insan yoğunluğu, insanların hareket güzergahları, binanın havalandırma yöntemi ve aralıkları, kullanılan açıklıklar, mevcut ısıtma ve soğutma sistemleri ve dönemlerine dair bilgiler elde edilmiştir. Veri toplama ve analiz aşaması, garın en kalabalık ve en sık kullanılan bölgesi olan bekleme salonunda, farklı noktaların farklı bulaş risklerinde olabileceğini göstermiştir. Bu sebeple bekleme salonunda insanların en çok kullandığı noktalar tespit edilmiştir. Hastalıkların hava yoluyla bulaşı, insanın ağız, burun kısmından yani solunum bölgesinden virüs girişi ile gerçekleşir. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) solunum bölgesini, duvarlardan 60 cm içerde kalacak şekilde yerden 75 cm ila 180 cm aralığında kalan bölge olarak tanımlamıştır ve yapılacak ölçümlerle cihazların bu bölgede yerleştirilmesini önermektedir (ASHRAE, 2022). İç hava parametrelerini yerinde ölçen çalışmalarda, ölçüm cihazları, solunum bölgesi içinde olmak üzere oturma kotu için 1 metrede, ayakta durma kotu için 1,5 metrede konumlandırılmıştır (Kenarkoohi ve diğ., 2020; Savanti ve Wicaksono, 2023; Yang ve diğ., 2021). Bekleme salonunda ise, yolcuların kullandığı solunum bölgesinde bulunan oturma (1 metre) ve ayakta durma (1,5 metre) kotlarında yer alan 16 referans nokta belirlenmiştir (Şekil 2.1).

Literatür tarama sonucunda virüs yayılımını etkilediği aktarılan hava yaşı, hava hızı, CO₂ ve PM_{2.5} ve PM₁₀ parametrelerine ait değerler, garın bekleme salonunda yapılan yerinde ölçüm ve ölçüm değerlerini baz alarak oluşturulan referans modelle yapılan simülasyonlar aracılığıyla elde edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşaması 16 referans noktada yapılan hız, CO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ ölçümlerini içermektedir. Ölçümler esnasında garın pencere ve kapı açıklıklarının kullanımı, insan yoğunluğu ve davranışları gözlemlenmiştir. Ölçümler 5 gün, günün en kalabalık, orta kalabalık ve sakin kullanımlarına denk gelmesi adına günde 3 sefer olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm değerleri ve insan sayısındaki değişimler, tüm bu verilerin ortalamasını temsilen bir tipik günün belirlenmesi gerektiğini göstermiştir (Şekil 2.1). Ölçüm günleri arasından seçilen tipik gün ile, salonun genel kullanımını ve ölçüm değerlerini yansıtan, ölçüm sonuçları arasında olan aşırı uç değerlerin sebep olduğu sapmaların az olduğu gerçekçi bir mevcut durumun belirlenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2.1. Tez akış şeması



Şekil 2. 1. (Devam) Tez akış şeması

Çalışmanın dördüncü aşamasında ölçüm sonuçlarının analiz edilmesi ile belirlenen tipik gün, garın mevcut durum simülasyonun yapılacağı tarih olarak, programa tanıtılmıştır. Mevcut durum simülasyonu için DesignBuilder programı CFD fonksiyonu kullanılmıştır. CFD simülasyonu ve yerinde ölçümlerin ortak çıktısı, hız değerleridir. Bu sebeple simülasyonun doğruluğunun sağlanması için, referans noktaların hava hızı ölçüm

sonuçları referans olarak kullanılmıştır. Referans noktalarda ölçümlerle elde edilen hava hızı değerleri ile simülasyondan elde edilen hava hızı değerlerinin benzerliği sağlanarak mevcut durum tipik gün referans modeli kalibre edilmiştir. Kalibrasyonu sağlayan CFD simülasyonu, referans noktaların hava yaşı ve hava hızı değerlerini vermiştir. Sonuç olarak referans noktaların tipik günün 3 saatine ait CO₂ ve PM_{2.5}, PM₁₀ değerleri ölçümlerle, hava hızı ve yaşı değerleri ise simülasyonlarla belirlenmiştir (Şekil 2.1).

Çalışmanın son aşamasında referans noktaların, elde edilen hız, hava yaşı, CO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ parametrelerine ait değerleri tablolastırılmıştır. Her parametrenin tipik günün 3 ölçüm saatindeki değerlerinin ortalaması alınmıştır. Parametrelere ait ortalamaların birlikte değerlendirilmesi için sıralama normalizasyon denklemleri ile normalize edilmiştir. Normalize edilen bu değerler için 0 değeri en riskli durumu, 1 ise en risksiz durumu temsil etmektedir. Referans noktaların her parametreye ait normalizasyon değerleri, oluşturulan bulaş riski denklemine işlenmiştir. Denklemden elde edilen değerlere göre gar bekleme alanındaki en riskli bölgeler çıkarılmıştır. Çalışmanın son aşaması olan sonuç ve öneriler kısmında, bekleme salonu için sağlıklı mekan koşullarını sağlayan ekolojik ve ekonomik olarak doğal havalandırma önerileri sunulmuştur (Şekil 2.1).

3. LİTERATÜR TARAMA

Bu bölümde, çalışma konusu kapsamında yapılan literatür tarama süreci alt başlıklar halinde kategorize edilerek aktarılmıştır. Bölümün ilk başlığı, hava yoluyla yayılan patojenlerin kapalı alanlarda oluşturduğu riskli durumlar ile ilgilidir. Bu bölümün ilk alt başlığında tez kapsamında daha sınırlı olarak ele alınan hava yollu yayılan patojenlerden biri olan Covid-19 virüsünün yapısı ve yayılım dinamikleri açıklanmıştır. Bölümün ikinci alt başlığında, kapalı alanda hava yoluyla yayılan virüslerin seyreltilmesinde doğal havalandırmanın etkisi anlatılmış, doğal havalandırma performansını artırarak mekan içi hava kalitesini yükseltmeyi, bulaş riskini azaltmayı hedefleyen çalışmalardan örnekler verilmiştir. Çalışmaların incelenmesi yoluyla tez kapsamında ele alınan tren garı yapısında doğal havalandırma önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bölümün ikinci başlığı kapalı alanlarda bulaş riskinin tespit edilmesi ve azaltılmasını hedefleyen literatür çalışmalarını örneklemektedir. Öncelikle benzer çalışmaların incelenmesi yoluyla tez kapsamında mevcut koşullarda bulaş riskinin belirlenebileceği yöntemin seçimi aktarılmıştır. Bölümün devamında, bulaş riskinin tespitinde sırasıyla CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı parametrelerinin kullanıldığı çalışmalar, ayrı ayrı alt başlıklar altında incelenmiştir. Bu başlıklar altında, CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı parametrelerine yönelik genel bir bilgi verilmiş, parametreler ile virüs yayılımı ilişkisini doğrulayan, bunların doğal havalandırma aracılığıyla optimum değerlere getirilmesini konu alan çalışmalar örneklenmiştir.

Bölümün üçüncü başlığında, çalışma binasının yer aldığı ulaşım yapıları kategorisinde virüs yayılımının gerçekleşebileceği ortam koşulları açıklanmış, ulaşım yapılarındaki bulaş riskini konu edinen çalışmalar örneklenmiştir. Ulaşım yapılarına yönelik literatürden yola çıkılarak, incelenen tren garındaki bulaş riskinin tespiti için, gerekli veriler, gözlenmesi ve tespiti gereken durumlar ile ilgili çıkarımlar yapılmıştır.

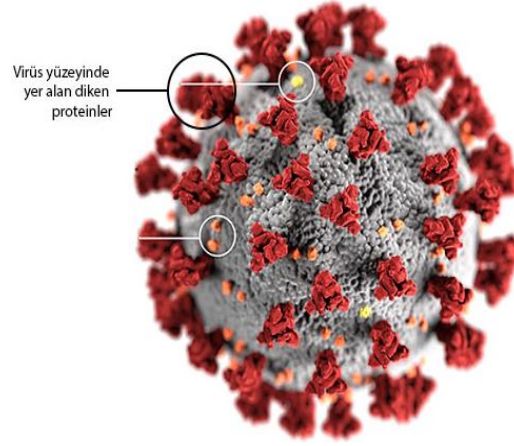
Bölümün son başlığında ise, yapılan literatür tarama sonucunda tespit edilen boşluklar, çalışmaların kısıtlı olduğu alanlar tespit edilerek bu tez çalışmasına dahil edilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Kapalı Alanlarda Hava Yollu Bulaş Riski

Kapalı mekanda insan yoğunluğunun arttığı zaman aralıklarında, enfekte birey bulunma ihtimalinin yükselmesi, hava akışının mekanın kullanıcı yoğunluğundan etkilenmesi ve diğer kirletici oranlarındaki artış sebepleriyle patojen yayılımı artar. İnsan sirkülasyonunun sık ve yoğun olduğu zamanlarda sosyal mesafe önlemlerinin uygulanması güçleşir. Çoğu durumda ise, sosyal mesafe sağlansa bile bulaş riskini önlemede yetersiz kalır. WHO Covid-19 virüsünün, insan sayısının fazla olduğu kapalı mekanlarda, havalandırma yetersiz veya yok ise daha çabuk yayıldığını ve etkin bir havalandırmanın virüs enfeksiyonunun azaltılmasında önemli olduğunu bildirmiştir (WHO, 2021). Hava yoluyla bulaşan diğer hastalıklara örnek olarak verem, SARS, influenza gibi hastalıklar da yetersiz havalandırma koşullarında daha hızlı yayılırlar. (Li ve diğ., 2007). İnsanların yaşamlarının %90'ını kapalı alanlarda geçirdikleri göz önünde bulundurulduğunda yetersiz havalandırmanın pandemi oluşumundaki rolünün büyüklüğü fark edilir (Hess-Kosa, 2018). Bu tez çalışması özelinde, daha sınırlı olarak, hava yoluyla yayılan patojenlere örnek teşkil etmesi bakımından, Covid-19 pandemisine sebep olan SARS-CoV-2 virüsünün yapısı ve kapalı alanlardaki yayılım dinamikleri açıklanmıştır.

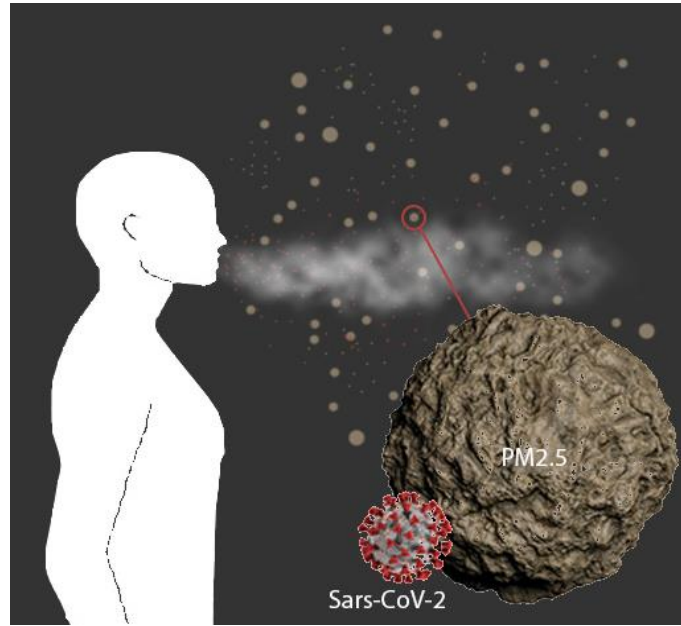
3.1.1. Hava Yoluyla Yayılan Patojenlere Örnek Olarak Covid-19 Virüsünün Yapısı ve Yayılma Dinamikleri

Bakteri, virüs, spor gibi insanda hastalık yapıcı mikroorganizmalar patojen olarak ifade edilir. Çin' de 2019 yılında ortaya çıkan SARS-CoV-2 virüsü, solunum yolu ile insandan insana bulaşan bir patojendir. Tek sarmallı bir RNA' dan oluşan SARS-CoV-2, Coronaviridae olarak bilinen bir virüs familyasına mensup yeni tip bir koronavirüsdür. Diğer koronavirüslerden farklarından biri, dış yüzeyinde yer alan diken (spike) proteinlerin daha büyük olmasıdır (Şekil 3.1). Bir patojenin yüzeyi, havada asılı kalabilme yeteneğini ve süresini etkileyen unsurlardandır. SARS-CoV-2 gibi yüzeyinde çıkıntıların olduğu patojenler, yüzeyleri daha düz olanlara göre, havada çok daha uzun süreler asılı halde durabilir, partikül maddelere tutunabilir (Yan ve diğ., 2020).



Şekil 3. 1. SARS-CoV-2 virüsü (URL-16)

Patojenin şekli ile birlikte boyutu ve ağırlığı da havada asılı kalabilme performansını etkiler (Pope III ve diğ., 2006). Patojenler, mikroorganizmalardır ve boyutları çok küçük olduklarından, boyutlarını ifade edebilmek için mikron (μm) birimi kullanılır. Mikron, 1 metrenin bir milyonda biridir. Bakterilerin çapları 0,5 ila 10 mikron arasında, sporlar 0,5 ila 30 mikron arasında, en küçük olan virüsler ise 0,02 ila 0,3 mikron arasındadır (Kowalski ve diğ., 1998). SARS-CoV-2 çapı, 0,06 ila 0,14 mikron aralığında değişmektedir (Zhang ve diğ., 2020). Oldukça küçük olan virüs, küçük boyutu ve yüzeyinde yer alan diken proteinler sayesinde, kaynaktan yayıldıktan sonra havada asılı kalabilir veya asılı partikül maddelere tutunabilir (Şekil 3.2).



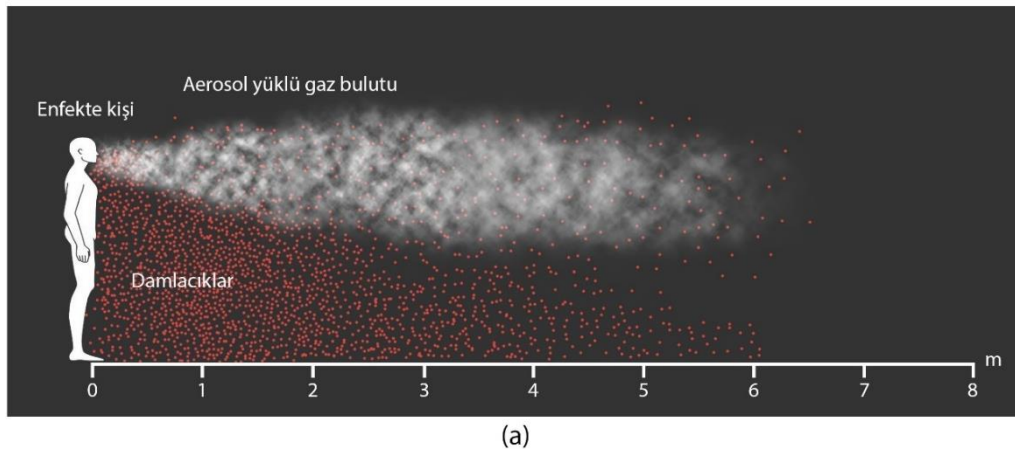
Şekil 3. 2. Partikül maddelere yapışan ve havada asılı kalan SARS-CoV-2 virüsü

Covid-19 virüsünün yayılımı, yüzey yoluyla, damlacık ve hava yoluyla gerçekleşir. Enfekte kişinin solunum aktivitesi sırasında ağzından çıkan damlacık, yere veya damlacık hareketi yolunda olan mekandaki herhangi bir yüzeye düşer. Damlacık buharlaşıp kurusa da, virüs yüzeyde kalır. Düştüğü yerde, enfeksiyon özelliğini kaybedebilir veya bazı yüzeylerde bu özelliğini koruyabilir. Laboratuvar ortamında yapılan testlerde, virüsün çelik ve plastik yüzeyde 72 saat, karton yüzeyde 24 saat, bakır yüzeyde ise 4 saat enfeksiyon özelliğini koruyarak, yani aktif olarak bulunabildiği görülmüştür (Bontempi ve diğ., 2020; Van Doremalen ve diğ., 2020). Covid-19 gibi solunum yolu ile bulaşan virüslerin yüzeyde aktif kalma süreleri birkaç saat ile birkaç gün arasında değişebilir. Bunun yanında, Hepatit A, astrovirüs, rotavirüs gibi biyolojik yapıları solunum yolu virüslerinden daha farklı olanlar ise 2 aydan uzun süre dahi yüzeylerde aktif kalabilmektedir (Sattar, 2001). Aktif kalan virüs, sağlıklı bir kişinin yüzeye dokunması ardından ağzına, burnuna, gözüne götürmesi yoluyla solunum yoluna ulaşarak enfeksiyona sebep olabilir. Yüzey teması ile bulaş, yüzeylerin kullanım sıklığının fazlalaşması ile artar. Yüzeyin aralıklı olarak, dezenfektan sıvılar kullanılarak temizlenmesi ise bu iletim yolunu engellemek için etkilidir.

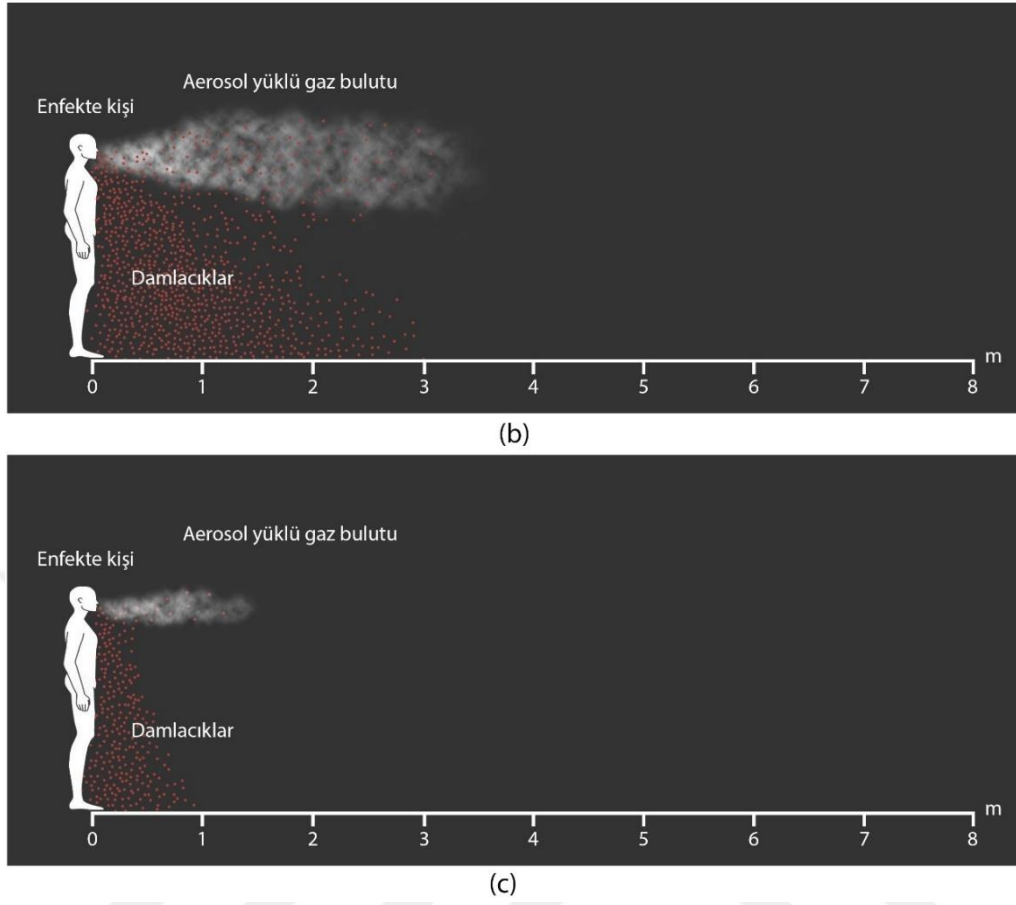
Enfekte bir kişi hapşırma, öksürme, konuşma, bağırma hatta nefes alma sırasında dahi havaya virüs yüklü damlacık yayar. Yüksek sesle konuşma hatta bazı sessiz harfler bile vakanın ürettiği damlacık miktarını arttırmaktadır (Asadi ve diğ., 2019; Bhagat ve diğ., 2020). Bir hapşırma ile birlikte çıkan küçük bir damlacığın içinde trilyonlarca virüs yer alabilir (URL-6). Enfekte insandaki virüsler, ağızdan çıkan tükürük damlacıkları yoluyla dışarı verilir. Çıkan enfeksiyon özelliğini koruyan virüs dolu damlacıklar mekanda bulunan yüzeylere düşebilir veya yakın mesafedeki insanın göz, ağız veya burnuna ulaşarak enfeksiyona sebep olabilir. Damlacıkların 2 metreye kadar hareket edebilmesi sebebiyle WHO ve diğer hükümetler, insanların diğer insanlar ile arasında 1,5 ila 2 metre kadar sosyal mesafe bırakmalarının damlacık yoluyla bulaşma riskini düşüreceğini belirtmişlerdir (Bhadoria ve diğ., 2021; Setti ve diğ., 2020). Damlacık yoluyla bulaşma insan yoğunluğunun fazla olduğu mekanlarda daha fazladır. Bununla birlikte, mekanda yeme-içme, spor, şarkı söyleme gibi aktiviteler yapılıyorsa risk artmaktadır. Restoran, spor salonu, kamu daireleri gibi kapalı mekanlar ise hem damlacık hem de hava yoluyla bulaşma imkan verdiğinden, Covid-19 virüsünün bulaşması bakımından daha tehlikelidir (Leclerc ve diğ., 2020; Lu ve diğ., 2020; Jang ve diğ., 2020). Damlacık yoluyla iletim,

kişiler arası mesafenin korunması, maske gibi koruyucuların kullanılması yoluyla engellenebilir.

Ağızdan çıkan damlacıklar, eğer önünde fiziksel bir engel yoksa yerçekimi etkisiyle zemine veya yüzeylere düşerler. Büyük damlacıklar çabuk yere düşerken, daha küçük damlacıklar mekanda daha uzun mesafelere gidebilir. Bazı damlacıklar ise o kadar küçüktür ki, yere düşmeden buharlaşırlar ve böylece havada asılı kalırlar (Kohanski ve diğ., 2020). WHO, parçacığı, boyutu 5 mikrondan büyük ise damlacık, daha küçük olan ve havada asılı kalan damlacık çekirdeklerini ise aerosol olarak tanımlamıştır (WHO, 2014). İçinde patojenlerin bulunduğu aerosollere ise biyoaerosol denir ve bunlar kapalı ortamda, mekandaki kullanıcıları enfekte eder, iç hava kalitesini düşürür. Şekil 3.3' te görüldüğü gibi Covid-19 virüsüne maruz kalmış enfekte insanlar, öksürme, hapşıрма, nefes verme gibi solunum aktivitelerinde, kaynaktan uzağa giden damlacık yaydıkları gibi, aynı zamanda çok fazla biyoaerosol yayarlar. Yine Şekil 3.3' te görüldüğü üzere özellikle hapşıрма ve öksürme olayları sırasında yayılan biyoaerosol sayısı fazla, damlacık sayısı ise hem fazla hem de boyutları büyük şekildedir. Covid-19 gibi solunum sistemine etki eden hastalıklar, hastaların öksürme, hapşıрма, sık nefes alıp verme aktivitelerini tetikler. Enfekte kişinin, sağlıklı olana göre daha fazla gerçekleştirdiği bu solunum aktiviteleri, gerçekleşme sıklığı ve virüs barındırması sebebiyle direkt olarak risk oluşturmaktadır.



Şekil 3. 3. Enfekte bir insanın havaya yaydığı damlacık ve biyoaerosol bulutları: (a) Hapşırdığında, (b) Öksürdüğünde, (c) Soluk verdiğiğinde, Jayaweera ve diğ.' den (2020) uyarlanmıştır



Şekil 3. 3. (Devam) Enfekte bir insanın havaya yaydığı damlacık ve biyoaerosol bulutları: (a) Hapşırdığında, (b) Öksürdüğünde, (c) Soluk verdiğinde, Jayaweera ve diğ.’ den (2020) uyarlanmıştır

Biyoaerosollerin içindeki patojenlerin havada asılı kalma süreleri, parçacığın boyutuna, kütlesine, parçacığın şekil ve yüzeyine bağlıdır (Morawska ve diğ., 2020; Yan ve diğ., 2020). SARS-CoV-2’ nin fiziksel özellikleri havada asılı kalabilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte virüs havada kaldığı sürede 3 saat boyunca enfeksiyon özelliklerini korumaktadır (Van Doremalen ve diğ., 2020). Laboratuvar ortamında deney ile gerçekleştirilen başka bir çalışma, biyoaerosol halindeki SARS-CoV-2’ nin 16 saate kadar enfeksiyon özelliğini koruyarak kaldığını tespit etmiştir (Fears ve diğ., 2020). Kapalı bir mekanda, asılı haldeki enfeksiyon özelliğini koruyan virüsler iç hava akımları ile bir yerden bir yere taşınabilir, böylece daha geniş alanlara yayılabilirler. Hatta dolaşırken diğer bölgelerdeki virüslerin yüklenmesiyle birlikte, giderek kirlenen hava kütleleri oluşabilir. Oluşan virüs yüklü hava kütleleri, kaynaktan itibaren 10 metreye kadar seyahat edebilir olduğu için bu durumda sosyal mesafe yeterli gelmez (Morawska ve Cao, 2020). Hatta hava yoluyla bulaşan hastalıklardan biri olan influenza virüsü

üzerine yapılan bir çalışmada, kaynaktan, herhangi bir solunum aktivitesi olmadan dahi canlı virüsün havaya yayılabileceği belirtilmiştir (Yan ve diğ., 2018). Covid-19 virüsünün bu şekilde iç mekan havasında yer alması ve mekandaki sağlıklı kullanıcının solunum yoluyla virüsü vücuduna alması, hava yoluyla iletimi oluşturur (URL-7). Kapalı mekandan dışarı çıkamayan kirli havanın, uzun mesafeleri dolaşması ve uzun süre içeride kalması bulaş riskini giderek artırır. İnsan sayısı arttıkça ve hava mekanda eskidikçe, yüklü virüs konsantrasyonu da artar. Yani kullanıcı, daha fazla sayıda virüsü soluyabilir. Bu sebeplerle insanların bir arada bulunduğu kalabalık ve kapalı ortamlar, etkin bir havalandırma sağlanmadığı durumda tehlikeli hale gelirler. Peng ve Jimenez (2021) çalışmalarında Covid-19 yayılımının ayrıca aktivite şekliyle de ilgili olduğundan, fiziksel faaliyetlerin yoğunluğunun ve ses düzeyinin artmasının havadaki virüs konsantrasyonunu artırarak riski yükselttiğinden bahsetmişlerdir (Peng ve Jimenez, 2021). Kirli havadaki virüs konsantrasyonunun seyreltilmesi, temiz havanın mekan içine alınması ve uygun dağılımı, eski havanın yapıdan uzaklaştırılması sayesinde mümkün olur. Bu ise, etkin bir havalandırma ile ilgilidir.

3.1.2. Hava Yollu Bulaş Riskinin Azaltılmasında Doğal Havalandırma Etkisi

Mekanlarda taze hava girişi ile havanın yenilenmesi için sağlanan havalandırma mekanik veya doğal yolla gerçekleştirilir. Doğal havalandırma, rüzgarın oluşturduğu basınç farkları ve sıcaklık farklarından kaynaklanan hava hareketi ile gerçekleşmektedir. Havanın hareketi oluşan basınç bölgelerinde pozitiften negatife doğrudur. Dışarıdaki hava binaya, pozitif basınç bölgesindeki açıklıktan girer, içerideki hava negatif basınç bölgesindeki açıklıktan çıkar. Bununla birlikte, doğal havalandırma yalnızca pencere açarak değil, uygulamaya göre konumunun, açıklık kombinasyonunun, açıklık yüzey alanının, rüzgar geliş yönünün tümüyle değerlendirilmesi yoluyla etkin olabilir. İç mekandaki açıklıkların kullanım senaryosu ve dış çevre koşulları doğal havalandırmayı etkileyen faktörlerdir.

Doğal havalandırma tek yönlü, çapraz olarak ve baca etkisi ile gerçekleştirilebilir. Tek yönlü havalandırma tek bir açıklıkla veya aynı duvarda yer alan iki açıklık ile sağlanabilir. ASHRAE, temel olarak açılabilir açıklık alanının mekan net alanının %4' ü olması gerektiğini belirtmektedir (ASHRAE, 2007). Mekanda havalandırma, bu açıklık yüzeyine sahip pencerelerin açılması yoluyla gerçekleştirilebilir olsa da, etkin havalandırmada esas

olan, temiz hava girişi, yapıda havanın uygun hızda dolaşımı ve homojen yayılımıdır. Bu sebeple tek açıklıklı havalandırma yöntemi bulaş riskini azaltmak hususunda, insan sayısı arttıkça, mekan hacmi büyüdükçe ve karmaşıklaştıkça yetersiz kalabilir.

Çapraz havalandırma, rüzgarın yapıya girdiği cephe ile çıktığı cephenin aynı yönde olmadığı şekilde gerçekteşir. Rüzgarın geliş yönü sabit olduğuunda, pencere açıklıklarının konumu, binaya giren hava miktarını ve mekan içi hareketini değiştirmektedir. Pencerelerin karşılıklı konumlandırılmasında en etkin olan, karşıt basınç bölgelerine yerleştirmektedir (ASHRAE, 2007). Düzensiz plana sahip mekanlar, birçok cepheye sahip olmaları dolayısıyla çapraz havalandırma için uygun koşullar sunarlar (Givoni, 1994). Yüksek mekanlarda, farklı cephede yer alan açıklıkların birbiriyle aynı olmayan kotlarda açılması ile hava hareketinin yalnızca yatay düzlemde değil, dikey düzlemde de mekan içinde türbülans gibi hava hareketleri ile dolaşımı gerçekteştirilebilir. Sıcak, kirli ve viral dozu yüksek havanın dışarı atılması için üst kotlarda bulunan pencereler tercih edilebilir. Bununla birlikte giriş ve çıkış açıklıklarının ikisinin de tavana yakın yerleştirilmesi yalnızca bu kısımdaki havanın dolaşımını sağlayacağından, solunum seviyesindeki viral dozun azaltılması bakımından yetersiz kalabilir (ASHRAE, 2007). Çapraz havalandırmada giriş açıklığının boyutunu arttırmak havalandırma verimliliğini arttırırken çıkış açıklığının boyutunun arttırılması verimliliği daha az etkiler. Giriş ve çıkış açıklığının birlikte büyütölmesi ise daha etkilidir (Roaf ve diğ., 2001). Temiz havanın uygun bir hız ile mekanın geneline ulaştığı havalandırma biçimleri, hava değişim miktarının arttırılarak hava yaşının düşürölmesini, iç mekan kirletici konsantrasyonun ve yüklü viral dozun azaltılmasını sağlar. Yeterli düzeyde bir havalandırma, hava akışını kesen bir engel bulunmadığuında, rüzgar açıklıklara eğik bir açıkla geldiğuinde ve hava mekanın her bölgelerini uygun bir hız ile dolaştığuında gerçekteşir (Lechner, 2009; Watson ve Labs, 1983).

Başka bir yöntem olan baca etkisi ile havalandırma, yoğunluk farkları ile oluşan konveksiyon yoluyla gerçekteşmektedir (Ajirlou, 2022). Kirlenen hava ısınır. Isınan havanın yoğunluğu soğuk havaya göre daha düşük olduğu için yukarı doğru hareket etme eğilimindedir. Bu hareket güzergahında, çatıda çıkışı olan bir dikey boşluk olduğuunda veya katlar arası hava hareketine imkan veren rüzgar kulesi, atrium şeklinde dikey kanallar oluşturulduğuunda, ısınan ve virüs konsantrasyonu yüksek hava yapı dışına

ıkarılarak baca havalandırması gerçekleşir. Aynı zamanda yüksek hacimlerde farklı kotlarda yer alan cephe açıklıkları arasında da baca havalandırması sağlanabilir. Baca havalandırması ile rüzgar olamasa dahi mekan havalandırılabilir, havadaki viral doz seyreltilebildiği gibi sıcak iklimlerde etkili pasif soğutma da gerçekleştirilebilir. (rgev ve Bayraktar, 2022).

Mekanda doğal havalandırma sağlanması rağmen yılın belli zamanlarında mekandaki optimum konfor ve i hava kalitesi koşullarının sağlanması için mekanik sistemlere ihtiyaç duyulur. Mekanik havalandırmada, bazı uygulamalar istenen durumun tersi sonuçlar oluşturarak mekanın sağlık koşullarını olumsuz etkileyebilir. Klimalar, mekan kullanıcıları üzerinde, baş ağrısı, soğuk algınlığı, göz kuruluğu ve solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olup konfor koşullarını etkileyebilir. Periyodik bakımları yapılmayan HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) sistemleri, iç mekan havasında patojenlerin artmasına sebep olur (AHSRAE, 1998). Sistem filtrelerinde veya havanın yol aldığı kanallarda toz, böcek, kir gibi istenmeyen maddelerin birikmesi patojenik mikroorganizmaların yerleşmesi için elverişli ortamlar oluşturur. Sistemin alışması sürecinde oluşan nem ve ısı kanallardaki havanın içinde bulunan patojenlerin üremesi havadaki viral yükün artmasına sebebiyet verir (Darçın, 2008). Kanallardaki viral yüklü havanın, hava dağıtımı ile mekanda dolaştırılması ve mekanın farklı yerlerine ulaşması, enfeksiyon riskini yükseltir. Mekandaki virüs yayılımını araştıran çalışmalarda yapılan CFD simülasyonları sonucunda mekanik havalandırmanın yanlış tasarlanması sebebiyle, havanın yanlış dağıtıldığı ve buna bağlı olarak viral yüklü havanın mekanın diğer bölgelerine ulaşarak sağlıklı kullanıcıları hasta ettiği açıklanmaktadır. Dolayısıyla yanlış tasarım mekanik havalandırma sistemleri, viral yüklü havayı virüs olmayan kısımlara da taşıyarak, hem Covid-19 hem de diğer hava yoluyla bulaşan virüsler için enfeksiyon ana kaynağı olabilir (Li ve diğ., 2005; Li ve diğ., 2020).

Mekanik havalandırma sistemleri, sağlık ve konfor bakımından dezavantajlarının yanında binanın enerji yükünü arttırarak ekolojik ve ekonomik zarara sebep olurlar. Doğal havalandırma temel olarak i ve dış ortamdaki basınç farklarından kaynaklı havanın yer değiştirmesi ile sağlandığı için mekanik havalandırmanın sebep olduğu olumsuz koşulları oluşturmamaktadır. Mekandaki havalandırma sisteminin seçimi ile kullanıcı sağlığı arasında güçlü bir ilişki olduğu için doğal havalandırma performansının arttırılması en

sağlıklı, etkili ve enerji verimli seçenektir. Bu sebeplerle kapalı ve kamusal mekanlarda bulaş riskini doğal havalandırma ile azaltan literatürdeki çalışmaların incelenmesi ve doğal havalandırma yöntemlerinin açıklanması yoluyla bekleme salonu için önerilerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Kapalı alanlardaki enfeksiyon riskini ve doğal havalandırma performansını inceleyen çalışmaların sayısı Covid-19 pandemiden önce sınırlı iken, pandemiden sonra bu konuyu ele alanların sayısında artış olmuştur. SARS-CoV-2 virüsünün hava yoluyla uzun mesafeler boyunca seyahat edebilmesi, mekandaki iç hava kalitesinin önemini vurgulamıştır. Bununla birlikte, pandemiden önce dahi iç hava kalitesine ve doğal havalandırma performansına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Hava kalitesini düşüren, patojenler ile birlikte birçok farklı kirletici vardır. Mekandaki hava kalitesi sabit olmayan ve kirletici yoğunluğuna göre değişen bir durumdur (Aydın ve Mıhlıyanlar, 2017). Hatta zaman zaman kapalı alandaki hava kalitesi açık alandakinden 2 ila 5 kat arasında daha kirli olabilmektedir (Hess-Kosa, 2018). Kirletici konsantrasyonun artışı ile hava kalitesi düşer, havalandırma ihtiyacı artar. Hastalık yapıcı mikroorganizmalar olmadığında dahi düşük hava kalitesi bina sakinlerini sağlık bakımından olumsuz etkiler, fakat bu etkiler çoğunlukla kullanıcı binadan ayrılınca azalır. Bu sebeple pandemiden önceki süreçte de, kullanıcıların mekanda bulunduğu süre boyunca kirleticilerin havalandırma ile seyreltilerek sağlıklı mekan koşullarının sağlanmasına yönelik çalışmalar mevcuttur (Haverinen ve diğ., 2011; Lei ve diğ., 2017).

Covid-19 pandemisi öncesi çalışmalara örnek olarak, doğal havalandırmanın mekandaki ısı konforu, iç hava kalitesine ve enerji verimliliğine etkisini araştıran Lei ve diğ. (2017), Pekin’deki bir yurt binasındaki 4 odada en soğuk dönemi temsil eden ve doğal havalandırmanın daha az tercih edildiği Ocak ayında 3 gece boyunca ölçüm, gözlem ve anket yapmışlardır. Yurtlardaki uyku vakti olan 22:00 – 07:00 arası dış ortamdaki hava sıcaklığı ortalama -9°C derecedir. Ocak ayında odalar, merkezi su ısıtma sistemi ile çalışan radyatörler vasıtasıyla ısıtılmakta, odaların havalandırması ise pencerelerin açılması ile sağlanmaktadır. Havalandırma sadece pencerelerin açılması yoluyla gerçekleştirildiği için, senaryolar pencerelerin açılan yüzey alanlarına göre oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre, pencerelerin açılan yüzey alanı, 0,011 m², 0,033 m², 0,055 m², 0,077 m² ve 0,11 m² olacak şekildedir. Yerinde yapılan ölçümler 22:00-

07:00 arasında, odanın ortasında ve 1,7 metre yüksekliğindeki noktada, O₂, CO₂, sıcaklık ve nem ölçerler ile yapılmıştır. Ölçüm saatleri aralığında, seçilen pencere açıklık senaryosu değiştirilmeden sabit tutulmuştur. Senaryoların ısı konfora etkisi, Fanger metodu ile değerlendirilmiştir. PMV (Predicted Mean Vote) değerleri anket sonuçlarına göre çıkarılmış, sonuçların tarafsız olması için öğrencilere senaryolar hakkında bilgi verilmemiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, 0,055 m² açıklıktan büyük olan alternatiflerde CO₂ seviyelerinde düşüş ve O₂ seviyelerinde artış kabul edilebilir düzeyde olduğundan, iç hava kalitesi yüksektir. Sıcaklık farkı, 0,055 m² ve altında, 3 derecenin altında, 0,077 m² ve 0,11 m² senaryolarında ise sıcaklık farkı 3 derecenin üstündedir. Bu sebeple 0,077 ve 0,11 m² senaryoları ısı konfor açısından olumsuz koşullar oluşturmakta, ısıtma enerjisi kullanımını arttırmaktadır. Anket sonuçlarından çıkarılan PMV değerleri ise, pencerelerin tamamen kapalı olduğu, 0,011 m², 0,033 m², 0,055 m² açıklığın olduğu 4 senaryoda ± 1.0 değer aralığındadır. 0,077 ile 0,11 m² senaryosunda ise PMV -1' in altına düşmüştür. Sonuçlara göre 0,055 m² açık yüzey alanı olan doğal havalandırma senaryosu, iç hava kalitesi, ısı konfor ve enerji verimliliği konusunda en verimli uygulamadır (Lei ve diğ., 2017).

Literatürde mekanın iç hava kalitesine bağlı olarak sağlık koşullarını değerlendiren çalışmalara, Covid-19 pandeminden sonra enfeksiyon risklerinin de değerlendirildiği çalışmalar eklenmiştir. Pandemi sonrası literatüre örnek olarak Kore' nin Suwon şehrindeki bir okulun 3 sınıfında gerçekleştirilen çalışma, doğal havalandırmanın bulaş riski ve enerji tüketimine etkisini incelemektedir. Park ve diğ. (2021), sınıflarda yerinde ölçüm yapmış, bulaş riskini matematiksel modelle hesaplamıştır. Hepsi aynı katta olan 3 sınıfın dış ve koridor cephelerinde pencereler yer almakta, sınıflar doğal havalandırılmaktadır. Suwon' da ölçüm zaman aralığında dış ortam sıcaklığı ortalama 30°C olduğundan soğutma ihtiyacı vardır, bu yüzden her sınıfta bulunan birer klima 25°' ye sabitlenerek çalıştırılmıştır. Ölçümler soğutma dönemindeki 15 günlük zaman zarfında, 3 sınıfta eş zamanlı olarak yapılmıştır. Sınıflar tamamen boşken, açıklıklar kapalıyken içeriye yüksek miktarda CO₂ gazı salınmış, oda havasını karıştıran bir fan ile hacimde dağıtılmış ve senaryolara ait ölçümlerde konsantrasyon seviyesine göre havalandırma performansı değerlendirilmiştir. Ölçümler sırasında klimalar, hava hareketini ciddi olarak etkilememesi için düşük hızda çalıştırılmıştır. Doğal havalandırmanın bulaş riski ve enerji tüketimi değişimine etkisine bakabilmek adına,

pencere açılan yüzey oranına ve açılan pencerelere göre 5 senaryo oluşturulmuştur. Senaryolardaki pencerelerin açılan yüzey oranları %15, %30, %100 olarak, açılan pencereler ise tek ve çift taraflı havalandırma olacak şekilde seçilmiştir. Senaryoların hepsi için, her sınıfta yerleştirilen 7 referans noktada sıcaklık, nem, hız, CO₂ ölçümleri yapılmıştır. Wells-Riley matematiksel modeli ile mekandaki enfeksiyon riski, klimanın saat başına enerji yükü ile enerji tüketimi hesaplanmıştır. Enfeksiyon olasılığı hesaplanırken maruz kalma süresi denklemde değiştirilerek etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, pencerelerin açılma oranlarındaki artışın klima enerji yükünü oldukça küçük miktarda yükselttiği belirtilmiştir. Bu durum dış ortam sıcaklığı iç ortamdan fazla olsa bile, doğal havalandırmanın içerideki sıcaklığı ciddi miktarda düşürerek ısı konfor koşullarını bozmadığını ve buna bağlı olarak enerji tüketimini de çok etkilemediğini göstermiştir. Enfeksiyon ihtimalleri incelendiğinde, aynı maruz kalma süresinde, çapraz havalandırma tek yönlüye göre, bulaş riskini daha fazla azaltmıştır. Pencere açılma oranlarındaki artış da, içerideki hava hızını yükselttiğinden, bulaş riskini azaltmıştır. Senaryolar içinde %15 oranındaki çapraz havalandırma senaryosunun bulaş riskini azaltmada yeterli olduğu sonucu görülmüştür. Buna göre pencereler %15 açıkken, ve mekan çapraz havalandırılırken, maruz kalma süresi 3 saatin altında tutulursa ve maske takılırsa, soğutma enerji yükünde yok sayılabilecek bir değişiklik olması ile beraber enfeksiyon riski de %1' in altında kalmıştır. Bu senaryo ısı konfor, enerji verimliliği ve mekanın sağlık koşullarının sağlanması bakımından en avantajlısı olarak belirtilmiştir. Ayrıca, çift taraflı havalandırmanın tek tarafa göre bulaş riskini %60 oranında azalttığını tespit edilmiş ve çapraz havalandırmanın özellikle kamusal mekanlardaki gerekliliğini vurgulanmıştır (Park ve diğ., 2021).

Önceki paragrafta anlatılan Park ve diğ. (2021) çalışmasına benzer bir yöntemle yürütülmüş başka bir çalışmada, doğal havalandırılan bir sınıftaki Covid-19 bulaş riskine havalandırmanın etkisini tespit etmek hedeflenmiştir. Sınıfa CO₂ gazını temsil eden yapay bir gaz kontrollü testler ile salınmış, bir fan yardımıyla hacme dağıtılmıştır. Sınıfa yerleştirilen 2 monitör ile gazın ölçümü yapılmış, sınıfın pencere açılma durumlarına göre havalandırma hızı belirleyerek bu girdiler, Wells-Riley denklemi aracılığıyla bulaş riskini belirlemek için kullanılmıştır. Sınıf çapraz havalandırıldığında CO₂' nin azalma hızı, tek taraflı havalandırıldığı durumdan 4 kat fazla olmuştur. Sınıfın devamlı olarak çapraz havalandırılmasının, kış aylarında ısı konforu düşüreceği için tercih edilmeyeceği

belirtilmiştir. Soğuk mevsimde kullanılacak, aralıklı havalandırma durumu için bulaş riski, yeniden hesaplanmıştır. Sonuç, sınıf çapraz ve periyodik olmak üzere aralıklı olarak havalandırıldığında, havalandırma süreleri kısa dahi olsa bulaş riskinde önemli düşüşler meydana geldiğini göstermiştir. Bu sonuç doğrultusunda, hava yoluyla bulaşan hastalıklara karşı, kış mevsimlerinde kamusal mekanların aralıklı ve çapraz havalandırılması, ısıl konfor ve bulaş riski arasında optimasyon sağlaması ve maliyetsiz olması sebebiyle, önerilmiştir (Vignolo ve diğ., 2022).

Doğal havalandırma performansının bulaş riski bağlamında değerlendirildiği çeşitli çalışmalarda, enfeksiyon olasılığına etki eden iç hava parametreleri dahil edilmiştir. Çalışmaların, binadaki bulaş riski ve havalandırma ihtiyacı kullanıcı sayısına ve aktivitesine göre değişken olduğu için, mekana dair tüm bilgilerin toplanarak mekan özelinde yapıldığı görülmüştür. Dolayısıyla bulaş riskinin azaltılması için doğal havalandırma senaryosunun, ilgili mekana dair bilgilerin toplanması ve analiz edilmesi doğrultusunda performansının değerlendirilerek oluşturulması, büyük, çok fonksiyonlu, karmaşık hacimlerde ise birkaç pasif stratejinin birlikte kullanılarak optimum kullanımın gerçekleştirilmesi havada yüklü patojen konsantrasyonunun düşürülmesi bağlamında önem taşımaktadır.

3.2. Kapalı Alanlarda Hava Yollu Bulaş Riskinin Tespiti ve Azaltılmasına Yönelik Çalışmalar

Literatür çalışmalarında, bulaş riskinin tespitinde matematiksel model, yerinde ölçüm, CFD simülasyonları, anket yöntemleri kullanılmaktadır. Anket çalışmaları tekil olarak kullanılmamakta çoğunlukla farklı bir yöntemi destekleyici olarak ele alınmaktadır (Coşar, 2023). Bu yöntemlerden bir diğeri olan, yayılım performansı ile doğrusal ilişkili olarak hastalık yapıcı bir virüsün, kapalı bir alanda bir insandan ötekilere bulaşma ihtimalini hesaplayan Wells-Riley denkleminin, genellikle küçük mekanları ele alan çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir matematiksel model olduğu görülmüştür (Riley ve Nardel, 1989; Riley ve diğ., 1978; Fantozzi ve diğ., 2022). Sadece hava yollu bulaşmayı ele alan bu denkleme göre, mekandaki enfekte insan sayısı, enfekte kişinin ürettiği biyoaerosol miktarı, sağlıklı kullanıcıların akciğer inhalasyon kapasitesi, temas süresi, hava hızı faktörleri Denklem (3.1)' de görüldüğü gibi;

$$P = \frac{c}{s} = 1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q}} \quad (3.1)$$

bulaş riskini etkilemektedir. Denkleme göre;

P = enfeksiyon risk olasılığı

c = enfekte kişi sayısı

s = enfeksiyona duyarlı kişi sayısı

I = enfektör sayısı

q = enfekte kişinin kuantum virüs üretme hızı (saat⁻¹)

p = enfeksiyona duyarlı kişinin akciğer solunum hızı (m³ / h)

t = maruz kalma süresi (saat)

Q = odanın havalandırma debisi (m³ / h) şeklindedir (Fantozzi ve diğ., 2022).

Denklem (3.1) girdileri arasındaki enfekte kişinin tespitinin gar binası gibi aktif kullanılan kalabalık mekanlarda, gerçekçi sonuçlar vermeme ihtimali çok yüksektir. Gar girişinde çeşitli testler ile enfekte kişinin sağlıklı olanlardan ayıklanmasına yönelik çalışmalar yürütülse dahi, Covid-19 virüsünün çoğu hastada belirti göstermemesi ve bazı vakalarda kuluçka süresinde olması sebebiyle bu çalışmaların doğruluk oranını azdır (Shen ve diğ., 2020). Denklemin diğer girdileri olan enfekte kişilerin akciğer solunum hızı ve virüs üretme hızı, kişinin cinsiyetine, yaşına, boy ve kilosuna, metabolik aktivitesine göre değişkenlik gösterir (Batterman, 2017). Bu veriler anlık olarak toplanabilse dahi, kişinin girdiği andan itibaren sürekli olarak izlenmesi gerekir. Çünkü, yüksek sesle konuşma, öksürme, hapşırma gibi eylemler virüs üretme hızını etkiler. Girdilerin hesaplanmasına yönelik bu yöntemler küçük ve birkaç kullanıcı mekanlarda gerçekleştirilebilir. Fakat, yoğunluğu sürekli olarak değişen ve farklı insan profillerinin yer aldığı garda, anlık olarak toplanması ve analizi oldukça zordur. Ek olarak SARS-Cov-2' nin yüksek mutasyon yeteneği göz önünde bulundurulduğunda, farklı varyantların farklı belirtiler göstereceği için akciğer solunum hızı ve virüs üretme hızı değişebilir. Bulaşıcı hastalıkları tahmin eden bu matematiksel yöntemin girdileri içinde, tez çalışması bağlamında ölçülebilir ve doğru tespit edilebilir olan kişi sayısı ve mekandaki hava hızıdır.

Bulaş riskini tespit etmeyi hedefleyen çalışmaların kullandığı yöntemler arasında ölçüm ve CFD simülasyonları gar binası özelinde, eldeki koşullar ile uygulanabilecek seçeneklerdir. Aşağıdaki paragrafta açıklandığı üzere, literatür araştırmaları, kapalı

alanlardaki iç mekan hava parametreleri olan CO₂, PM, hava yaşı ve hava hızının hava yoluyla yayılan virüslerin yayılım performansı arasında bir nedensellik ilişkisi olduğunu doğrulamaktadır. Bu sebeple tüm bu parametrelerin dahil edilebileceği ölçüm ve simülasyon yöntemlerinin arada kullanıldığı alternatif bir metoda ihtiyaç duyulmuştur.

Literatüre göre, hava hızı, hava yaşı ve iç mekan kirleticilerinden olan CO₂ ve PM miktarları, bulaş riskine etki etmektedir (Peng ve Jimenez, 2021; Wu ve diğ., 2020). CO₂ miktarı, mekandaki insanların solunum aktiviteleri ve havalandırmadaki yetersizliğin bir sonucudur. Mekandaki doluluk arttıkça ve havalandırma azaldıkça CO₂ yükselmektedir. Virüsün kapalı alandaki yayılım performansı yetersiz havalandırılan kalabalık mekanlarda arttığı için, çalışmalarda CO₂ etken faktör olarak değerlendirilmiştir (Fantozzi ve diğ., 2022). Havalandırma performansındaki yetersizlik ve mekanın doluluk durumu, diğer bir kirletici olan PM artışını da tetikler. İç havadaki PM miktarı, virüsün PM'ye tutunarak asılı kalabilmesi sebebiyle risk unsurudur (Wu ve diğ., 2020). İç mekan kirleticileri PM ve CO₂ miktarlarındaki artış virüsün bulaşıcılığını etkilemek ile birlikte farklı rahatsızlıklara da sebep olur. Covid-19 virüsünün, CO₂ ve PM miktarının arttığı durumlarda daha ölümcül olmasının sebebi, üçünün de insan solunum sisteminde rahatsızlıklara sebep olmasıdır (URL-14).

ASHRAE'ye (2008) göre iç mekan asılı patojen konsantrasyonun seyreltilmesi bulaş riskini azaltır ve havalandırma bunu sağlayan en önemli faktörlerden biridir (ASHRAE, 2008). Virüs ile birlikte diğer hava kirleticilerinin seyreltilmesi, mekana taze hava girişinin artırılması ve eskiyen havanın dışarı çıkışının sağlanması yoluyla mekan havasının yenilenmesi ile gerçekleştirilir. Havanın mekanda geçirdiği süreyi ifade eden hava yaşı; hava hızı, CO₂ ve PM gibi havalandırma performansını temsil eden ve bulaş riskini etkileyen faktörler arasındadır. Mekandaki havanın yeniliği, tazeliği düşük hava yaşına karşılık gelir. Düşük hava yaşı seviyeleri, bulaşıcı hastalıkların yayılımını önlemeye ve hava kalitesinin iyileştirilmesi yoluyla mekanın genel sağlık düzeyinin yükselmesine katkı sağlar.

Bu başlığın alt başlıklarında bulaş riskini etkileyen CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı parametreleri ayrı ayrı incelenmiştir. Parametrelerin virüs yayılımı ile ilişkisi genel olarak anlatılmış, ardından bu parametreleri ele alarak mekandaki virüs yayılımını tespit etmeyi veya azaltmayı hedefleyen literatür çalışmalarından örnekler verilmiştir.

3.2.1. Bulaş Riskinin Tespitinde CO₂ Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar

Kapalı alandaki CO₂ miktarındaki artış iç hava kalitesini düşürerek, insanların rahatsızlık hissetmelerine sebep olur. CO₂ gazı zehirsiz olmasına rağmen, miktarının artması, kullanıcılarda solunum zorlukları, baş ağrısı, yorgunluk gibi rahatsızlıklar oluşturması sebebiyle iç hava kirleticileri arasındadır. ASHRAE, iç mekandaki CO₂ miktarı için belirli bir eşik değeri önermese de REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations) (2021), sağlıklı koşulların sağlanması için 800-1.000 ppm değer aralığını önermektedir (Persily ve diğ., 2022; REHVA, 2021). İç mekandaki CO₂ miktarının ana kaynağı insan solunumudur (Karaca, 2022). İnsanların aktivite şekline ve metabolizma hızlarına göre havaya salınan CO₂ miktarı farklılık gösterir (Rey-Hernandez ve diğ., 2023). ASHRAE (2004)' e göre kapalı alandaki CO₂ miktarı, o ortamın yeterli seviyede havalandırılıp havalandırılmadığının anlaşılması, aynı zamanda havalandırma performansının yorumlanması konusunda bir ölçüttür (ASHRAE, 2004). Kapalı alandaki CO₂' nin ana kaynağı insan olduğundan, miktarındaki artış insan sayısının artmasının da bir sonucudur. İnsan sayısı ne kadar artarsa aralarında enfekte biri olma ihtimali o kadar yükselir. Kalabalıktaki enfekte kişi, nefes verirken ortama CO₂ ile birlikte virüs salar ve havaya karışan virüs, havalandırma da yetersiz ise, hava akımları ile taşınır ve diğer kişilerin havayı soluması ile vücutlarına girer. Tüm bu sebepler ve incelenen çalışmalar, biriken CO₂' nin virüs konsantrasyonun dolaylı bir göstergesi olduğunu ve havalandırma bulaş risk değerlendirilmesinde bir parametre olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Peng ve Jimenez, 2021).

Mekandaki CO₂ miktarını Covid-19 bulaş riskinin tespiti için kullanan Hernandez ve diğ. (2023) çalışmalarında İspanya' daki bir devlet okulunun 9 sınıfında, ısıtma döneminde yılın en olumsuz iklim koşullarına sahip ayında, yerinde ölçümler yapmışlardır. Hernandez ve diğ.' e (2023) göre, iç mekan havasındaki yüklü virüs miktarı arttıkça kullanıcı daha fazla virüse maruz kalır ve kişinin soluduğu havadaki virüs miktarının fazla olması, virüsün vücuda girdiğinde çoğalabilmesi için daha fazla şansı olması sebebiyle enfeksiyonun daha çabuk gerçekleşmesine neden olur. Mekandaki CO₂ miktarı kötü havalandırmayı temsil ettiği için Hernandez çalışmasında, bu gazı virüs miktarının izlenmesinde ölçüt olarak kullanmıştır. Ölçüm sonuçları, enfeksiyon riskinin azaltılması için güçlü bir mekanik havalandırmaya ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. İhtiyaç duyulan

mekanik havalandırma sistemi yüklü bir enerji kullanacağından, mekanın pasif yollarla risk düzeyinin düşürülmesine yönelik çözüme gidilmiştir. Bu sebeple ölçüm sonuçlarında her sınıfta elde edilen CO₂ miktarına göre, bulaş riskinin azaltılması amacıyla hacme gerekli, doğal havalandırma yoluyla giren taze hava miktarı matematiksel modelle hesaplanmıştır (Rey-Hernandez ve diğ., 2023).

Fantozzi ve diğ.'nin (2022) çalışmalarında, üniversite sınıflarındaki enfeksiyon riskini saptamak için CO₂ seviyeleri izlenmiştir. CO₂ konsantrasyonları ve sınıf içi insan yoğunluğu değerleri ile havalandırma oranları, Wells-Riley denklemi ile bulunmuştur. Denklem, bir kaynaktan, diğer kullanıcılara virüs yayılma ihtimalini hesaplamaktadır (Riley ve Nardell, 1989). Çalışma sonucunda, enfeksiyon ihtimalinin hacim içerisindeki aktivite şekli, insan yoğunluğu, yüksek sesle konuşma, hacmin büyüklüğü ve maske kullanımı ile değiştiği sonucuna varılmıştır. Bu yolla CO₂ konsantrasyonunun takibinin doğal havalandırılan hacimlerde hava yollu bulaş riskinin tahmininde etken parametre olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Hatta enfeksiyon ihtimalinin azaltmak için CO₂ seviyesinin yazarların uygun gördüğü bir kritik değerin altında tutulması ve CO₂ kayıt cihazlarının, alarm sistemi ile kullanıcıları uyarması önerilmiştir (Fantozzi ve diğ., 2022).

Rivas ve diğ. (2022) yılında yürüttükleri çalışmada, açıklıkların kullanımına göre kapalı veya yarı açık hale gelen bir restoran terasında, farklı meteorolojik koşulları temsilen değişen rüzgar yönlerine göre oluşturulan doğal havalandırma alternatiflerinin CO₂ dağılımına etkisini analiz etmiş ve alternatifler arasında Covid-19 yayılımını minimuma indiren alternatifi tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Doğal havalandırma alternatifleri terastaki kapı ve pencerelerin tümünün açık olduğu ve tümünün kapalı olduğu da dahil olmak üzere 8 farklı senaryoyla oluşturulmuştur. Terasta kullanıcıların sıklıkla bulunduğu konumlar referans nokta olarak tanımlanmış, noktaların hava hızı ve CO₂ değerleri bulunarak risk durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmaya göre, hava akışına bağlı olarak bazı referans noktalarda konumlanan kişilerin patojenleri etkili şekilde yaydığı ve belirli mesafedeki insanları etkilediği görülmüştür. Bazı senaryolarda değişen rüzgar geliş açısı, giren hava miktarını arttırsa bile iç mekanda belli bölgelerde girdap oluşumu nedeniyle ters akımla girdaplar oluşturarak CO₂ konsantrasyonu yüksek kirli havanın çıkışına engel teşkil etmiştir. Genel olarak çapraz havalandırmanın tercihi ve

havalandırma oranının artması ile bulaş riski düşse de yerel girdapların minimuma indirilmesi önerilmektedir. Çapraz havalandırma sağlanmak üzere, havanın giriş-çıkış yerlerinin, rüzgar geliş açısına göre açıklık konumunun solunum bölgesinde hava akışının sağlanması anlamında virüs yayılımını etkilediği belirtilmiştir. Ortamın iyi havalandırıldığında dahi, kişiler arası 2 metre sosyal mesafenin güvenli olduğu ortaya konmuştur. CO₂ miktarını kullanıcıların virüse maruz kalma durumlarını tahmin etmede kullanıldığı çalışmanın sonunda, ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı iç hava parametrelerini dahil ederek bulaş riskini tespit etmek hedeflenmiştir (Rivas ve diğ., 2022).

3.2.2. Bulaş Riskinin Tespitinde PM Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar

Partikül maddeler, CO₂ gibi solunabilen iç mekan kirleticilerindendir. Partikül maddeler çeşitli çaplarda olabilirler. İç hava kalitesine yönelik literatürde çoğunlukla PM₁₀ ve PM_{2.5} maddelerinin miktarlarının yorumlandığı görülmektedir. PM₁₀, çapı 10 mikrometreden (μm) az, PM_{2.5} çapı 2.5 mikrometreden (μm) az parçacıkları ifade eder. Dışarıda, yollardan kalkan tozlar, endüstriyel faaliyetler, yanan maddelerden yayılan duman, tarımsal faaliyetler kaynaklı havaya karışan partikül maddeler iç mekana sızabilir. İç mekanda ise yemek yapma, yakıt yakma, temizlik faaliyetleri, spreyler gibi kaynaklar partikül madde yayıcılarıdır (Fermo ve diğ., 2021). WHO, kapalı mekanlardaki partikül maddelerin günlük sınır değerlerini, PM_{2.5} için 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ için 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak önermiştir (WHO, 2021).

İç mekandaki partikül maddelere maruz kalma, boğazda tahriş, öksürme, burunda tıkanıklık, solunum sistemi rahatsızlarına sebep olur hatta akciğer kanseri olma ihtimalini arttırarak yaşam süresini kısaltır (Fermo ve diğ., 2021; Darçın, 2014). İç mekandaki PM konsantrasyonlarındaki artış, çeşitli rahatsızlara sebep olması ile birlikte Covid-19 yayılımına etki etmektedir. Virüsün solunabilir partikül maddelere yapışma özelliği sebebiyle, mekandaki PM artışı havada asılı virüs miktarını arttırır (Fears ve diğ., 2020). Bununla birlikte daha küçük boyutta olan PM_{2.5}, insanın solunum sisteminde daha ileri gidebilir olduğu için konsantrasyonundaki artış, PM₁₀' a göre bulaş riskini daha fazla yükseltir (Rovelli ve diğ., 2014). Covid-19 pandemisinden önce, WHO' nun iç hava kalitesine yönelik yayınladığı bir klavuzda, dış ortamdaki PM_{2.5} konsantrasyonunda 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'lük bir artışın, günlük ölüm sayısında %15 artışa sebep olduğu belirtilmiştir.

Wu ve diğ.' nin (2020), PM ile Covid-19 bulaşı arasındaki ilişkiyi saptamak adına yaptıkları çalışmaları için EPA (Environmental Protection Agency)' dan, Amerika' daki yıllık ortalama ozon ve PM_{2.5} değerleri alınmıştır. CDC (Centers for Disease Control and Prevention)' den ise 2020 yılında meydana gelen Covid-19 kaynaklı ölüm sayılarına ulaşılmıştır. Bu veriler ile oluşturulan istatistiksel analizler sonucunda havadaki PM_{2.5} kirleticisindeki 1 µg/m³ 'lük bir artışın Covid-19 ölüm oranını %8 kadar arttırdığı tespit edilmiştir (Wu ve diğ., 2020).

2020 yılında yapılmış başka bir çalışmada, İtalya' daki illerin dış hava PM_{2.5} ve PM₁₀ verilerine erişilmiştir. Bu veriler ile günlük enfekte insan sayısı ilişkisi, hastanın 14 günlük kuluçka süresi dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda İtalya' daki partikül madde seviyeleri ile Covid-19 vakaları arasında doğrudan bir ilişki olduğu tespit edilmiş ve PM_{2.5} ve PM₁₀ ' un virüsün taşınmasında ve yayılmasında etkisinin olduğu, hastalık yayılımını arttırdığı sonucuna varılmıştır (Piazzalunga, 2020).

Portekiz' de doğal havalandırılan 9 okul üzerine yapılan bir çalışmada kış dönemindeki okul günleri olan pazartesi ve cuma aralığında, PM, CO ve CO₂ değerleri ölçülmüştür. PM₁₀ ölçümleri, öğrencilerin sınıflara girdikleri ve çıktıkları anlarda, tahtanın kullanımı sırasında maksimum değerlerde seyretmiştir. Bununla birlikte en yüksek PM₁₀ değerleri sınıflarda öğleden sonra yapılan temizlik sırasında gözlemlenmiştir. Süpürmenin, silmeye göre daha yüksek değerlere sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, sınıflardaki PM miktarlarının insan aktiviteleri ile değiştiğini göstermiştir. Bununla birlikte içerideki PM miktarı dış havadaki konsantrasyon ile de ilgilidir. Ölçüm sonuçları, PM ile CO₂ miktarları arasında doğrusal bir ilişki olduğunu istatistiksel olarak kanıtlamış, iki parametrenin de yetersiz havalandırma koşullarında yükseldiği sonucuna varılmıştır. Sınıflardaki düşük hava kalitesini iyileştirmeye yönelik olarak, sınıflardaki öğrenci yoğunluğunun azaltılması, mekana giren temiz hava miktarının artırılması ve temizliğe yönelik iyileştirici yöntemlerin uygulanması önerileri getirilmiştir (Alves ve diğ., 2013).

Başka bir çalışma İtalya' da sınıflarda yapılmış olup, PM ile CO₂ miktarlarının doluluk oranları ile ilişkisi araştırılmıştır. Ölçüm cihazları, duvarlardan 50 cm içeride olacak şekilde, oturma durumundaki solunum bölgesine denk gelen 1 metre kotunda yerleştirilmiş, ölçümler hafta içinde ve havalandırmanın en yetersiz olduğu kış döneminde gerçekleştirilmiştir. Ölçülen PM_{2.5} ve PM₁₀ konsantrasyonlarının en yüksek

seviyeleri öğrencilerin sınıfa girdikleri ve çıktıkları anlarda gözlemlenmiş olup sınıf içi hareketliliğin de ölçüm sonuçlarını etkilediği belirtilmiştir. Bu doğrultuda sonuçlar bir önceki çalışma ile benzerlik göstermektedir (Rovelli ve diğ., 2014).

Çalışmalarda yapılan partikül madde ölçümlerinde, çoğunlukla 2.5 ile 10 mikrometre çapında olanların ölçümünün yapıldığı görülmektedir. İki maddenin de, ortamda belirgin bir kaynak yok ise (sigara içme, yemek yapılması, mum veya tütsü yakılması gibi) ana kaynağının, dış ortam PM seviyelerine bağlı olarak, insan sayısı ve hareketleri olduğu vurgulanmıştır. Kullanıcı sayısının artması ile PM miktarındaki artış, kullanıcıların ayakkabı veya giysilerindeki partiküllerin havaya karışması sonucunda gerçekleşir. Bu artışın bir sebebi de yüzeylerde durgun halde yer alan partiküllerin, hareket kaynaklı hava akımları ile tekrar havaya karışarak resüspansiyon haline geçmesindendir (Rovelli ve diğ., 2014). Aynı zamanda ıslak yapılmayan süpürme şeklindeki temizlik de resüspansiyona sebep olur. Süspansiyon halindeki partikül maddeler virüslerin tutunması için uygun taşıtlardır ve iç mekan havasındaki konsantrasyonlarının yükselmesi virüs yayılımı konusunda risk oluşturur (Wallis ve diğ., 2019). Bu sebeple partikül maddelerin iç ortam miktarındaki artışı, salgın hastalıklara, diğer solunum rahatsızlıklara, hatta bazı insanlarda ölüme sebep olması gerekçesi ile kullanıcılar için bulaş riski unsurudur (WHO, 2000).

3.2.3. Bulaş Riskinin Tespitinde Hava Hızı Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar

Kapalı bir mekanda düşük hava hızları, havanın yer değişimini engelleyerek durgun bölgelerin oluşmasını artırır. Cephe boşluklarının açılması, kapalı duruma göre mekan içi hava hızlarını artırır. Mekandaki artan hava hızı solunabilir asılı partiküllerin, yüklü viral dozun ve iç hava kirleticilerinin konsantrasyonunda azalmayı sağlar. Fakat bazı patojenler hacimde uzun mesafeler dolaşabilmektedir. Covid-19 virüsü kaynaktan 10 metreye uzağa gidebilmektedir (Morawska ve Cao, 2020). Bu yüzden, bölgeden uzaklaşan viral yüklü havanın hacmin farklı yerlerine seyahatinin önlenmesi için havanın, yapı açıklarından çıkışı sağlanmalıdır (Goyal ve Khare, 2009). Ayrıca çıkan havanın tekrar yapı içine alınmaması, yapıya giren havanın temiz ve yeni olması gerekir. Hava hızının bulaş riskine etkisinin değerlendirildiği çalışmalarda, hız ile birlikte hava değişim miktarının da önemi vurgulanmıştır.

Pandemi döneminde Çin’ de bir restoranda meydana gelen yerel bir salgını inceleyen Li ve diğ. (2020), Covid-19’ un hava yoluyla bulaşma durumunu değerlendirmişlerdir. Restorana öğle yemeği için gelen üç birbirini tanımayan ailenin (A,B,C aileleri) restoranda bulunduğu süre boyunca konumları, asansör, tuvalet kullanımı gibi yakın temas durumları, restoran kamera kayıtları ile incelenmiş ve ailelerin yakın temas halinde olduğu bir kanıt bulunmamıştır. Yemekten önce, B ve C ailelerinde enfekte kişilerin olduğu, onlar dışında restoranda bulunan kimsenin enfekte olmadığı tespit edilmiştir. Üç aile arasında yakın bir temas olmamasına ve sosyal mesafenin bulunmasına rağmen A ailesinde, yemekten sonra enfekte birey tespit edilmiştir. Hava yoluyla bulaştan şüphelenilmesi üzerine Fluent programı aracılığıyla CFD simülasyonları sonucunda, A,B,C ailelerinin bulunduğu bölgede kirli hava sirkülasyonu olduğu ortaya konmuştur. Ailelerin konumlandığı kısımlarda oluşan girdaplı bölgelerde hava akışında oluşan yön değişiklikleri kirli havanın dışarı çıkışına engel olmuştur. Enfekte kişilerin solunum faaliyetleri devam ettikçe, havadaki viral doz artmış ve hava giderek daha tehlikeli hale gelmiştir. Kirli hava çıkışını engelleyen girdap oluşumunun, mekandaki mekanik havalandırma cihazlarının konumundan kaynaklandığını simülasyon çıktıları ile tespit edilmiştir. Çalışmada, yalnızca kirlenmiş hava dolaşımının tek başına salgını açıklamaya yetmediğini ek olarak düşük havalandırma hızlarından kaynaklanan temiz hava girişinin yetersizliğinden bahsedilmiştir (Li ve diğ., 2020).

Covid-19 öncesinde Li ve diğ. (2005) bir hastane yapısında meydana gelen hava yoluyla bulaşan bir hastalık olan SARS virüsü kaynaklı salgının havalandırma sistemi ile ilişkisini incelemişlerdir. Hasta yatış bölümünden hastane geneline yayıldığı tahmin edilen salgının hava yoluyla bulaşının incelenmesi için CFD simülasyonları yapılan çalışmada, havada uzun süre asılı kalan biyoaerosollerin hava yoluyla hastane içinde dolaşarak diğer hastalara ve sağlık çalışanlarına bulaştığı tespit edilmiştir. Hastanedeki mevcut mekanik havalandırma sistemi, girişe yakın olan açıklıktan aldığı temiz havayı 5 fan-coil ünitesine dağıtmaktadır. CFD simülasyonları ile, mekanik havalandırmanın hasta odalarındaki havayı bekleme bölümüne doğru yönlendirdiği görülmüştür. Bu yetersiz havalandırmanın hasta odasından kaynaktan çıkan viral yüklü havanın, mekan içinde uzun süre kalması sonucunda, diğer hastaların ve sağlık çalışanlarının enfeksiyon kapmasına sebep olduğu belirtilmiştir (Li ve diğ., 2005). Bu çalışma, yalnızca Covid-19 değil, hava yolu ile

bulaşabilen diğer hastalıkların da kötü havalandırma senaryoları uygulandığında salgın haline gelerek mekanın sağlık koşullarını düşürebileceğini göstermektedir.

3.2.4. Bulaş Riskinin Tespitinde Hava Yaşı Parametresinin Kullanıldığı Çalışmalar

Mekanda hava yoluyla yayılan hastalıkların bulaşında havalandırma etkisini inceleyen çalışmalarda, hava yaşını dahil edenlerin sayısı azdır (Feng ve diğ., 2023). Hava yaşı olarak tanımlanan, havanın yapı içine girdiği andan itibaren, mekan içinde geçirdiği süredir (Sherman, 2008). Hava yaşı yükseldikçe havadaki kirletici miktarı ve yüklü viral doz artar. Yüksek değerdeki hava yaşı, virüse maruz kalma süresinin ve olasılığının artması demek olduğu için bulaş riskini tetikleyen bir parametredir. Hava yaşı yüksek olan kirlenmiş iç mekan havasının, yapıdan çıkarılması ve taze havanın içeri alınması gerekmektedir. Böylece gerçekleşen hava değişimi ile iç mekan havasındaki yüklü viral doz seyreltilerek bulaş riski azaltılmış olur.

Giren taze havanın, yapıya girdiğinde olabildiğince homojen dağılımı, durgun bölgelere hava akışını sağlar. Durgun bölgeler, hava yaşının yüksek, hava akımlarının yetersiz olduğu yerlerdir. Genel olarak taze havanın girişi ve kirli havanın çıkışı ile hava yaşı değerleri düşse de yerel hava yaşları bu teoriden farklı sonuçlar verebilir (Jahanbin ve Semprini, 2024). İç mekanda meydana gelen türbülans, girdap, konveksiyon gibi hava hareketleri hava yaşında değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu sebeple hacimde, hava yaşı değeri, hava hızına ve hava akış dağılımına bağlıdır (Meiss ve diğ., 2013). Hız arttıkça hava akışı artar ve durgun bölgeler hareketlenir (Yang ve Ye, 2014). Bu durumda hava yaşının düşük olması ve hava hızının ise belirli konfor optimum değerleri olarak kışın 20–24°C' de en fazla 0,15 m/s, yazın 23–26°C' de en fazla 0,25 m/s değerleri arasında olmak koşuluyla yüksek olması istenilen durumdur (ASHRAE, 2013; Awbi, 2003). Hava yaşının tekil olarak ele alınması hava kalitesini ve bulaş riskini değerlendirmede yetersiz kalmasına rağmen etken parametrelerle birlikte değerlendirilmesi bulaş riskini anlamak için gereklidir.

Giren temiz havanın dağılımı, iklimsel koşullar ile birlikte iç mekan organizasyonuna, mekan içi engellere, başka açıklıkların açık/ kapalı olma durumlarına ve sızıntı düzeylerine bağlı olarak değişir. Mekandaki hava dağılımı hava hızı ile gerçekleşmekte olup, hava hızındaki artış ise hava hareketini etkileyerek dolaşımın olmasını sağlar.

Temelde hava hızı arttıkça hava yaşı azalır (Cichowicz ve Stelegowski, 2017). Bununla birlikte, yapıya giren temiz havanın miktarı ve hava hızı önemli olsa bile, yalnızca bu yeterli değildir. Wells-Riley denklemi gibi enfeksiyon ihtimalini hesaplayan bazı matematiksel modeller, insan sayısına göre hacme gerekli taze hava miktarını hesaplar (Riley ve Nardell, 1989). Hacmin ihtiyacı olan taze havanın miktarı ile birlikte, hacim içinde dolaştırılması hususu da bulaş riski bağlamında düşünülmelidir. Taze havanın mekanı dolaşması, hava hızının düşük olduğu durgun bölgelerde patojen yükünün seyreltilmesine imkan verir (Park ve diğ., 2021).

Bulaş riskinin tespiti için ölçülen CO₂, PM ve hava hızı parametrelerine yönelik olanlara kıyasla, hava yaşını konu edinen çalışmaların sayısı daha azdır. Havalandırmanın yetersiz olduğu küçük ve yoğun kullanımlı hacimlere örnek olarak tuvaletler üzerine olan yapılan çalışmada, Feng ve diğ. (2023), bu hacimlerdeki bulaş riskini tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Bulaş riskinin tespiti için mekan içi hava yaşı değerleri, CFD simülasyonu ile bulunmuştur. Çalışmada hava yaşı, havada kalma süresi olarak tabir edilmiş, bu değerin yüksek olduğu ve hava hızı düşük kısımlar yüksek riskli olarak nitelendirilmiştir. Doğal havalandırılan iki farklı tuvalet modeli üzerinden, yalnızca kapının açık olduğu, hem kapı hem pencerenin açık olduğu ve her ikisinin de kapalı olduğu kombinasyonlar oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar içinde kapı ve pencerenin birlikte açık olduğu senaryonun, tuvalet kabinlerinin olduğu bölmelere dahi taze havanın girmesini sağlayan havalandırma şekliyle en sağlıklı koşulları oluşturduğu ifade edilmiştir. Feng ve diğ. (2023), önceki çalışmalardaki gibi yalnızca ACH (air changes per hour) değeri hesaplanmasının, risk değerlendirmesi konusunda yeterli kalmadığını, daha detaylı bir çalışma ile bölgesel haritalamanın yapılması gerektiği vurgulanmıştır (Feng ve diğ., 2023).

3.3. Kapalı ve Kalabalık Alanlar Olarak Ulaşım Yapılarında Hava Yollu Bulaş Riskini İnceleyen Çalışmalar

Ulaşım yapıları, kullanımlarından kaynaklı, olumsuz koşullarda riskli kapalı mekanlardır. Yapıda belirli saatlerdeki doluluk yolcunun, daha fazla insanla temas etmesine sebebiyet verir. Aynı zamanda kalabalık insan grubunun sınırlı ve kapalı bir alanda, ulaşım aracını beklerken bulunması, iç mekan havasının giderek kirlenmesine, bu havanın solunum faaliyetleri ile kullanıcıların vücutlarına girmesine ve virüs yüklü havaya mekanda kaldığı

sürece bu havaya maruz kalma süresinin artmasına sebep olmaktadır. Mekandaki enfekte kişi veya kişiler, iç mekan havasını virüs ile doldurmaktadır. Bu kişilerin mekan girişinde tespiti ise, bazı hastalar belirti göstermediğinden, çok mümkün olmamakta ve virüs de enfekte kişiyle birlikte mekana girmektedir (Dollard, 2020). Konut gibi kamusal olmayan yerleşim birimlerinde enfekte kişiyi karantina altına almak gibi korunma yöntemlerinin kamusal alanlarda gerçekleştirilmesi zordur. Bu sebeple tanımlanamayan enfekte kişi, mekana girdiği andan itibaren risk oluşturur. Enfekte kişi, tren garı gibi mekanlarda, oturma bölümünde koltuk kenarlarına, danışma masalarına, tutacıklara dokunduğundan yüzey yoluyla bulaşmaya da imkan verir. Bu sebeple giren enfekte kişi gerek yüzey yoluyla, gerek damlacık ve hava yoluyla virüsü yayabilir. Yüzey yoluyla bulaş, aralıklı temizlik ile önlenabilir. Damlacık bulaşı, maske kullanımı ve mesafe ile düşürülebilir. Hava yollu bulaş ise, maske kullanımı ile birlikte etkin bir havalandırma yoluyla temiz havanın girişi, hacimdeki uygun dağılımı sayesinde virüs konsantrasyonunun seyreltilmesi ile mümkündür.

Kapalı alanlardaki hava yoluyla yayılan patojenlerin yayılımına yönelik çalışmalar incelendiğinde, okul ve sınıfları ele alanların sayıca fazla olduğu görülmüştür. Ulaşım yapılarını inceleyen çalışmalar, sayıca daha az olup çoğunlukla havaalanlarına odaklanan çalışmalardır. Yolcu terminallerine yönelik çalışmalar ise oldukça sınırlıdır (Shen ve diğ., 2020).

Havaalanlarındaki hava yoluyla yayılan hastalıkların riskini inceleyen Zhao ve diğ. (2022), havalandırma ile birlikte binadaki insan hareketlerinin de yayılımı arttırabileceğinden bahsetmiştir. Binadaki yolcu hareketine yönelik gerçekleştirdikleri CFD simülasyonları sonucunda kuyrukta bekleyen enfekte kişinin arkasında duranın, önünde durana göre daha riskli durumda olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, kuyruğun uzaması, enfekte kaynaktan biyoaerosol yayılım alanının genişleyerek daha fazla kişiye etki ettiğini söylemişlerdir. Çalışmada, hapşırmadan sonraki 5 saniye içinde çıkan damlacık ve biyoaerosoller yalnızca arka sıradaki kişiyi etkilediği, 10 saniye içinde beş sıra arkasına kadar etki ettiği, 15 saniyede ise çok daha yayıldıkları tespit edilmiştir (Zhao ve diğ., 2022).

Sanders ve diğ.'nin (2021) çalışmalarında, Covid-19 pandemisinde havaalanları yöntemlerinin virüs yayılımının azaltılması adına uyguladığı önlemlerin meydana

getirdiği bazı olumsuz sonuçlardan bahsedilmiştir. Uçuştan önce gerçekleşen kontrol (check-in) işlemleri sırasında, enfekte yolcuları ayırt etmek için yolcuların doldurması istenen evrakların, bu kısımdaki yoğunluğu %20' ye kadar arttırdığı ve bu esnada yolcuların temasının sıklaştığı, temas süresinin de %23 kadar arttığı belirtilmiştir (Sanders ve diğ. 2021).

Havaalanı girişlerindeki vaka tespitine yönelik çalışmaların yetersizliğini anlatan başka bir çalışmada ise, hastalık belirtisini hedef alan taramaların, bazı kişiler belirti göstermeden hastalığı geçirdikleri için yetersiz olduklarından söz edilmiştir (Dollard, 2020).

alışmalara göre, havaalanlarındaki insan sayısının en fazla olduğu zaman diliminde risk en fazladır. İnsan sayısı ile birlikte insan hareketi ve mekan kullanımına bağlı olarak kuyruklar gibi yoğunluğu olduğu alanlarda riskin arttığı saptanmıştır. Aynı zamanda enfekte kişilerin ayıklanmasına yönelik gerçekleştirilen uygulamaların etkisiz kaldığı ve bu uygulamalar sırasında insanlar arası temas süresi arttığından riskin yükseldiği belirlenmiştir. Havaalanı yapılarına göre garlar, daha küçük ölçekli olduğundan, kullanıcıların birbirleri ile olan teması fazladır. Ayrıca bu mekanlar sağlıksız koşullar altında olduğuunda, hafta içi günlerde sabah-akşam işe ve okula giden insanlar zorunlu olarak bu riskli duruma oldukça fazla maruz kalmaktadır. Mekanın sağlık koşulları olumsuz iken, maruz kalma süreleri fazla olduğu için, garın düzenli kullanıcıları için risk daha da yüksektir.

Yapılan literatür taramalar doğrultusunda gar binasının tek bir mekan olarak değerlendirilmesi yerine, bulaş riskinin bölgesel olarak incelenmesinin daha doğru sonuçlar vereceği çıkarımı yapılabilir. Bazı referans noktalar, hava akımlarından kaynaklı ötekilere göre daha tehlikeli hale gelebilir. Bu noktalarda yer alan kullanıcıların enfeksiyon kapma ihtimali daha yüksektir. Yeni vaka, enfeksiyon bölgesinden ayrıldıktan sonra, garın çeşitli noktalarında vakit geçirebilir olduğu için bu durum temas halindeki insan sayısını arttırır. Gar binası gibi yolcu terminaleri, kalabalığın olduğu süre dilimlerinde virüsün taşınarak yayılmasına imkan verir. Aynı zamanda yolcular, tren gelene kadar beklediği için maruz kalma süreleri de artabilir. Gar binasında olumsuz koşullarda, "küme enfeksiyon veya süper bulaşma" olarak tanımlanan birden fazla kişinin kısa zamanda hastalık kapması gerçekleşebilir. Bu senaryoda, mekan salgının

büyüyerek yayıldığı yer haline gelir (Shen ve diğ., 2020). Dolayısıyla gardaki bölgesel tespit sağlanmalıdır. Bölgesel tespitin sağlanabilmesi için öncelikle gardaki doluluk durumunun, saatlere göre insan sayısının, mekan kullanımının ve aktivite şeklinin, hareket sirkülasyonlarının yerinde yapılan gözlemler ile tespiti gerekmektedir.

3.4. Literatür Değerlendirme ve Literatürdeki Boşluğun Tespit Edilmesi

Doğal yolla havalandırmanın enerji verimliliğinin ve iç hava kalitesinin sağlanması amaçlı gerçekleşmesine yönelik literatüre pandemi sonrasında virüs, salgın, bulaşıcı hastalık gibi kavramları içeren çalışmalar eklenmiştir. Pandemi sonrası çalışmalarda doğal havalandırmanın sağlık amaçlı sağlanmasına yönelik olanlar göze çarpmaktadır. Çalışmalarda, salgın yayılımının önlenmesi, potansiyel yeni bulaşıcı hastalıklara hazırlık, binaların mevcut havalandırma stratejilerinin sorgulanması ve geliştirilmesi gibi unsurlar bulunmaktadır. Sıralanan kaygılar ışığında, tez kapsamında belirlenen İzmit Tren Garı binasında, bulaş riskinin tespitine yönelik, farklı parametrelerin birlikte değerlendirilerek geliştirilen metodolojinin özgün tarafları sıralanmış, literatürde belirlenen boşluklar açıklanmıştır.

Ulusal ve uluslararası literatürde, kamusal yapılarda bulaş riskine yönelik çalışmalar çoğunlukla okul ve üniversite üzerinedir (Fantozzi ve diğ., 2022; Park ve diğ., 2021). Ulaşım yapıları içinde ise havaalanları üzerine yapılan çalışmalara rastlanırken, gar binalarının iç hava kalitesi ve havalandırma durumlarının bulaş riski bağlamında incelendiği çalışmaların sayısı oldukça azdır (Sanders ve diğ. 2021; Zhao ve diğ., 2022). Dolayısıyla çalışma kapsamında incelenmek üzere, literatürde kısıtlı olan gar binaları kategorisine örnek teşkil eden ve Kocaeli ve çevre illerden gelen insanların aktif kullandığı, gün içinde belli saatlerde insan yoğunluğunun arttığı İzmit Tren Garı uygun görülmüştür.

Literatür taraması sonucunda, makalelerde hava yoluyla bulaş riskinin belirlenmesinde ölçülen veya simüle edilen iç hava parametrelerinin çoğunlukla ayrı ayrı değerlendirildiği görülmüştür (Fears ve diğ., 2020; Peng ve Jimenez, 2021). Bu parametrelerin tekil olarak tespiti bir noktanın ötekinden daha riskli olduğunu göstermez. Özellikle İzmit Tren Garı gibi kalabalık ve büyük mekanlar birden fazla parametrenin birlikte incelendiği bir değerlendirme gerektirir. Örneğin, bir noktadaki hava yaşı değeri o bölgede

havalandırmanın yetersiz olduğunu göstermekle birlikte tek başına bulaş riskini yorumlamada yetersizdir. Çünkü bu nokta, hava akış ve dağılımının az olduğu, insan kullanımının da az olduğu bir bölge olabilir. Fakat bu noktadaki PM_{2.5}, PM₁₀ değerinin ölçülen diğer noktalardan yüksek çıkması, virüsün partikül maddelere yapışma yeteneği sebebiyle direkt olarak risk unsurudur. Noktanın CO₂ değeri ise direkt olarak virüs konsantrasyonunu arttırmamakla birlikte insan yoğunluğunun fazla olduğunu veya havalandırmanın yetersiz olduğunu veya ikisini birlikte göstermesi sebebiyle dolaylı olarak bulaş riskini arttırmaktadır. Aynı şekilde bir noktadaki hava hızının yüksek olması, hava yaşı, PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ değerlerinin de düşük olduğu anlamına gelmeyebilir. Bölgesel olarak oluşan bir girdap etkisiyle hava dışarı çıkmadan döngüsel olarak hareket ediyor olabilir. Bu durumda taze hava girişi az olacağından, döngüsel hareket eden havanın giderek virüs konsantrasyonu artar ve noktadaki hava hızı yüksek olsa dahi bulaş riski fazla olabilir.

Fantozzi ve diğ. (2022) gibi matematiksel model kullanan bazı çalışmalarda, enfeksiyon yayılımını yorumlamak için hacimdeki gerekli ACH değeri hesaplanmıştır (Fantozzi ve diğ., 2022). Hacme gereken ACH değeri için ASHRAE 2019 standardında da belirtilen Denklem (3.2);

$$ACH = \frac{Q \times 60}{V} \quad (3.2)$$

kullanılmaktadır. Denkleme göre;

$V \text{ (m}^3\text{)} = \text{hacim}$

$Q \text{ (m}^3 \text{ / dakika)} = \text{mekana sağlanan hava debisi}$

şeklindedir. Q değeri Denklem (3.3)' deki gibi;

$$Q = (Rp \times \text{kişi sayısı}) + (Ra \times \text{alan}) \quad (3.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Denklem göre;

$Rp = \text{kişi başına hava değişim oranı (cfm/kişi)}$

$Ra = \text{alan başına hava değişim oranı (cfm/ft}^2\text{)}$

şeklindedir. ASHRAE 62.1 2019 standardına göre kapalı alanlardaki ACH değeri hesabı, alanın kullanım amacına göre değişmektedir. Tren garı bekleme salonun yer aldığı

kategori dikkate alındığında, bu alanlar için Denklem (3.2) ile yapılan hesaplamada yaklaşık 1,3 ACH değerine ulaşılmaktadır (ASHRAE, 2019). ACH değeri, havalandırma performansına dair fikir verse de, tren garı gibi yoğun insan trafiği olan ve farklı yüksekliklere sahip alanlarda tek başına yeterli bir değerlendirme yöntemi değildir. Enfeksiyon bulaşma riski mekânın farklı bölgelerinde değişiklik gösterebileceğinden, bu tür büyük ve karmaşık alanların bölümleri yerel olarak ele alınmalı ve ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

Yapılan çıkarımlar doğrultusunda, literatürden farklı olarak bu çalışmada, salonda konumlandırılan çok sayıda referans noktada, virüse maruz kalma süresini gösteren hava yaşı, virüs yükünü seyreltme potansiyeli olan hava hızı parametrelerinin bütüncül şekilde ele alınması hedeflemiştir. Bu parametreler ile birlikte, yetersiz havalandırmanın ve insan sayısının bir göstergesi olması sebebiyle CO₂ miktarı, asılı virüs yükünün artmasını tetiklediği için PM miktarı ele alınmıştır. Hava yaşı, hava hızı, CO₂ ve PM parametrelerinin tümü, bir arada olmak üzere ölçüm, gözlem ve simülasyona dayalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Chatzidiakou ve diğ. (2015) ile Yang ve diğ.' ninkine (2021) benzer çalışmalarda, mekanın ortasına yerleştirilen bir referans noktadaki değişimlere göre iç hava kalitesi veya bulaş riski yorumlanması, büyük hacimlerde gerçekçi sonuçlara ulaşılmasını engellemektedir (Chatzidiakou ve diğ., 2015; Yang ve diğ., 2021). Özellikle İzmit Tren Garı gibi geniş ve yüksek hacimlerde hava, mekanın ayrı kısımlarında farklı dağılımlar gösterir ve buna bağlı olarak bulaş riski yatay ve düşey düzlemde değişir. Bu sebeple hava dağılımının CFD simülasyon çıktıları olan hava yaşı ve hava hızı haritaları ile yorumlanması, kısımların bulaş riskinin buna bağlı olarak değerlendirilmesi önem taşır. Bu bağlamda çalışmada, gar hacmindeki bulaş riski, garın bekleme salonu kullanım alanı içinde ve solunum bölgesinde yer alan hem alt hem de üst kotlardaki (ayakta ve oturan durum) referans noktaların simülasyon ve ölçüm sonuçları ile birlikte ele alınmıştır.

CFD simülasyonunun gerçekleştirildiği DesignBuilder programında, bulaş riskinin değerlendirilmesinde kullanılacak iç mekandaki CO₂ ve PM dağılımları tanımlanamamaktadır. Simülasyondan elde edilemeyen parametreler için yerinde ölçümler yapılmıştır. Bazı yerinde ölçüm yapan çalışmalarda, kullanıcılar olmadan iç mekana CO₂ gazı salınmış ve dağıtılmış, havalandırmanın mekandaki bulaş riskine etkisi

CO₂' nin değişimi üzerinden hesaplanmıştır (Park ve diğ., 2021; Vignolo ve diğ., 2022). Fakat çalışmanın bu şekilde yürütülmesi mevcut koşulları tam olarak yansıtmamaktadır. İ mekandaki CO₂ havalandırma ile azaltılabilir olsa da, kullanıcılar solunum yapmaya devam ettiği için bir yandan sürekli ve tahmin edilemeyecek miktarlarda artar. Ayrıca bu yöntem ancak küçük mekanlar için kullanılabilir. Kullanıcılar olmasa dahi, bu yöntemin gar bekleme salonunda kullanılması uygun değildir. Gar binası çok aıklıklıdır ve bu durum mekanlar arasında ve dışarıdan giren CO₂' nin bekleme salonuna sızmasına sebep olur. Ayrıca farklı yüksekliklerde olan tavan kotu havanın konveksiyon yoluyla hareketine sebep olduğu için CO₂, mekan içinde olmasına rağmen ölçüm cihazlarından yüksekte olabileceğinden sonuçları yanıltabilir. Dolayısıyla gerek deneysel gerek simülasyon yöntemlerinde kullanıcı sayısının ve bu sayının saatlere göre değişiminin dahil edilmesi, mevcut durum doğruluğu için gereklidir. Bu amaçla, CO₂ ve PM parametreleri ile birlikte hava hızı değerleri, simülasyon kalibrasyonunu sağlamak amacıyla ölçülmüştür. Ölçülen hava hızı değerleri ile DesignBuilder CFD simülasyonları sonucunda elde edilen hava hızı değerlerinin kalibrasyonu sağlanana kadar simülasyonların tekrarlanması ile mevcut durum simülasyonun oluşturulması ve bu sayede risk durumunun gerçeğe en yakın şekilde aktarılmasına yönelik bir metot oluşturulmuştur.

Bulaş riskinin azaltılmasında havalandırma performansını arttırmayı hedefleyen çalışmalarda mekanik yöntemi ele alanların sayısı pasif yöntemi ele alanlara göre daha fazladır. Dolayısıyla bu çalışmanın sonunda gar bekleme salonu için pasif yöntemlerle bulaş riskini azaltmaya yönelik doğal havalandırma ve infiltrasyon önerilerinde, tren saatleri, kullanıcı yoğunluğu yolcu ve refakatçi sirkülasyonu, kapı ve pencere açıklık durumlarının göz önünde bulundurulması ve bu bağlamda uygulanabilir çözümler sunulmuştur.

Literatür tarama sonucunda bulaş riskine etkiyen hava yaşı, hava hızı, CO₂ ve PM parametrelerinin tespit edilmiş olmasının yanı sıra bunlar ile birlikte, biyolojik ve fizyolojik bazı faktörler de enfeksiyon riskini etkilemektedir. Sağlıklı bir kişinin enfeksiyon kapma ihtimali, kişinin önceden geçirdiği enfeksiyonlara, kronik hastalıklarına, cinsiyetine ve yaşına bağlıdır. Enfeksiyona sebep olan patojenin de bir canlı organizma olmasından kaynaklı, bulaş performansı patojenin biyolojik

mekanizmalarına bağlı olarak da değişir (Alibadi ve diğ.,2011). Aynı zamanda çalışma kapsamında ele alınan patojen yayılımını ele alan hava parametrelerine dair değerlerin ölümü sırasında yaşanabilecek ortam koşulları, ölüm zaman aralığı sonuç değerlerinde değişiklik yaratabilir. Olduğa zor olmasına rağmen patojen sayısının tam olarak bilinmesi durumunda, sıklıkla kullanılan bir model olan Wells-Riley yönteminde dahi, virüsün mekan hacminde tamamen karıştığı varsayılmaktadır (Jimenez ve diğ., 2020). Sonuç olarak, matematiksel, bilgisayar temelli veya yerinde ölüm tekniklerinden hiçbirinin tüm bu faktörleri birlikte hesaplayamadığı bilinmektedir. Bu bağlamda bu tez çalışmasında da, virüsün enfekte ediciliği sınırlı parametreler ile incelenmiştir. Yapılan ölümler ve simülasyon değerlerine bağlı olarak oluşturulan bulaş risk değerlendirmesi, yaklaşık olarak belirlenmiş olup bir tahmin yöntemidir.

Sonuç olarak, literatürde kısıtlı bir alanda yer alan gar binalarını temsilen, aktif olarak kullanılan kapalı bir kamusal yapı olan İzmit Tren Garı, alışma alanı olarak seçilmiştir. Garın yolcular tarafından kullanılan bekleme salonunda bulaş riskinin tespiti için, iç hava parametreleri olan CO₂, PM, hava hızı ve yaşının, solunum bölgelerinde farklı kotlarda yer alan referans noktalarda birlikte değerlendirildiği alternatif bir metot oluşturulmuştur.

4. İZMİT TREN GARI' NDA BULAŞ RİSKİNİN TESPİTİ VE AZALTILMASI ÖNERİLERİN GELİŞTİRİLMESİNDE İZLENECEK YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde, İzmit Tren Garı' nda bulaş riskinin tespit edilmesi öncesindeki veri toplama ve analiz, ölçüm, simülasyon ve bulaş riskinin belirlenmesi aşamaları anlatılmıştır. Bölümün ilk başlığında gar yapısının konumlandığı alanın etkisi altında olduğu iklimsel ve fiziksel koşullara yönelik bilgiler, Covid-19 pandemisinin garın bulunduğu bölgedeki yansımaları, garın olası bir salgın halindeki stratejik önemi aktarılmıştır.

Bölümün ikinci başlığı, bulaş riskinin incelendiği gar yapısında yapılan ölçüm aşamalarını anlatmaktadır. Bu bölümün ilk alt başlığında, öncelikle garda yapılan gözlemler ve gar yönetiminden edinilen veriler, bu verilerin analizi sunulmuştur. Garın mekan organizasyonu ve fonksiyon şeması, açıklıkların kullanımı, tren seferlerine bağlı olarak yoğunluğun olduğu saatlerin tespit edilmesi, insan dolaşım güzergahlarının belirlenmesi ve tüm bunlara bağlı olarak referans noktaların yerleştirilmesi bu alt başlıkta detaylandırılmıştır. Bölümün ikinci alt başlığı referans noktalarda gerçekleştirilen ölçüm sürecini aktarmaktadır.

Bölümün üçüncü başlığı, mevcut durum simülasyon aşamalarını anlatmaktadır. Alt başlıklar halinde, garın DesignBuilder programında oluşturulan sanal modeli üzerinden yapılan CFD simülasyonları için gerekli girdiler, mevcut durum simülasyonunun kalibrasyonu, referans noktaların bulaş riskinin tespitinde kullanılan normalizasyon yönteminin tanıtımı konuları anlatılmıştır.

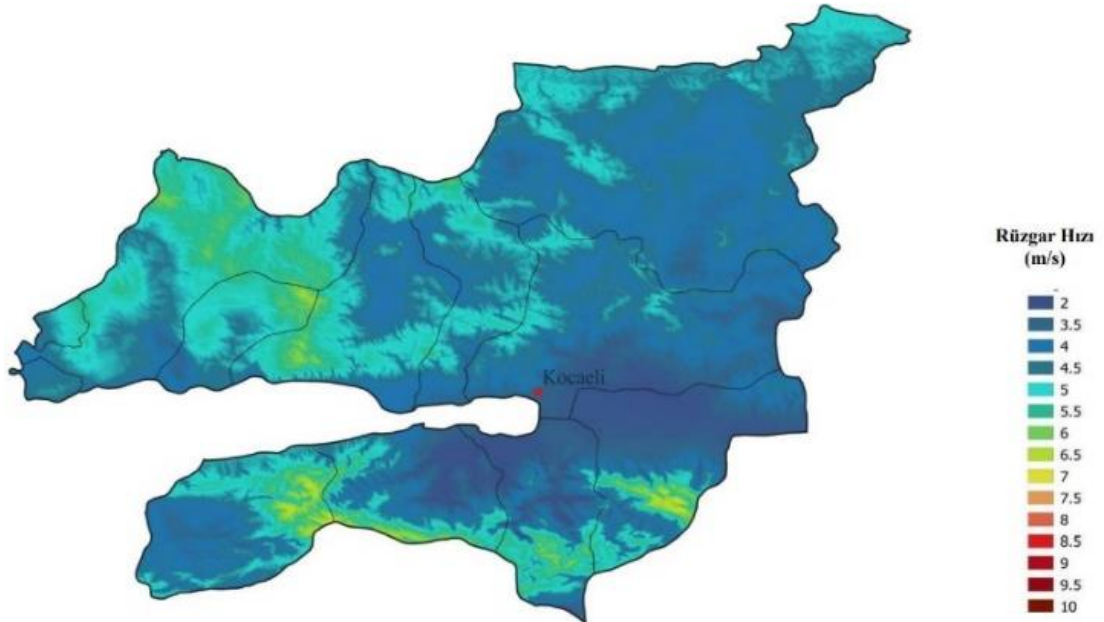
4.1. Çalışma Alanı

Kocaeli ili Marmara Bölgesi içinde, 29° 22' ve 30° 21' doğu boylamı, 40° 31' ve 41° 13' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. İlin, Marmara Denizi ve Karedeniz' de kıyısı bulunmaktadır. Merkez ilçesi olan İzmit ise Marmara Denizi içinde bulunan İzmit Körfezi çevresinde bulunmaktadır. İzmit Körfezi ve Karadeniz kıyılarında ılıman bir iklim yaşanırken yüksek rakımlarda iklim sertleşir. İlin geleneksel iklim verilerine göre en düşük sıcaklık ortalamasına sahip ay Ocak, en yüksek ay Ağustos olup ilin yıllık sıcaklık ortalaması ise 14,9°' dir (URL-9). Bununla birlikte Dünya genelinde son yıllarda artan

küresel ısınma etkileri iklim kalıplarında görülmemiş değişikliklerin yaşanmasına, bazı iklim olaylarının daha sert ve sık gerçekleşmesine sebep olmaktadır. İklim değişikliği kaynaklı ısı dalgalanmaları, geleneksel ısınma ve soğutma dönemlerinin genişlemesine veya daralmasına sebep olmaktadır. Bu bağlamda, aylara yönelik ısıtma ve soğutma verileri gözden geçirilirken, Tablo 4.1’ de gösterilen ildeki son 3 yıllık HDD (heating design days) ve CDD (cooling design days) verilerinin ortalaması dikkate alınmıştır. Son 3 yılın HDD değerlerine göre Eylül ile Mayıs aralığı ısıtma, Mayıs ile Eylül aralığı ise soğutma dönemidir. HDD değeri en yüksek olan Mart ayı aynı zamanda sıcaklığın 15 °C’ nin altında olduğu gün sayısının en fazla olduğu aydır (URL-15).

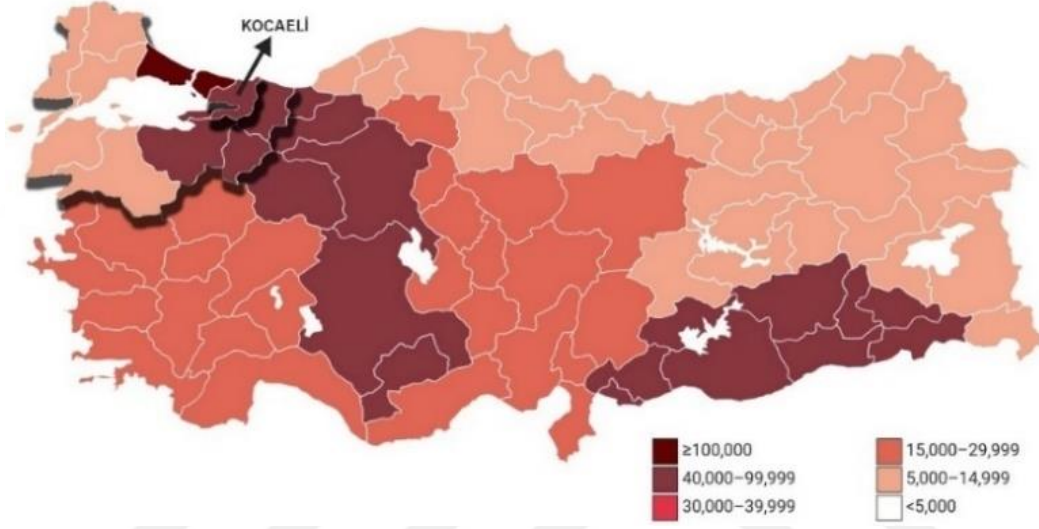
Tablo 4. 1. Kocaeli’ nin 2021, 2022, 2023 yıllarına ait ısıtma-soğutma verileri ortalamaları (URL-15)

Son 3 yıl (2023,2022,2021)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Isıtma Gün Sayısı	266	273	303	120	33	2			3	20	106	191	1.317
T≤15 °C	27	25	29	18	8	1			1	5	18	25	156
CDD					8	28	107	136	30	2			312
T≤22 °C					4	17	29	31	13	1	1		97

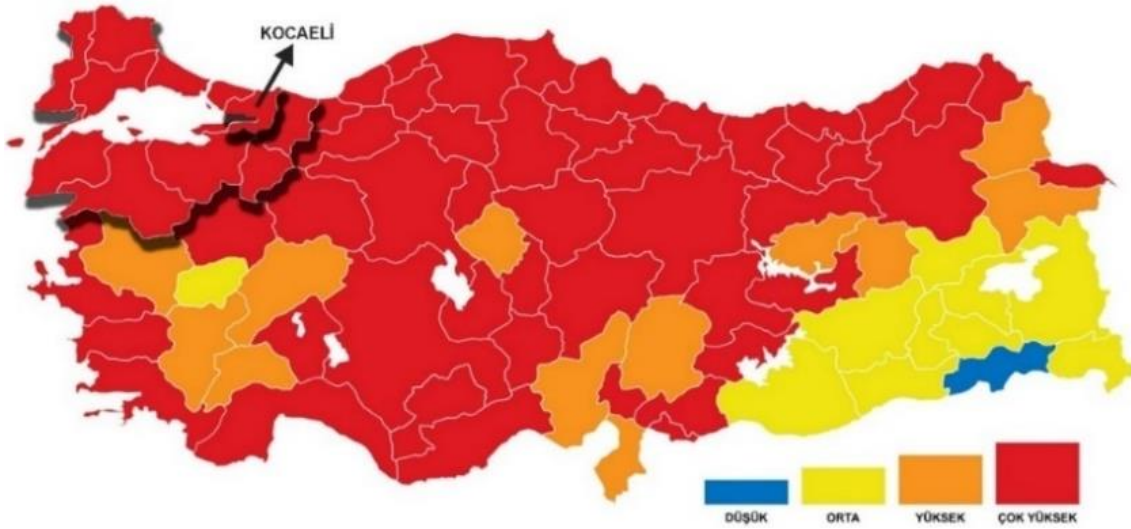


Şekil 4. 1. Kocaeli rüzgar hızı haritası (URL-10)

İl genelindeki rüzgar hızı, maksimum 6,7 m/s, minimum 2,2 m/s olarak ölçülmüştür ve coğrafyaya göre rüzgar dağılımı Şekil 4.1’ de görülmektedir (URL-10). Kocaeli’ de kış mevsiminde kuzey ve kuzeydoğudan esen rüzgar, iklimin sertleşmesine sebep olur. Yaz aylarında ise hakim rüzgâr yönü kuzeydoğudur ve bu dönemde rüzgâr sıcaklıkları dengeleyerek iklimi ılımanlaştırır (URL-8). Kocaeli’ de, hakim rüzgarın olduğu kuzey ve kuzeydoğu yönünde yer alan bina cephelerinde hava akımlarının basıncı daha fazladır.



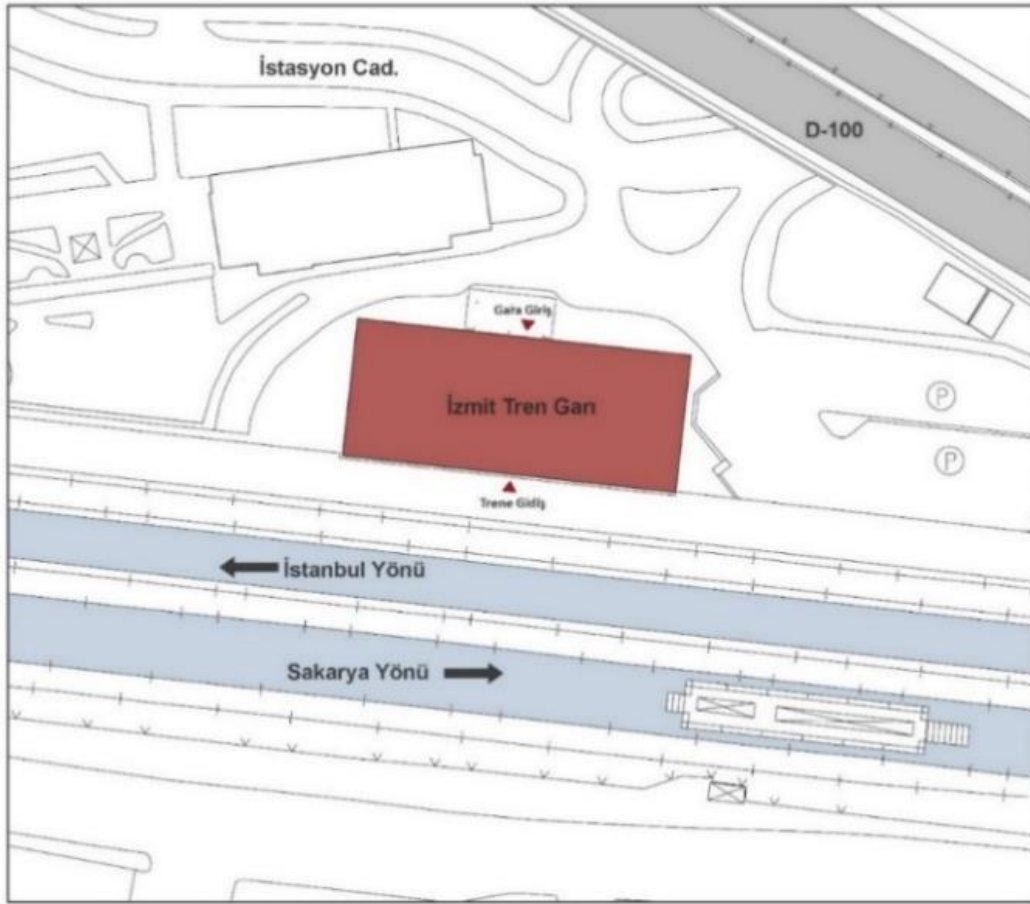
Şekil 4. 2. 2.12.2020 tarihine kadar görülen vaka sayıları - salgının 1. yılı (URL-12)



Şekil 4. 3. 20.03.2021 – 26.03.2021 tarihleri arasındaki Türkiye salgın risk haritası - salgının 2. yılı (URL-12)

Kocaeli ve sınırlarındaki illerin yer aldığı Marmara Bölgesi Türkiye’ nin en yoğun nüfuslu bölgesidir. Bölgedeki büyükşehirlerde insan yoğunluğu fazla olup, bu yoğunluğun büyük bir bölümü kentleşmiş kısımlarda ikamet etmektedir. Gündelik hayat

pratiklerine katılımının fazlalığı nedeniyle kentliler sürekli temas halindedir. Ayrıca kentlerin kendi aralarında etkileşimi de iş, eğitim gibi sebepler dolayısıyla fazladır. Bu yoğun insan trafiği sebebiyle, yakın zamanda geçirilmiş Covid-19 pandemisi, bu bölgede hızla yayılmış ve vaka sayıları artmıştır (URL-11). Türkiye’ de pandemi etkisini en şiddetli hisseden bölge Marmara bölgesi olmuştur (Şekil 4.2). Virüsün yayılım performansı, metropol şehirlerde kırsalda kalan şehirlere göre daha yüksektir. Kocaeli de, hem çevresindeki metropol kentlere yakınlığı hem de çalışan hareketli nüfusa sahip olması sebebiyle, Covid-19 salgınında, en riskli iller arasında yer almıştır (Velraj ve Haghighat, 2020). Pandemide Kocaeli, vaka sayısının en fazla görüldüğü iller içinde ve çok riskli olarak rapor edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4. 4. İzmit Tren Garı vaziyet planı, TCDD (2021)’ den uyarlanmıştır

İzmit, Kocaeli’ nin merkezinde yer alan, idari, sanayi, ticaret, sosyal ve kültürel olanakların yoğun olduğu bir ilçedir. Aynı zamanda ilin, en kalabalık ikinci ilçesidir. İlçede konut bölgeleri, araç ve insan trafiği yoğundur. Diğer ilçelere ulaşımın sağlandığı otobüs hatlarının, iller arası otoyolun geçtiği, İzmit Otogarı’ nın ve İzmit Tren Garı’ nın

bulunması sebebiyle gün içinde birçok insan ilçeye uğramaktadır. İzmit’ teki ulaşım binalarından biri olan İzmit Tren Garı, Kocaeli ve çevresindeki illere ulaşım sağlayan çift hatlı hızlı trenin duraklarından biridir (Şekil 4.4). Gardan çevre illere günde yaklaşık 45 sefer yapılmaktadır ve gar 24 saat hizmet vermektedir.

4.2. İzmit Tren Garı’nda Covid-19 Bulaş Riski Oluşturan Parametrelerin Ölçümü Aşamaları

Gar binasını trenlere binen insanlar, gün içinde aktif olarak kullanmaktadır. Farklı illerden gelen yolcular kapalı mekan olan gar içindeki bekleme salonunda vakit geçirmektedir. Bekleme salonunda ise, gün içinde belli saatlerde insan sayısı artmaktadır. Özellikle akşam saatlerindeki tren seferleri öncesinde salon kalabalıklaşmaktadır. Salonun kullanımı sebebiyle insanlar homojen şekilde dağılmamaktadır. Bilet kontrolünün yapıldığı kısım ve devamındaki kuyrukta, oturma bölgesinde daha fazla sayıda ve yakın temas halinde insan yer almaktadır. Bu mevcut durumda, gar binası gerekli önlemler alınmadığında hava yoluyla bulaşan bir virüsün insanları enfekte ederek vaka sayısının artması için elverişlidir. Gara gelen yolcu trenini beklerken, bulunduğu kapalı mekanın havasında hastalık yapıcı patojenlerin bulunması ve yolcunun bu havayı soluması enfeksiyon riskini oluşturur. Enfeksiyonun gerçekleşmesi halinde vaka olarak tanımlanacak olan yolcu, bu andan itibaren etrafındaki insanlar için tehdit unsurudur. Bu tehdit, garda enfekte olan vaka sayısının artması ile Kocaeli ve çevre illeri de kapsayarak büyür. Oluşabilecek bu durumun azaltılması veya ortadan kaldırılması garın iç mekan havasındaki patojen yükünün ve yayılımının azaltılması ile mümkündür. Havada asılı patojen yükü, insan yoğunluğuna, enfekte insan sayısına, patojenin biyolojik özelliklerine, hava koşullarına, partikül madde yoğunluğuna ve iç mekandaki havalandırma performansına bağlıdır (Peng ve Jimenez, 2021; Yan ve diğ., 2020; WHO, 2021; Wu ve diğ., 2020). Sıralanan etkenler içinde dışarıdan müdahale edilebilir olan yalnızca mekandaki havalandırma performansıdır. Gardaki kalabalığın engellenmesi için tren sefer sayılarının azaltılması yoluna gidilebilir. Fakat bu durumda, iller arası ulaşım aksayabilir. Çünkü günlük hayatta, Kocaeli ve çevre iller halkları için hızlı tren, çoğu durumda birincil hatta bazı durumlarda tek ulaşım seçeneğidir.

Enfekte insan sayısı, Covid-19 pandemisinde örneklerini gördüğümüz üzere bina girişlerinde yapılabilecek, ateş ölçümü ve PCR (Polymerase Chain Reaction) testi gibi

bazı uygulamalar ile doğru saptanamamaktadır. Özellikle tren garı gibi hızlı işleyen mekanlarda bu tespit daha zordur (Dollard, 2020). Ayrıca Covid-19 gibi bazı patojenler kuluçka sürelerinde herhangi bir belirti göstermeden insan vücudunda yaşayabilmektedir (URL-13). Hastalar belirti göstermeyince, bu bireyleri sağlıklı olanlardan ayırmak oldukça zordur (Shen ve diğ., 2020). Garın risk durumunun azaltılması için yapılabilecek olan, iç mekandaki havalandırma performansının artırılması yoluyla, patojen yüklü havanın belli bölgelerde birikmesinin önlenmesi, kirli havanın bina dışına atılması ve temiz hava girişinin sağlanmasıdır. Bölümün devamında, bulaş riskinin belirlenmesi adına gerçekleştirilen ölçüm ve simülasyon aşamaları için bilgilerin toplanması ve yapılan gözlemler aktarılmıştır.

4.2.1. Veri Toplama ve Analiz

İzmit Tren Garı, kullanıcıları gar personelleri, yolcular ve yolcu refakatçilerinden oluşan 2 katlı bir ulaşım yapısıdır. Binanın zemin katı brüt 1.120 m², 1. Katı ise 1.105 m² olup binada zemin kattaki kapalı giriş kısmı dışında herhangi bir çıkma bulunmamaktadır (Şekil 4.5-a). Binanın zemin katındaki en büyük bölüm olan bekleme salonu net 496 m²' dir. Bu salon, çoğunlukla yolcuların, refakatçilerin ve gar personellerinin kullandığı bölümdür (Şekil 4.5-b). Gara giren yolcular en fazla burada vakit geçirmektedirler. Yolcular tren saatini beklerken, garın raylara bakan cephesi önünde veya bu salonda beklemektedirler. Isıtma döneminde ise gar kullanıcılarının çoğu kapalı alan olan bekleme salonunu kullanmaktadırlar. Yolcuların gara girişi tek bir yönden sağlanır ve bu giriş direkt bekleme salonuna yönelir. Bekleme salonunda giriş ve tuvaletlere giden koridorun olduğu kısmın yüksekliği 3 metre iken oturma bölümünün yüksekliği, bu kısmın üstünde galeri boşluğu olması sebebiyle, 6,2 metredir. Bekleme salonunda, girişte güvenlik kontrollerinin yapıldığı kısım, bekleyen yolcuların dinlenmesi için bulunan koltuklu oturma bölümü ve trenlere giden kapının önünde yer alan bilet kontrol kısmı yer almaktadır. Gara girişi yanındaki hol, yolculara ait tuvaletlere, depo odasına ve misafirhaneye çıkan merdivene yönlendirmektedir. Yolcular, holü yalnızca tuvaletlere ulaşmak için kullanırlar. Hole bakan yolcu tuvaletlerinin kapısı, yolcuların giriş-çıkış yaptığı anlar haricinde kapalı, hole bakan depoların kapısı ise tamamen kapalı tutulmaktadır. Bekleme salonun doğu ve batısında yer alan dükkanlar, yolcuların kullanımı için müsaittir ve Şekil 4.5-c' de görülen dükkanların kapıları 08:00 - 22:00

saatleri arasında açıktır. Bekleme salonunun batısında ve kuzeyinde, yalnızca gar personellerinin kullandığı yönetim birimleri bulunmaktadır. Yönetim birimlerinde personel odaları, personel tuvaletleri, müdür odası, toplantı odası, mutfak, depolar ve danışma yer almaktadır. Yönetim birimlerinin kapısı, gün içinde çoğunlukla kapalı, çalışma saatleri dışında ise tamamen kapalıdır. Yönetim birimleri, gar personellerine ait olduğundan, gün içinde 08:00 – 17:00 saatleri arasında kullanılmaktadır. Bununla birlikte danışma kısmı 7 gün 24 saat gar personelleri tarafından vardiyalı olarak kullanılmaktadır. Danışma bölümünün bekleme salonuna bakan duvarında yerden 1,2 metre yüksekliğinden itibaren cam bölüm bulunmaktadır ve bu bölümün yüksekliği 1 metredir. Bu kısımda camın arkasında kalan gar personelleri, Şekil 4.5-b' daki gibi camın önünde bekleyen yolculara bilgi vermektedirler. Bekleme salonun doğu tarafında bir adet dükkan, erkek ve kadın mescit, depo ve personel odası yer almaktadır. Mescitler ve depo sık kullanılmamaktadır ve kapıları çoğunlukla kapalıdır. Personel odası ise odaya giriş-çıkış haricinde kapısı kapalı şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 4. 5. İzmit Tren Garı: (a) Dışardan fotoğraf, (b) Zemin kat oturma alanı ve danışma bölümü, (c) 22:00' da kapanan dükkan kapıları, (d) 1. kat ofis kapıları

Gar binasının 1. Katı, yolcular tarafından kullanılmadığı için bu katta personelin çalışma saatleri dışında kullanıcı yoktur. Dolayısıyla 1. Kat, çalışma saatleri dışında kullanılmamaktadır. 1. katta galeri boşluğuna bakan uzun bir koridor bulunmaktadır (Şekil 4.5-d). Yönetim birimine ait personel odaları, kadın ve erkek tuvaleti ve depolara bu koridor ile giriş sağlanmaktadır. Bu odaların kapısı, personeller tarafından çoğunlukla kapalı tutulmaktadır. Şekil 4.16' daki plana göre doğuda kalan bölüm misafirhane bölümüdür. Misafirhane kısmına yalnızca zemin katta bulunan merdiven ile ulaşılmaktadır. Misafirhane, yılın belli dönemlerinde farklı illerden gelen gar personellerinin kullanımına ayrılmıştır. Bu bölüm çoğunlukla tamamen kapalı durumdadır ve ısıtma, soğutma, iklimlendirme gerçekleştirilmemektedir.

Alt ve üst katlardaki yönetim biriminde yer alan personel odalarında radyatör ve duvar tipi split klimaları vardır. Bekleme salonu ise, 8'i garın güney cephesinde yer alan 10 adet radyatör ile ısıtılmakta, 4 adet ayaklı salon tipi split klima ve doğal havalandırma yoluyla soğutulmaktadır. Bekleme salonuna en yüksek miktardaki hava girişi, gar giriş kapısı ve raylara gidiş kapısının açılması sırasında pasif yolla gerçekleşmektedir. Zemin katta, bu giriş – çıkış kapılarının karşılıklı cephelerde yer alması, çapraz havalandırma sağlamaktadır. Bunun dışında salon, zemin katta yer alan 5,45 metre eninde ve 2,35 metre yüksekliğinde 6 bölmeli 3 adet doğramanın, tek açılır bölmesi olan vasistas kanadının açılması ile havalandırılmaktadır. Pencerelerin yer aldığı cephe tren raylarına baktığı için, yolcuların güvenliği sebebiyle cephede açılabilir vasistas pencereler yer almaktadır. Zemin kat açılır pencereler, yaz döneminde öğleden önce açılmakta, akşam saatlerine kadar kapatılmamaktadır. Kış döneminde ise bu pencereler, öğle saatlerinde yaklaşık bir saat açık bırakılarak, bekleme salonu havalandırılmaktadır. 1. Katta zemin kat ile aynı hızda ve boyutta yer alan pencereler ise sabittir. Aşağıdaki Tablo 4.2' de bekleme salonu açıklıklarının gün içindeki kullanımı gösterilmiştir.

Kış döneminde bekleme salonunda pencerelerin ve kapıların açılması yoluyla sağlanan doğal havalandırma, öngörüldüğü üzere sıcaklık seviyesinin düşmemesi ve buna bağlı olarak ısıtma yükünün artmaması sebebiyle yaz dönemine göre daha azdır. Bununla birlikte, garın raylara bakan kısmında yer alan dış ortamdaki bekleme alanları yaz döneminde tercih edilirken, kış döneminde yolcuların çoğunluğu bina içindeki bekleme salonunu tercih etmektedirler.

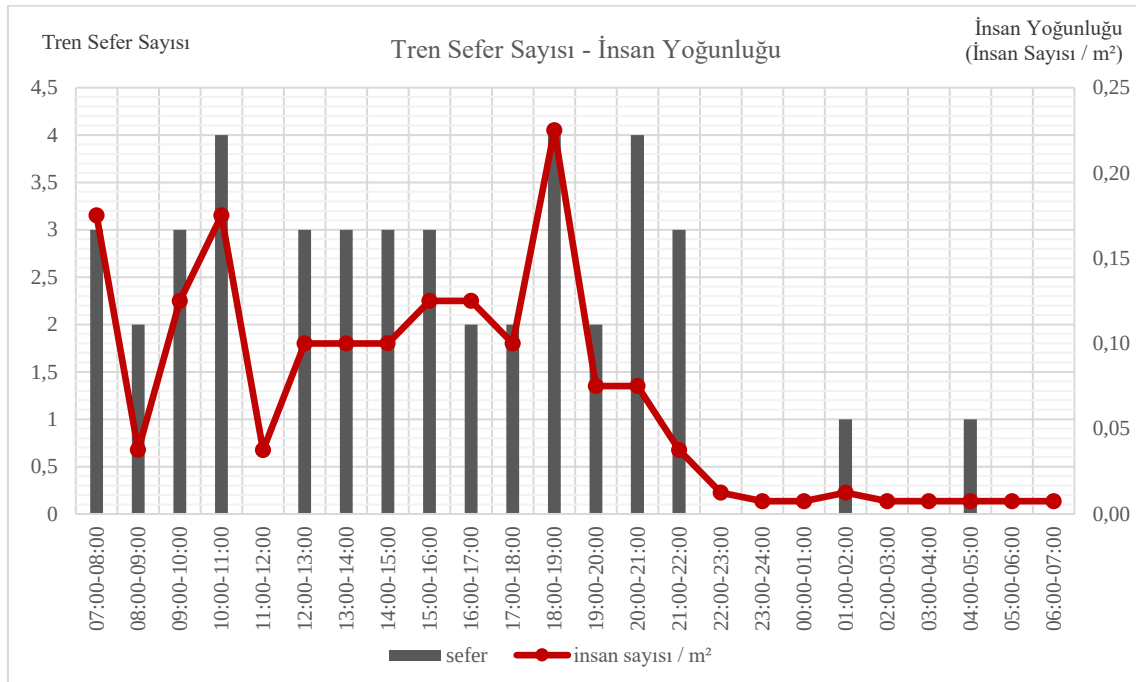
Tablo 4. 2. Gar bekleme alanı açıklıklarının gün içindeki kullanımı

	Gün İçinde Açık	Çoğunlukla Açık	Belli Aralıklarda Açık	Çoğunlukla Kapatılı	Gün İçinde Kapatılı
P1					✓
K1			✓		
P2					✓
P3					✓
K2		✓			
P4					✓
P5			✓		
P6			✓		
P7			✓		
P8					✓
K3		✓			
P9					✓
P10					✓
K4			✓		
P11					✓
K5					✓
K6				✓	
K7	✓				
K8	✓				
K9				✓	
K10					✓
K11					✓
K12				✓	
K13					✓
K14					✓
K15				✓	
K16				✓	

	Gün İçinde Açık	Çoğunlukla Açık	Belli Aralıklarda Açık	Çoğunlukla Kapatılı	Gün İçinde Kapatılı
K17					✓
K18				✓	
K19					✓
K20					✓
K21					✓
K22				✓	
K23				✓	
K24	✓				
K25				✓	
K26				✓	
K27				✓	
K28					✓
K29					✓
K30					✓
K31					✓
K32					✓
K33				✓	
K34				✓	
K35				✓	
K36				✓	
K37				✓	
P12					✓
P13					✓
P14					✓
P15					✓
P16					✓

Isıtma dönemi, hem insan sayısının fazlalığı hem de havalandırmanın yetersizliği gerekçeleriyle herhangi bir hava yoluyla yayılan patojenin bulaşması için en riskli dönem olarak öne çıkmıştır. Bu bağlamda ölçüm aralığı, 6 Mart ve 10 Mart tarihleri olarak seçilmiştir. Tarih aralığının belirlenmesinde, son 3 yılın verilerine göre HDD değeri en yüksek ay içinde yer alması ve tatil aralığı olan dini bayram öncesinde olması etkili olmuştur. Aynı zamanda tren kullanıcılarının büyük kısmını öğrenciler oluşturduğundan, ara tatile denk gelmeyecek şekilde bahar dönemi başlangıcındaki zaman aralığı tercih

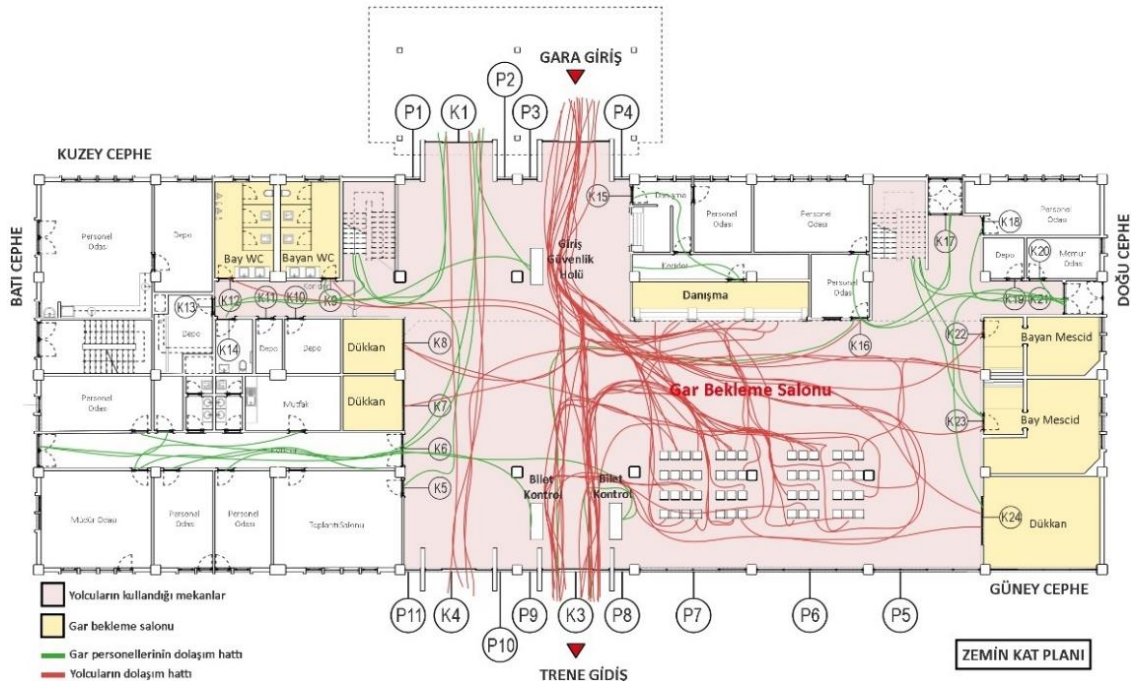
edilmiştir. Bekleme salonu kullanım yoğunluğunun hafta içi ve hafta sonundaki değişimleri gözlemlemek amacıyla ölçümler, çarşamba ve pazar aralığındaki 5 günde gerçekleştirilmiştir. Seçilen tarih aralığında bekleme salonundaki insan yoğunluğu gara uğrayan trenlerin sefer saatlerine göre gün içinde belli saatlerde artarken belli saatlerde azalmaktadır. Tren seferleri ise, yaz ve kış döneminde farklılık göstermektedir. Ölçüm yapılacağı dönem olan kış mevsimine ait tren seferleri ve insan sayısı bilgileri gar yönetiminden temin edilmiş olup sefer sayısı ve yoğunluğa (insan sayısı / m²) ait değerler aşağıdaki grafikte işlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6. Tren sefer sayısı ve insan yoğunluğu grafiği

Bekleme salonundaki bulaş riskinin belirlenmesinde, hacmin yüksek ve geniş olmasından kaynaklı, iç hava parametreleri olarak CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı ve hava yaşı değerlerinin ortalamasının alınması istenilen sonucu vermeyecektir. Hacimdeki hava akımları, gar havasının homojen dağılmasını engeller. Kirli ve virüs dolu hava kütleleri hava akımları vasıtasıyla yer değiştirebilir, birleşip büyüyebilir. Aynı zamanda bekleme salonun her noktasında benzer yoğunluk oluşmamaktadır. Bazı bölgeler insanlar tarafından daha çok tercih edilmekte, bazı bölgelere ise insanların uğraması gerekmemektedir. Bu sebeple, ölçülmesi hedeflenen CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı değerleri, garın farklı noktalarında farklı değerlerde olmaktadır. Literatür taramada bahsi geçen kaynakların bazılarında olduğu gibi mekanın ortasındaki bir referans noktada

ölçümlerin yapılması veya gardaki ortalama değerlerin bulunması bulaş riskinin belirlenmesinde gerçekçi sonuçlar sunmamaktadır (Yang ve diğ., 2021; Chatzidiakou ve diğ., 2015). Bekleme alanındaki bulaş riski bölgeden bölgeye farklılık göstereceği için, insanların sirkülasyon ağının gözlenmesi ve bu kullanım ağı içinde insanların sıklıkla bulunduğu kısımlarda ölçüm ve simülasyonlardaki değişimleri gözlemlemek için referans noktalar belirlenmelidir. Bu sebeple çalışma kapsamında, farklı zamanlarda yapılan gözlemlerle, garın kullanımı ve oluşan kalabalık izlenmiş, sayılmış, insanların nerelerde yoğunlaştığına ve hangi davranışları tekrarladıklarına bakılmış, kullanıcıların dolaşım hatları belirlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4. 7. İzmit Tren Garı kullanıcılarının dolaşım hatları

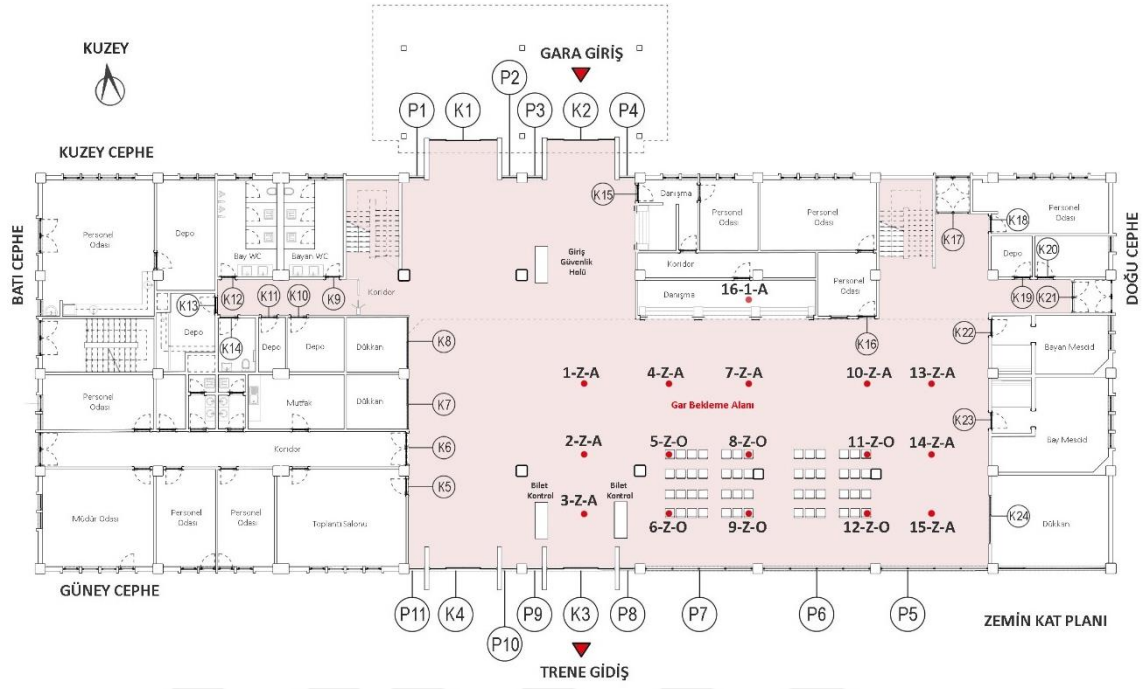
Gara giren kullanıcı öncelikle gar giriş kapısı önündeki X-Ray cihazından eşyalarını geçirmekte ve kendisi de X-Ray takından geçerek güvenlik kontrollerini tamamlamaktadır (Şekil 4.8-a). Güvenlik holünde, yolcular beklememekte ve direkt olarak salona geçmektedirler. Tren saati yaklaşan yolcu, trene binebilmek için salonun raylara çıkan kapısının önünde yer alan bilet kontrol kısmından geçmek zorundadır (Şekil 4.8-b). Bilet kontrol kısmında karşılıklı iki masa yer almaktadır. Masa başlarında kontrol yapan personeller, bekleyen yolcuların sırayla kimlik ve bilet bilgilerini kontrol etmektedirler. Kontrol sırası, yolcunun bilet bilgilerini aktarması, personelin sistemden bakması, yolcu sayısının fazlalığı, yolcuların çoğunun aynı zaman diliminde bilet kontrol

kuyruğuna girmesi sebepleri ile uzayabilmektedir. Yolcu kuyruğu, özellikle tren sefer saati yaklaştığında bilet kontrol masasının önünden başlayarak danışmanın önüne doğru L şeklinde uzamaktadır (Şekil 4.8-c).

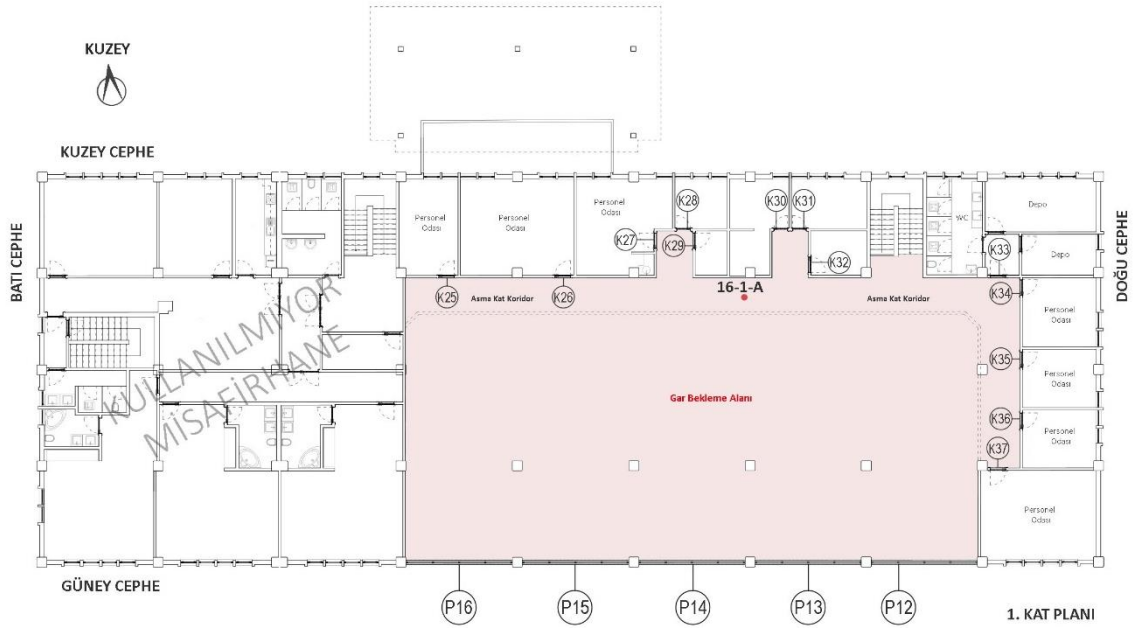


Şekil 4. 8. İzmit Tren Garı içeriden fotoğraflar: (a) Gara giriş kapısı, (b) Gardan çıkış kapısı – raylara gidiş kapısı, (c) L şeklinde uzayan bilet kontrol sırası, (d) 1. kat galeri boşluğu

Yolcuların bekleme salonunda bazı bölgeleri daha yoğun kullandığı gözlemlenmiştir. Bekleme salonuna giren yolcular çoğunlukla oturma bölümüne yönelmektedir. Oturma bölümünde özellikle danışmaya, bilet kontrol sırasına ve pencere önüne yakın koltukların tercih edildiği görülmüştür. Bu kısım ile birlikte bilet kontrol sırası ve danışma önü sık kullanılması sebebiyle yoğunluğun arttığı alanlardır. Yolcular dükkanların önünde beklememekte, alış-verişlerini tamamladıktan sonra tekrar salonun ortasına doğru hareket etmektedirler. Tuvaletlerin nadiren kullanıldığı gözlemlenmiş olup mescitlerin ve 1. Kat galeri boşluğu koridorunun kullanımına rastlanmamıştır (Şekil 4.8-d).



Şekil 4. 9. İzmit Tren Garı zemin kat planı ve referans noktalar



Şekil 4. 10. İzmit Tren Garı 1. kat planı ve referans noktalar

Yapılan gözlemler doğrultusunda, yolcuların kullanım ağında yer alan oturma ve ayakta durum için 2 ayrı kotta toplam 16 referans nokta, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Planda ayakta durum olan 1,5 metre yüksekliğindeki noktalar "A" ile oturma durumunda 1 metre yüksekliğinde olan noktalar "O" ile gösterilmiştir.

Referans noktalarda yerinde hız, CO₂, PM_{2.5} ve PM₁₀ ölçümleri yapılmış, mevcut durum simülasyonundan noktaların hava yaşı ve hava hızı değerleri elde edilmiştir.

4.2.2. Ölçüm

Bekleme salonunda kullanıcıların kullanım kotlarına göre, Şekil 4.9’ da görülen 1 ve 1,5 metrede konumlandırılan toplam 16 referans noktada, çarşambadan pazar gününe değin toplam 5 gün, her gün 3’ er kez olmak üzere (17:00-17:45, 18:10-18:55 ve 22:45-23:30 saatleri arasında) ölçümler yapılmıştır. Saat aralıklarının belirlenmesinde, garda yerinde yapılan gözlemler ve gar yönetiminden alınan kış dönemi tren seferleri verileri kullanılmıştır. Mart ayında bekleme salonundaki insan yoğunluğu, 18:00-19:00 saatleri arasında en üst seviyeye ulaşmaktadır. 17:00-18:00 yolcu yoğunluğunun daha az duruma, 22:30-23:30 ise insan yoğunluğunun azaldığı, sakin duruma örnek olduğundan, ölçümler için uygun zaman aralıkları olarak seçilmiştir. Bu şekilde gardaki doluluk oranındaki değişimin ölçüm parametrelerine etkisinin netleştirilmesi amaçlanmıştır.

4.2.2.1. Ölçüm Cihazları

Garda iç mekanda yer alan 16 referans noktada 3 adet ölçüm cihazı kullanılmıştır. CO₂ konsantrasyonun ölçümünde Şekil 4.11-a’ daki Testo marka 440 model hava hızı ve iç hava kalitesi ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz farklı prob bağlantıları ile iç mekandaki sıcaklık, nem, CO, CO₂, hava hızı, hava basıncı ve lux değerlerini ölçebilmektedir. Her parametre için ayrı prob bulunmakta ve bunların hepsi aynı anda çalışmamaktadır. Probların bazıları kablolu iken bazıları bluetooth ile ana cihaza bağlanmaktadır. Elde bulunan CO₂ probu bluetooth ile cihaza bağlanır ve CO₂, sıcaklık ve nem değerlerini ana cihaz ekranında gösterir. Kullanılan prob ve cihaz pil ile çalışmaktadır. CO₂ probu 0 ila 10.000 ppm aralığında CO₂, %5 ila %95 aralığındaki nem ve 0 ila +50 °C aralığındaki sıcaklık değerlerini aynı anda ölçer. Cihazın yanılma payı CO₂ için 5.000 ppm’ e kadar ± 50 ppm, nem için ± 3 %RH, sıcaklık için ise ± 0.5 °C’ dir. Referans noktalarda yapılan ölçümlerde probun ölçtüğü CO₂ değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4. 11. Ölçümde kullanılan aletler: (a) Testo 440 CO₂ ölçer, (b) Testo 435 hava hızı ölçer, (c) Cem DT-9880 PM ölçer

İç mekandaki hava hızının ölçümünde, Şekil 4.11-b’ deki Testo marka 435 model havalandırma ve kapalı mekan hava kalitesi için çok fonksiyonlu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pil ile çalışan cihaza kablo ile bağlanan ısıtmalı tel prob bulunmaktadır. Isıtmalı probun ucundaki tel belli bir değere kadar elektrikle ısıtılır. Mekandaki havanın hızı teldeki sıcaklığın düşmesine sebep olur ve tel soğur. Cihaz telin sıcaklığını elektrik akımı ile belli bir değerde tutmaya çalışır. Bu akımın ölçülmesi ile hava hızı değeri tanımlanır ve ekranda belirir. 0 ila 20 m/s aralığındaki hava hızı, -20 ila +70 °C aralığındaki sıcaklık değerleri, prob ile ölçülebilmektedir. Cihazın hava hızı için yanılma payı ± 0.03 m/s, sıcaklık için ± 0.3 °C olduğu için iç mekandaki hassas ölçümler için idealdir.

Partikül madde ölçümünde ise Şekil 4.11-c’ daki CEM marka DT-9880 model cihaz kullanılmıştır. PM ölçer, aynı anda 0,3, 0,5, 1, 2,5 ve 10 μm boyutlarındaki partikül maddeleri ölçmekte ve ekranda göstermektedir. Cihaz PM ile birlikte sıcaklık ve nem ölçümü de yapmaktadır. 0 ila 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığındaki PM konsantrasyonunu ölçen cihazın yanılma payı %5, bataryası ise şarjlıdır. Garda yapılan ölçümde, PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri not edilmiştir.

4.2.2.2. Ölçüm Süreci

İlk ölçüm saati olan 17:00’ dan önce, garda ölçüm hazırlığı yapılmıştır. Hazırlık aşamasında, her noktaya geçişte, noktaların yerlerinin bulunması sebebiyle zaman kaybı yaşanmaması ve böylece ölçüm süresinin uzaması için 16 referans noktanın numarasının

yazılı olduğu A4 kağıtları ilgili noktaların yerlerine yapıştırılmıştır (Şekil 4.20-a). Hazırlık sırasında, gar personelleri ve yolcular, ölçüm cihazlarının hassasiyeti sebebiyle sonuçların etkilenmemesi için, ölçüm cihazlarına doğru nefes vermemeleri, cihazların çevresinde ani hareket etmemeleri ve cihazlara dokunmamaları konusunda bilgilendirilmiştir. Ölçüm verilerinin analizinde kullanılmak üzere ölçüm başı ve sonunda iç mekan koşullarına dair fotoğraf çekilerek, kullanıcı sayıları not edilmiş ve kayıt altına alınmıştır.

Ölçüm cihazları sabit bir tripoda yerleştirildikten sonra referans noktasının kotuna göre tripod, 1,5 metre veya 1 metreye ayarlanmıştır (Şekil 4.12-b, Şekil 4.12-c ve Şekil 4.12-d). Ölçümler, her bir referans noktada 3 katılımcının hız, CO₂, PM değerlerini eşzamanlı 2 dakika süresince, kayıt alması ile toplam 45 dakikada tamamlanmıştır.



Şekil 4. 12. Ölçüm aşamaları: (a) Kağıtların yapıştırılması, (b) Ölçüm aletlerinin 1.5 metre kotunda konumlandırılması, (c) Ölçüm aletlerinin 1 metre kotunda konumlandırılması, (d) Ölçüm anı

Referans noktalar arası geçişte, ölçüm aletlerinin yeniden konumlandırılması sebebiyle 1 dakika zaman geçirilmiştir. Bu işlem 16 referans nokta da tekrarlanmıştır. Bir noktadaki

ölçümün 2 dakikanın üzerinde tutulması, toplam ölçüm süresinin uzamasına ve insan yoğunluğundaki değişimlere denk gelmesine neden olmaktadır. Ölçüm süresi uzarsa, ilk noktada, salon kalabalık iken, ölçümün son noktalarına doğru kalabalık dağılmakta, insan yoğunluğu azalmaktadır. Aynı şekilde kullanıcı yoğunluğunun az olduğu zaman diliminde, ölçüm süresi uzadığında, ilk nokta ölçümünde insan sayısı azken, son noktalara doğru tren seferlerine yetişmeye çalışan insanlar gara gelmekte ve kullanıcı sayısı artabilmektedir. Ek olarak, CO₂ ölçer, PM ölçer ve hava hızı ölçer cihazlarından birer tane olması sebebiyle, referans noktadaki ölçümler eş zamanlı olarak gerçekleştirilememiştir. Bu önlenemez koşullar nedeniyle 16 noktanın ölçümü, bekleme salonundaki insan sayısının benzer olduğu zaman dilimine denk getirilmeye çalışılmış ve ölçüm süreleri maksimum 45 dakika ile sınırlandırılmıştır.

Beş gün boyunca, 17:00-17:45, 18:10-18:55 ve 22:45-23:30 saatleri arasında olmak üzere günde 3 kere yapılan ölçümlerde, 16 referans noktanın hava hızı, CO₂ ve PM_{2.5}, PM₁₀ değerleri, garda yapılan ölçümler sırasında not edilmiştir. Her gün için ayrı olacak şekilde, 16 noktanın CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı parametrelerine ait ortalama değerler ile her günün 3 ölçüm saatindeki toplam insan sayısı aşağıda sıralı denklemlerle hesaplanmıştır (Denklem 4.1, Denklem 4.2, Denklem 4.3, Denklem 4.4, Denklem 4.5). İlgili günün,

ortalama CO₂ değeri Denklem (4.1)' deki gibi;

$$\overline{CO_{2, \text{ gün}}} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \left(\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} CO_{2,i,k} \right) \quad (4.1)$$

ortalama PM_{2.5} değeri Denklem (4.2)' deki gibi;

$$\overline{PM_{2.5, \text{ gün}}} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \left(\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} PM_{2.5,i,k} \right) \quad (4.2)$$

ortalama PM₁₀ değeri Denklem (4.3)' deki gibi;

$$\overline{PM_{10, \text{ gün}}} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \left(\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} PM_{10,i,k} \right) \quad (4.3)$$

ortalama PM₁₀ değeri Denklem (4.4)' deki gibi;

$$\overline{V, \text{ gün}} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \left(\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} V_{i,k} \right) \quad (4.4)$$

3 ölçüm saatindeki toplam insan sayısı Denklem (4.5)' deki gibi;

$$\overline{n_{, gün, toplam}} = \sum_{k=1}^3 n_{,gün,k} \quad (4.5)$$

hesaplanmıştır. Denklemlere göre;

i = 16 adet referans noktayı (1-Z-A,2-Z-A,3-Z-A, ..., 15-Z-A,16-1-A),

k = 3 ölçüm saat aralığını (17:00-17:45, 18:15-19:00 ve 23:00-23:45),

V = hava hızını,

n = insan sayısını göstermektedir.

U = tipik gün uzaklık sayısı

Beş ölçüm günü için ayrı ayrı bulunan CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı ortalamaları ile insan sayısı toplamı, ortalamaları alınarak CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı ve insan sayısı için genel bir ortalama değer bulunmuştur (Denklem 4.6, Denklem 4.7, Denklem 4.8, Denklem 4.9, Denklem 4.10). Beş günün,

ortalama CO₂ değeri Denklem (4.6)' daki gibi;

$$\overline{CO_{2, ort.}} = \frac{1}{5} (CO_{2, Çarş.} + CO_{2, Perş.} + CO_{2, Cuma} + CO_{2, Cumt.} + CO_{2, Pazar}) \quad (4.6)$$

ortalama PM_{2.5} değeri Denklem (4.7)' deki gibi;

$$\overline{PM_{2.5, ort.}} = \frac{1}{5} (PM_{2.5, Çarş.} + PM_{2.5, Perş.} + PM_{2.5, Cuma} + PM_{2.5, Cumt.} + PM_{2.5, Pazar}) \quad (4.7)$$

ortalama PM₁₀ değeri Denklem (4.8)' deki gibi;

$$\overline{PM_{10, ort.}} = \frac{1}{5} (PM_{10, Çarş.} + PM_{10, Perş.} + PM_{10, Cuma} + PM_{10, Cumt.} + PM_{10, Pazar}) \quad (4.8)$$

ortalama hava hızı değeri Denklem (4.9)' daki gibi

$$\overline{V, ort.} = \frac{1}{5} (V, Çarş.} + V, Perş.} + V, Cuma} + V, Cumt.} + V, Pazar}) \quad (4.9)$$

ortalama insan sayısı değeri Denklem (4.10)' daki gibi

$$\overline{n_{ort.}} = \frac{1}{5}(n_{\text{Çarş.}} + n_{\text{Perş.}} + n_{\text{Cuma}} + n_{\text{Cumt.}} + n_{\text{Pazar}}) \quad (4.10)$$

hesaplanmıştır. Her bir gün ve her bir parametre için hesaplanan ortalama değerlerin genel ortalamaya uzaklığı hesaplanmış ve tipik gün uzaklığı en düşük olan gün tipik gün olarak belirlenmiştir (Denklem 4.11). Buna göre tipik gün uzaklık denklemi Denklem (4.11)'deki gibi

$$U_{gün} = \sqrt{(\overline{CO_{2, gün}} - \overline{CO_{2, ort.}})^2 + (\overline{PM_{2.5, gün}} - \overline{PM_{2.5, ort.}})^2 + (\overline{PM_{10, gün}} - \overline{PM_{10, ort.}})^2 + (\overline{V, gün} - \overline{V, ort.})^2} \quad (4.11)$$

şeklindedir. Seçilen tipik gün simülasyon tarihi olarak belirlenmiş ve bu tarihteki ölçüm zamanları ile aynı olan 17:00, 18:00 ve 23:00 saatlerinde toplam 3 adet mevcut durum simülasyonu yapılmıştır. Saatlerdeki mevcut durum simülasyonlarından, referans noktaların hava yaşı ve hava hızı değerleri edinilmiştir. Referans noktaların hava hızı değerleri ile ölçüm sonuçlarının hava hızı değerlerinin kalibrasyonu sağlanana kadar simülasyonlar tekrarlanmıştır. Doğrulan simülasyondan hava hızı ve hava yaşı değerleri elde edilerek, bu değerlerin tamamı referans noktaların bulaş risk değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

4.3. Mevcut Durumun Simülasyonu ve Bulaş Riskinin Belirlenmesi

Gar bekleme alanında, hacme açılan dış cephe açıklıkları olduğu gibi, iç mekanda odalar arasında pencere, kapı gibi ayırıcı elemanlar vardır. Bekleme alanındaki hava akışı, birçok yapı elemanın dahil olmasıyla, hava giriş çıkışı ve sızıntılar ile sağlanmaktadır. Bekleme salonu gibi yüksek hacimler, havanın sıcaklık farklarından kaynaklanarak yer değiştirmesine imkan verir ve bu mekanlarda küçük hacimlere kıyasla daha farklı hava hareketleri gerçekleşir (Çakır, 2009). Ayrıca gardaki açıklıklar, insan-giriş çıkışlarından kaynaklı olarak sıklıkla açılıp kapanmaktadırlar. Garda, rüzgar etkisiyle ve sıcaklık farkından kaynaklanan hava hareketleri görülmektedir. Mekandaki bu gibi karmaşık hava hareketlerinin gözlem ve ölçümlerle dağılım ve davranışlarının belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu noktada bilgisayar modellemesinden destek alınarak, hava hareketinin anlaşılması ve bu şekilde hava dağılımının çıkartılması için CFD simülasyonuna ihtiyaç duyulmuştur. CFD ile, hava değişiminin etkisizleştiği durgun noktaların hava yaşı

değerleri ile tespiti sağlanarak bu noktalardaki diğer verilerin de değerlendirilmesi ile risk analizlerinin yapılması hedeflenmiştir.

4.3.1. Simülasyon Modelinin Tanıtımı

Herhangi bir yapıda meydana gelen iç ve dış hava akımlarının, gerçek ortamda analiz edilmesi neredeyse imkansız olduğu için yapının modelinin oluşturulması daha kolaydır. Oluşturulan modelde gerçek duruma ait belirli parametreler girdi olarak kullanılır ve mevcut hava hareketinin bir benzetimi sağlanmış olur (Aburdene, 1988). Bu amaçla bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının kullanılması ile sanal ortamda iklimsel koşulların taklit edilerek mevcut durumun simüle edilmesi, tasarım alternatiflerinin hızlı ve farklı parametrelerin dahil edilerek değerlendirilmesi için imkan sağlar. Bu çalışmada mevcut durum benzetiminin yapılabilmesi için CFD metodu kullanılmıştır. CFD (computational fluid dynamics-hesaplamalı akışkanlar dinamiği), sıvı veya gaz halinde bulunan akışkanın davranışlarının bilgisayar ortamında simüle edilerek incelendiği bir mühendislik teknolojisidir.

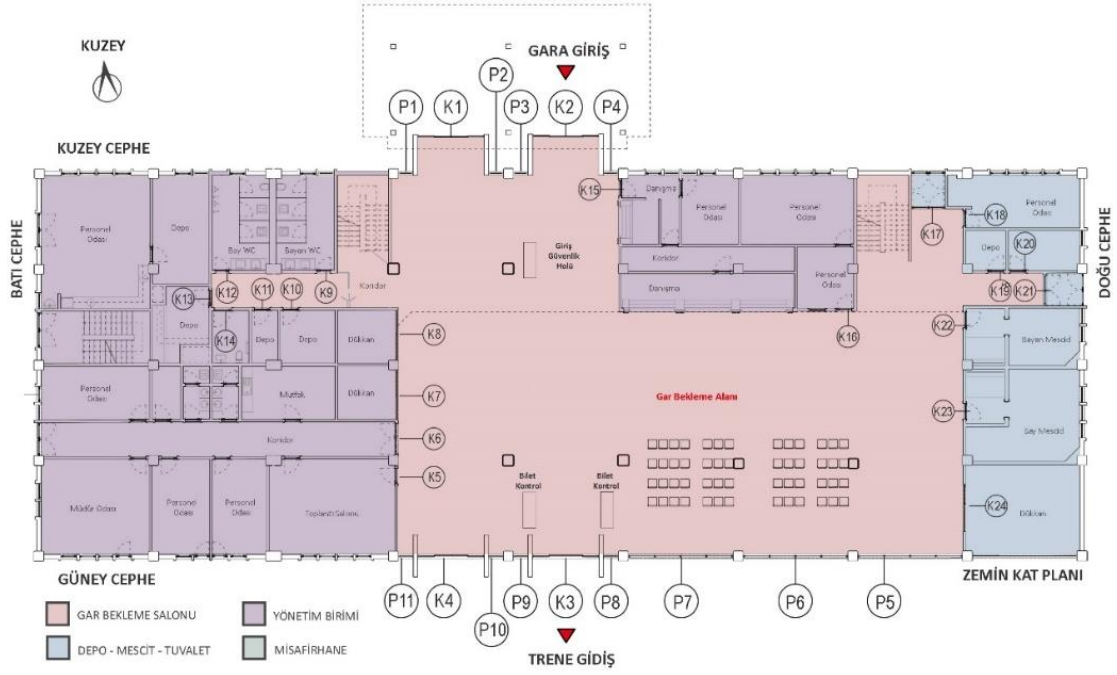
Çalışmadaki CFD simülasyonları DesignBuilder programı aracılığıyla yapılmıştır. Programda, CFD eklentisi simülasyon sınır değerleri, Amerika' nın resmi simülasyon sistemi olan EnergyPlus programının sağladığı veriler ile tanımlanır. CFD fonksiyonu ile bina iç ve dış hava akımlarına yönelik analizler yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen iç mekan CFD, hacimdeki hava hareketlerinin, sıcaklık dağılımlarını, hava hızlarını, hava yaşlarını simüle etmektedir. Çalışma kapsamında elde edilecek olan hava yaşı değerleri, yalnızca simülasyon çıktısı olarak alınabilmektedir. Hava hızı, yerinde ölçümlerle elde edilebilecek olsa da, hacimdeki hava akış dağılımları ölçümler ile çıkarılamamaktadır. Hava hızının fazla olduğu bir bölgede hava yenileniyor gibi düşünülse de, türbülans durumu söz konusu olduğunda eski havanın dönerek hareket ettiği anlaşılmaktadır. Çalışmada gerçekleştirilmiş olan CFD simülasyonları, bu tür karmaşık hava hareketlerinin dijital ortamda taklit edilmesi sonucunda havanın hacimdeki davranışının yorumlanmasına katkı sağlar.

Simülasyon sonucunda, hava hız, hava yaş veya sıcaklık dağılımlarının plan ve kesit düzlemlerinde olmak üzere haritaları alınabilmektedir. Simülasyonun mevcut duruma olabildiğince yakın olması istendiğinden, referans noktaların hava hızı değerleri ile

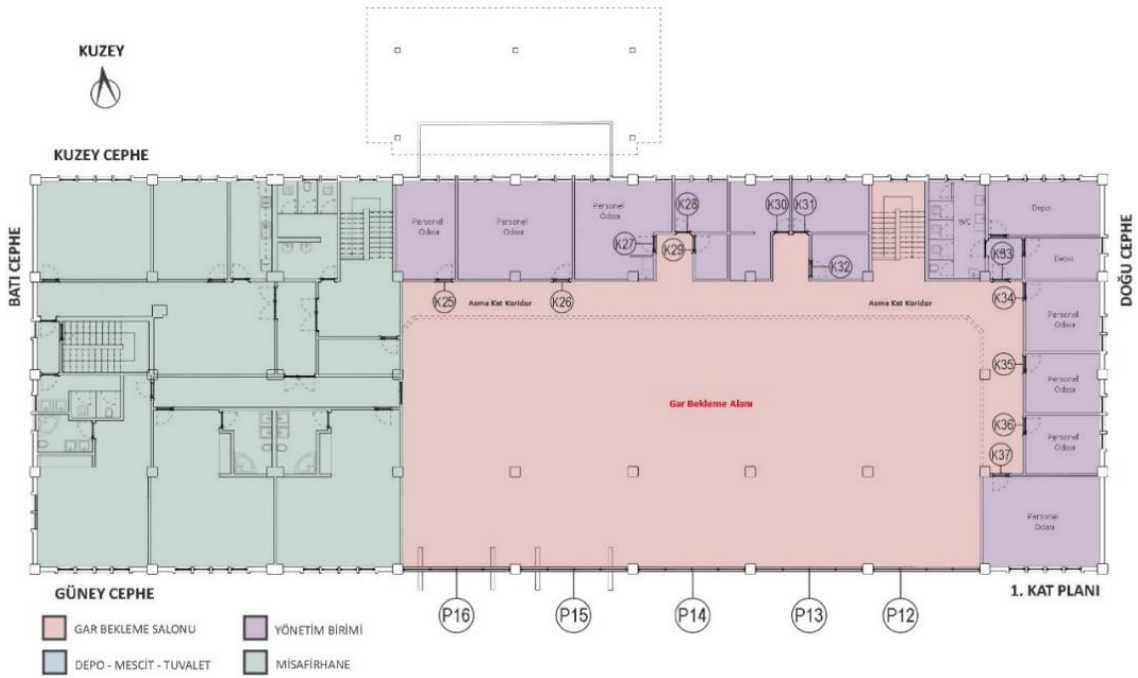
ölçümlerin hava hızı değerlerinin kalibrasyonu sağlanmıştır. Ardından istenilen hava hızı ve hava yaşı değerleri programdan çekilmiştir. Plan ve kesit düzlemlerinde yer alan noktaların koordinatlarına göre istenilen parametrelerin değerlerine ulaşılabilir. Ölçümler 1 ve 1,5 metre yüksekliğinde alındığı için plan düzlemleri bu kotlarda alınmıştır. Kesitler ise referans noktalara denk gelen, hava hareketinin gözlemlenebileceği kısımlardan alınmıştır.

4.3.2. Simülasyon Girdilerinin Tanıtımı

Simülasyonların yapılması aşamasında ilk adım garın mimari projesine ve gar binasının bulunduğu coğrafyaya dair iklim dosyasına ulaşılması olmuştur. Garın mimari projesi T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Haydarpaşa 1. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilerek, gar modeli DesignBuilder programında oluşturulmuştur. EnerPlus programının Kocaeli İzmit' e ait saatlik meteorolojik verilerinin olduğu IWEC (International Weather for Energy Calculations) iklim dosyası programa girilerek binanın bulunduğu coğrafyaya dair, ilgili tarihteki meteorolojik veriler tanımlanmıştır. Zemin ve 1. Kattaki kullanım fonksiyonuna ve ısıtma/ soğutma tercihlerine bağlı olarak gar planları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' teki gibi ısı alanlara ayrılmıştır. Oluşturulan ısı alanlar, farklı zaman aralıklarında ısıtılmakta/ soğutulmakta ve havalandırılmaktadır. Aynı zamanda kullanıcı profilleri ve sayısı, insan yoğunlukları, kullanım fonksiyonları, aynı olmadığından, programda da ayrı tanımlanması gerekmektedir. Program, gar bekleme salonundaki referans noktaların koordinatlarına göre, ilgili noktanın, bulaş riskinin tespiti hususunda ihtiyaç duyulan hava yaşı ve hava hızı değerlerini verebilmektedir (Mirade, 2008). Bu bağlamda gar bekleme alanı zonuna ait, 4.2.1. Veri Toplama ve Analiz bölümünde sunulan, Tablo 4.2' de işlenen açıklıkların kullanımı, ısıtma şekli, Şekil 4.6' da gösterilen insan yoğunluğu gibi gözlemlerle elde edilen veriler programa girilmiştir. Mekandaki aktivite düzeyi, havanın kirlenme hızını ve buna bağlı olarak havalandırma ihtiyacını değiştirebilir olduğu için, kullanıcıların aktivitesi de programda tanımlanmıştır. Kullanıcılar, yoğun bir aktivite yapmıyor, genellikle sabit durduklarından "ayakta durma" seçeneği seçilmiştir. Böylece programda, mevcut durum CFD simülasyonlarının oluşturulabilmesi için gerekli veriler tanımlanmıştır.



Şekil 4. 13. Gar binası zemin kat planı ısı alanları



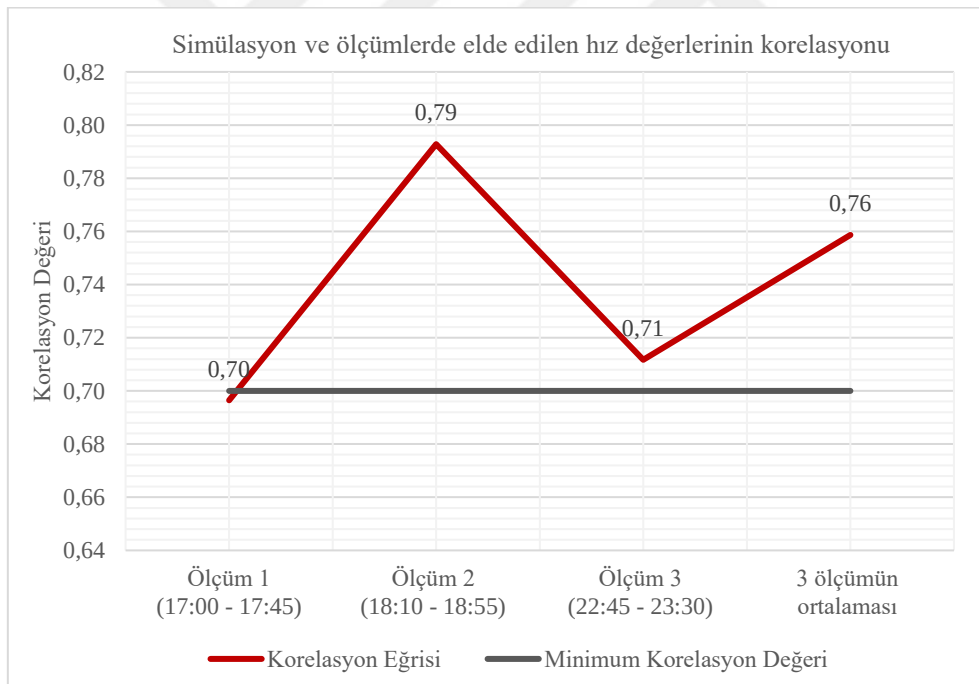
Şekil 4. 14. Gar binası 1. kat planı ısı alanları

Programda binanın ve çevresel iklim koşullarının tanımlanması sonucunda, sanal gar modeli CFD simülasyonuna hazır hale getirilmiştir. Yapılan mevcut durum CFD simülasyonu ile gardaki gerçek durumun kalibre edilmesi simülasyon doğruluğunun sağlanması açısından önemlidir. Bunun için, bir sonraki başlıkta detaylandırıldığı üzere,

referans noktaların yerinde ölçülen hava hızı değer kümesi ile simülasyondan elde edilen hava hızı değer kümesinin benzerliği sağlanana kadar mevcut durum simülasyonu tekrar edilmiştir.

4.3.3. Simülasyon ve Ölçüm Sonuçlarının Kalibrasyonu

Mevcut durumun çalışmada kullanılan DesignBuilder programında simüle edilmesinde CO₂ ve PM_{2.5}, PM₁₀ verileri, programın sınırlarına bağlı olarak direkt olarak girilememektedir. CO₂ ve PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı değerleri için yerinde ölçüm yöntemi, hava hızı ve hava yaşı için ise simülasyon yönteminin bir arada kullanılması gerekmektedir. ASHRAE' e göre, yerinde yapılan ölçümlerle CFD çıktılarının doğrulanması modelin güvenilirliğini artırır (ASHRAE, 2022). Bu durumda ölçüm ve simülasyon yöntemlerinin ortak çıktısı olan hava hızı parametresi kalibrasyon sağlamak için kullanılmıştır.



Şekil 4. 15. Simülasyon ve ölçümlerde elde edilen hız değerlerinin korelasyonu

Yerinde ölçülen 16 referans noktanın hava hızı değerleri alt alta sıralanmıştır. Yanına aynı sıradaki 16 referans noktanın simülasyondan elde edilen hava hızı değerleri yazılmıştır. Bu 2 sıralı değer kümesi arasındaki doğrusal ilişkinin tespiti ile korelasyon belirlenmiştir. Korelasyon sonucu, minimum alması gereken 0,7 değerini sağlamış, yapılan ölçümler ve simülasyonlar arasındaki tutarlılığı ortaya koymuştur (Şekil 4.15).

4.3.4. Normalizasyon Yönteminin Tanıtımı

Ölçüm ve simülasyon değerlerinin birimleri birbirinden farklıdır. Hava hızı m/s, hava yaşı saniye, PM_{2.5} ve PM₁₀ µg/m³ birimleri ile ifade edilmektedir. Parametrelere birimlerin birbirinden farklı olması, bunların aynı denklem altında birleştirilmesinde alternatif bir yöntem ihtiyacı doğurmaktadır. Dolayısıyla parametrelerin, bulaş riski ile ters veya doğrusal yöndeki ilişkisine göre bir normalizasyon sistemi oluşturulmuştur. CO₂, PM ve hava yaşı değerleri arttıkça bulaş riski arttığından, bu parametreler için Denklem (4.12), hava hızı ise, bulaş riski ile ters yönde ilişkili olduğu için hava hızı için Denklem (4.13) kullanılmıştır. Referans noktaların tipik günün 3 ölçüm saatindeki CO₂ (ppm), PM (µg/m³), hava hızı (m/sn) ve hava yaşı (sn) değerlerinin genel ortalamaları alınmış, alınan ortalamalar;

CO₂ (ppm), PM_{2.5} ve PM₁₀ (µg/m³), hava yaşı (sn) için Denklem (4.12),

$$X_{norm} = 1 - \frac{x - x_{Min}}{x_{maks} - x_{min}} \quad (4.12)$$

hava hızı (m/sn) için Denklem (4.13),

$$X_{norm} = 1 - \frac{x_{maks} - x}{x_{maks} - x_{min}} \quad (4.13)$$

kullanılarak normalize edilmiştir. Denklem (4.12) ve Denklem (4.13)' teki değişken olan;

x = ilgili referans noktanın tipik gün üç ölçüm saatinin ortalamasını temsil etmektedir.

Her referans noktanın, normalizasyon değerleri CO₂, PM, hava yaşı ve hava hızı parametreleri için hesaplanmıştır. Normalizasyon hesabında, en az riskli olan nokta 1, en riskli olan ise 0 değerini almaktadır. Her noktanın CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı olarak toplam 4 normalizasyon değeri bulunmuştur. Son aşamada noktaların Risk Baskılama Endeksi (RBE) değeri Denklem (4.14)' deki gibi;

$$RBE_i = (CO_2 \text{ değeri})_i + (PM \text{ değeri})_i + (Hava \text{ hızı değeri})_i + (Hava \text{ yaşı değeri})_i \quad (4.14)$$

4 değer in toplanması yoluyla çıkarılmıştır (Denklem 4.14).

i = 16 adet referans noktayı (1-Z-A, 2-Z-A, 3-Z-A, ..., 15-Z-A, 16-1-A) temsil etmektedir.

RBE (risk baskılama endeksi) değeri her referans nokta için ayrıdır ve değeri küçüldükçe noktanın tehlike seviyesi yükselmektedir. Söz konusu hesaplama ile gar bekleme salonunun bulaş riski haritası çıkarılmıştır.



5. İZMİT TREN GARI' NDAKİ BULAŞ RİSKİNİN TESPİTİ VE SAĞLIK AMAÇLI DOĞAL HAVALANDIRMA ETKİNLİĞİNİN ARTTIRILMASINA YÖNELİK BULGULAR

Çalışmanın bulgular bölümünde, yöntemin anlatıldığı 4. Bölümün 4.2.2.2. Ölçüm Süreci alt başlığındaki denklemler kullanılarak, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hava hızı ve insan yoğunluğu parametreleri için günlük ortalama ve bu parametrelerin genel ortalama değerleri hesaplanmış, bu sonuçlar Tablo 5.1' de gösterilmiştir. Tablo 5.1' de gösterilen değerler yine 4. Bölümün 4.2.2.2. Ölçüm Süreci alt başlığında sunulan tipik gün denklemine girilerek salonun genel kullanım durumunu temsil eden tipik gün belirlenmiştir.

Bölümün devamında, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ ölçüm parametreleri ve hava hızı, hava yaşı simülasyon parametreleri için ayrı alt başlıklar açılmıştır. Bu başlıklar altında, tipik günün 3 saati için, 16 referans nokta değerleri için sütun grafikleri oluşturulmuş, noktalardaki maksimum ve minimum sonuçlar üzerinden değerlendirilme yapılmıştır. Grafiklerde ve değerlendirme kısımlarında, yapılan ölçüm saat zaman dilimleri olan 17:00-17:45 için akşamüzeri ölçümü 1 ve akşamüzeri simülasyonu 1, 18:15-19:00 için akşam ölçümü 2 ve akşam simülasyonu 2, son olarak 23:00-23:45 için ise gece ölçümü 3 ve gece simülasyonu 3 şeklinde isimlendirme yapılmıştır. Devam eden alt başlıklarda ölçüm ve simülasyon parametreleri arasındaki ilişkili görülen durumlar anlatılmış, bölümün sonunda salondaki bulaş riski haritalandırılarak yorumlanmıştır.

Tablo 5.1' de İzmit Tren Garı bekleme salonunda 2024 yılı 6 Mart Çarşamba günü ile 10 Mart Pazar günü arasında, toplam 5 gün, günde 3 kere olmak üzere 17:00-17:45, 18:15-19:00 ve 23:00-23:45 saat aralıklarında tamamlanan ölçümlere ve insan sayılarına ait değerler yer almaktadır. Beş günün tümünde ölçüm saatlerinde mekanın insan yoğunluk seviyelerinin benzer seviyelerde olduğu görülmüştür. Bekleme salonundaki insan sayısı 17:00-17:45 saatlerinde 20-50 kişi, 18:15-19:00 saatlerinde 65-100 kişi aralığında değişmektedir (Tablo 5.1). Son ölçüm saati 23:00-23:45 arasında ise garda, mesai yapan 5 gar personeli dışındaki kullanıcı sayısı neredeyse sıfırdır. Gar kullanan insan sayısının en fazla olduğu gün cuma, en az olduğu ise pazardır.

Tablo 5. 1. 16 Referans noktadaki hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ parametrelerinin çarşamba, perşembe, cuma, cumartesi ve pazar günlerindeki 17:00-17:45 (ölçüm 1), 18:15-19:00 (ölçüm 2), 23:00-23:45 (ölçüm 3) saatlerindeki değerlerinin ortalaması ve günlerin ölçüm saatindeki insan sayısı toplamı

Ölçüm Yapılan Günler	Ölçüm Yapılan Saatler	16 Noktanın Ölçüm Saatindeki Hız Değer Ort. (m/s)	3 Saatin Günlük Hız Ort.	16 Noktanın Ölçüm Saatindeki CO ₂ Değer Ort. (ppm)	3 Saatin Günlük CO ₂ Ort.	16 Noktanın Ölçüm Saatindeki PM _{2.5} Değer Ort. (µg/m ³)	3 Saatin Günlük PM _{2.5} Ort.	16 Noktanın Ölçüm Saatindeki PM ₁₀ Değer Ort. (µg/m ³)	3 Saatin Günlük PM ₁₀ Ort.	Ölçüm Saatlerindeki İnsan Sayısı	3 Saatin Günlük İnsan Sayısı Toplamı
1. Gün: Çarş. 06.03.24	Ölçüm 1 17:00 - 17:45	0,09	0,10	602	641	291	296	17	17	40	125
	Ölçüm 2 18:15 - 19:00	0,11		659		287		16		80	
	Ölçüm 3 23:00 - 23:45	0,08		663		309		19		5	
2. Gün: Perş. 07.03.24	Ölçüm 1 17:00 - 17:45	0,10	0,10	608	657	266	298	19	20	35	135
	Ölçüm 2 18:15 - 19:00	0,12		671		275		17		90	
	Ölçüm 3 23:00 - 23:45	0,06		690		353		24		10	
3. Gün: Cuma 08.03.24	Ölçüm 1 17:00 - 17:45	0,09	0,09	669	685	325	341	22	25	50	165
	Ölçüm 2 18:15 - 19:00	0,11		685		328		24		100	
	Ölçüm 3 23:00 - 23:45	0,07		702		370		28		15	
4. Gün: Cmts. 09.03.24	Ölçüm 1 17:00 - 17:45	0,07	0,07	616	653	269	273	15	17	35	120
	Ölçüm 2 18:15 - 19:00	0,10		659		248		14		80	
	Ölçüm 3 23:00 - 23:45	0,05		685		302		22		5	
5. Gün: Pazar 10.03.24	Ölçüm 1 17:00 - 17:45	0,07	0,08	531	596	255	249	13	14	20	90
	Ölçüm 2 18:15 - 19:00	0,09		620		227		13		65	
	Ölçüm 3 23:00 - 23:45	0,06		638		265		15		5	
Günlük Hız, CO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀ Ort.ve Günlük Toplam İnsan Sayısı			0,09		647		291		19		127

Ölçüm sonuçlarını gösteren Tablo 5.1' deki sütunlarda, beş ölçüm gününün 3 saatindeki 16 referans noktanın ait hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ ölçüm değerlerinin ortalamaları sırayla

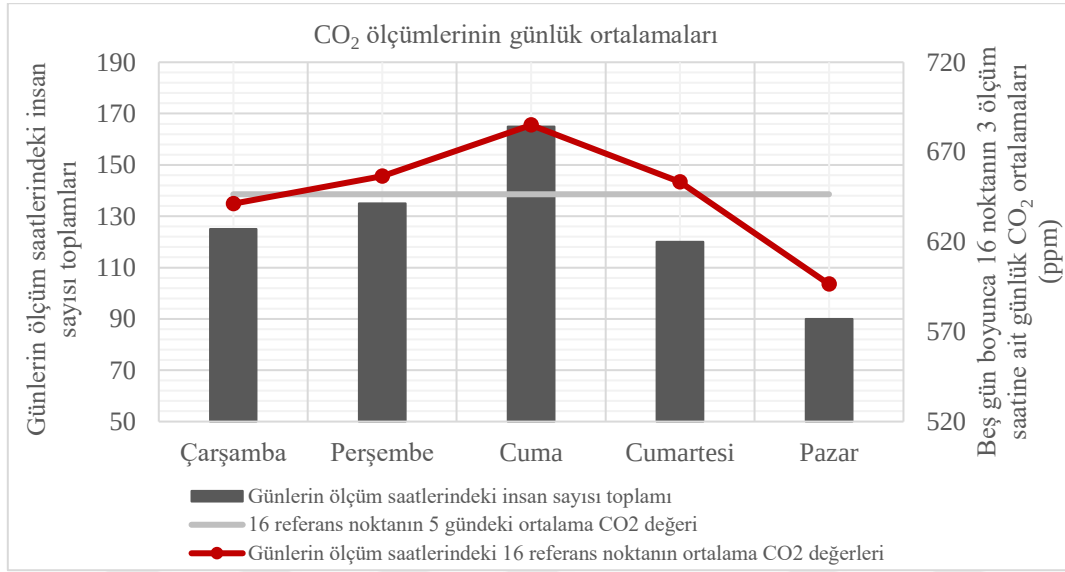
belirtilmiştir. Bu sütunların sağ sütunları ise, beş ölçüm gününün üç ölçüm saatinin hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ değer ortalamalarını göstermektedir. Tablo 5.1' in son dan önceki sütununda, beş günün 3 ölçüm saatindeki insan sayıları ve günün ölçüm saatlerindeki toplam insan sayısı yazılmıştır. Tablonun en alt satırında her günün genel ortalama hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ değerleri ve insan sayısı yer almaktadır.

Tablo 5.1' de detaylandırılan veriler, tipik gün uzaklık denkleminde girildiğinde, çarşamba için 7, perşembe için 15, cuma için 74, cumartesi için 21, pazar için 75 değeri elde edilmiştir. En düşük değere sahip gün çarşamba olduğundan, tipik gün olarak belirlenmiştir (Denklem 4.11). Tipik gün uzaklık denklemi, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, hız ve insan sayısı parametrelerinin dahil edilmesiyle hesaplanmaktadır. Bu parametrelerin günlere ve günlerin insan sayısına göre değişimini görebilmek adına Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' de grafik gösterimi yapılmıştır. Bu grafiklerde, kırmızı çizgiyle gösterilen günlerin ortalama hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ değerlerinin, genel ortalamaı temsil eden açık gri ortalama değer çizgisine yakınlıkları belirtilmiştir. Aynı zamanda grafiklere eklenen, gündeki toplam insan sayısını gösteren sütunlar ile değerlerin kalabalık etkisiyle değişimi yorumlanabilmektedir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).

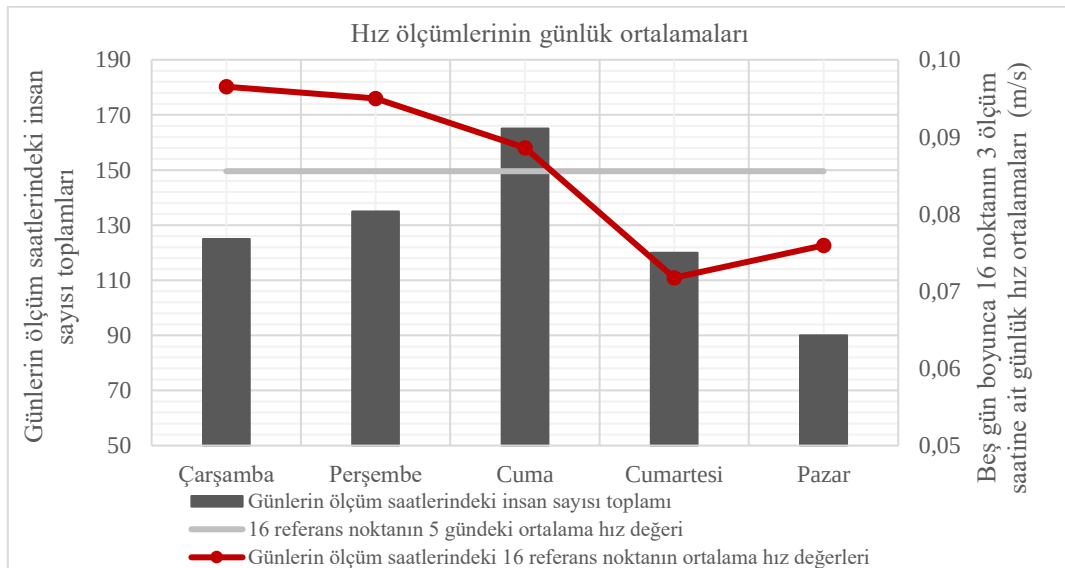
Şekil 5.2' de görüldüğü üzere, ortalama hız değer çizgisine en yakın gün cuma, ardından perşembe, çarşamba, pazar ve cumartesi olarak sıralanmaktadır. Şekil 5.1' e göre en yakın gün çarşamba en uzak gün pazardır. Şekil 5.3' te ortalama değere en yakın gün çarşamba, en uzak cuma, Şekil 5.4' te en yakın çarşamba ve cumartesi en uzak ise cumadır. Tüm saatlerde, insan sayısının en fazla olduğu cuma en riskli, en az olan pazar ise riskin en az olduğu gündür.

Teoride, insan sayısı arttıkça CO₂ değeri, sayıca artan solunum aktiviteleri sonucunda yükselir (Karaca, 2022). PM değerleri ise dış ortam koşulları, insan sayısının artması ile taşınan parçacıkların fazlalaşması ve hareketin resüspansiyonu tetiklemesi sebebiyle yükselir (Rovelli ve diğ., 2014). Dolayısıyla iki parametre de insan yoğunluğu ile ilişkilidir ve bu teori ölçüm sonuçları ile örtüşmektedir. İnsan sayısının ortalama değere en yakın değerde olduğu çarşamba gününde, kalabalığa bağlı olarak PM_{2.5}, PM₁₀ ve CO₂ değerleri de ortalamaya yakın çıkmıştır (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4). Grafiklere göre, hız hariç diğer parametrelerin çoğunlukla insan sayısı ile ilişkili olduğu doğrulanmaktadır (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3).

Şekil 5.1’ deki CO₂ grafiğinde, parametrelerin insan sayısı ile ilişkili olduğu tespitinden farklı bir durum görülmektedir. Perşembe günü insan sayısı cumartesiden daha fazla olmasına rağmen, CO₂ değer ortalaması cumartesi’ den daha düşüktür. Şekil 5.2’ deki hız grafiğine bakıldığında cumartesi günkü ortalama hız değeri en düşük, perşembe ise en yüksek 2. Sıradadır. Cumartesi günkü düşük hız değerleri mekandaki CO₂ değerinin yükselmesine neden olmuştur (Şekil 5.1, Şekil 5.2).

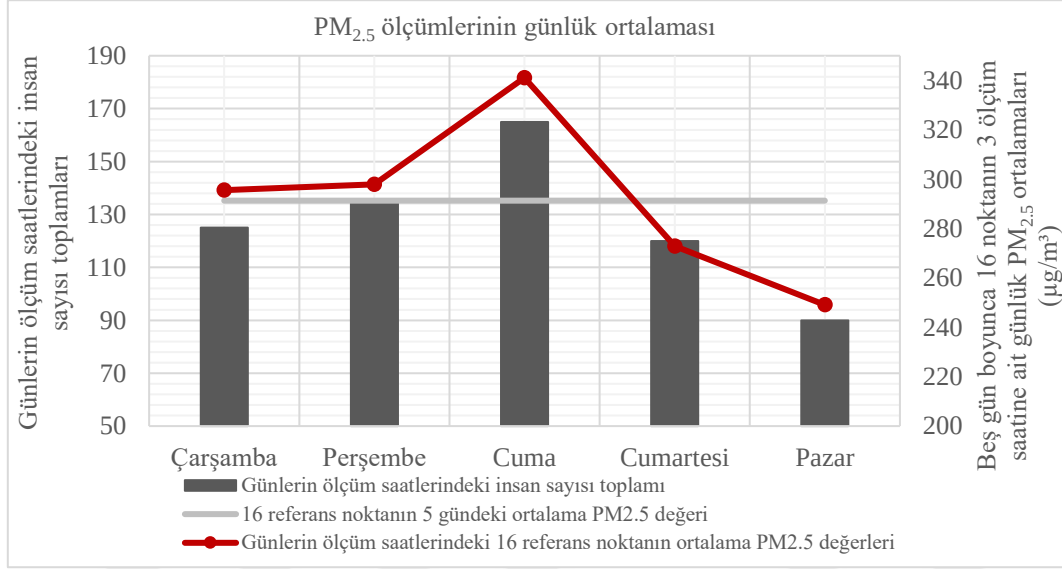


Şekil 5. 1. Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük CO₂ ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları

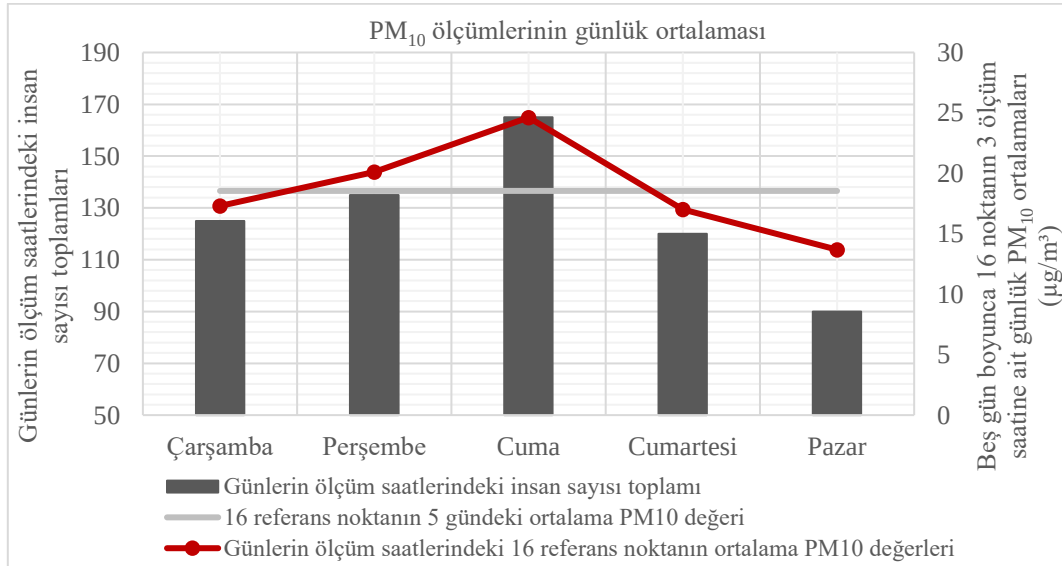


Şekil 5. 2. Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük hız ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları

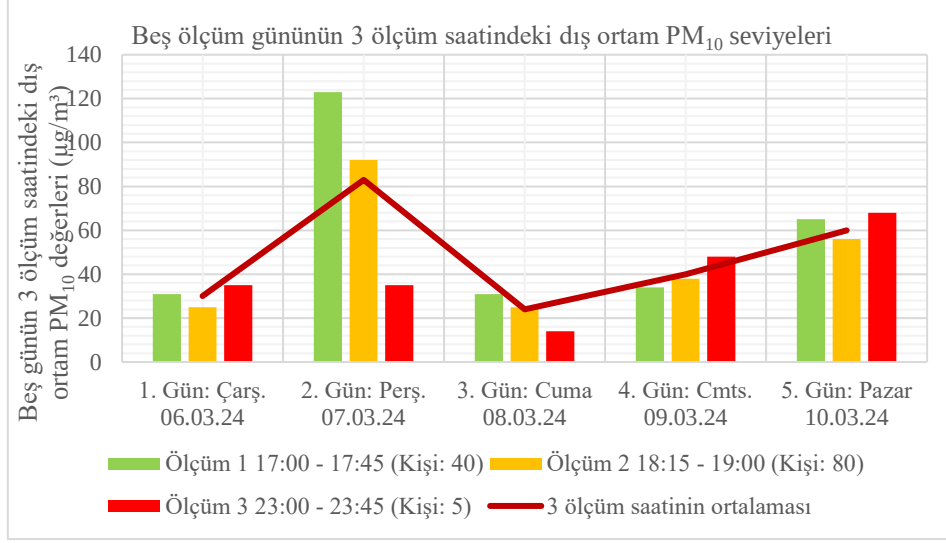
Ölçüm saatlerinde tüm pencereler kapalı, K1, K2 giriş ve K3 çıkış kapıları garın kullanıcı yoğunluğuna göre açılıp kapanmaktadır. Şekil 5.2’ deki hız değerlerindeki değişimler büyük oranda, o günkü açıklıkların kullanımı ile birlikte iklimsel koşullara bağlı olarak oluşan iç mekan hız farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple Şekil 5.2’ de güne ait toplam insan sayısı ve günün ortalama hız değerlerine bakıldığında ilişkili bir durum görülmemektedir.



Şekil 5. 3. Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük PM_{2.5} ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları



Şekil 5. 4. Beş gün boyunca 16 noktanın 3 ölçüm saatine ait günlük PM₁₀ ortalamaları ve günlerin ölçüm saatlerindeki toplam insan sayıları



Şekil 5. 5. Beş günün 3 ölçüm saatindeki dış ortam PM₁₀ değerleri ve günlerin ölçüm saatlerinin ortalamaları, veriler Kocaeli-İzmit-MTHM istasyonundan alınmıştır (URL-17)

Yukarıdaki Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3. ve Şekil 5.4' te 16 referans noktanın hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ parametrelerinin 5 gündeki değişimi ile günlük insan sayısı ilişkisi gösterilmiştir. Şekil 5.5' da ise garın bulunduğu konuma en yakın olan Kocaeli-İzmit-MTHM hava izleme istasyonundan alınan dış ortam PM₁₀ verilerinin beş günün üç ölçüm saatindeki değerleri ve günlerin üç ölçüm saatinin ortalaması görülmektedir (Şekil 5.5). Tablo 5.2 ise yukarıdaki şekillerden farklı olarak 16 referans noktanın hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ parametrelerinin akşamüstü, akşam ve gece olmak üzere 3 ölçüm saatine göre değişimleri göstermektedir. Tablo 5.2 yorumlandığında, referans noktaların hız ortalamasındaki en yüksek değer akşam ölçümü 2' de, ardından akşamüstü ölçümü 1' de, en az değer ise gece ölçümü 3' te olduğu görülmektedir. En kalabalık saat dilimi olan akşam vaktinde yolcular bekleme salonuna daha sık girmekte ve trene giden kapılar daha uzun süre açık kalmaktadır. Kapıların açılıp kapanması, doğal havalandırmayı arttırmakta ve buna bağlı olarak, insan sayısının arttığı vakitlerde iç mekanda oluşan hava hızı değerlerini yükseltmektedir (Tablo 5.2).

CO₂ sütununda ise, referans noktaların en yüksek ortalaması gece ölçümü 3' tedir. Akşam ölçümü 2' de artan insan solunum aktivitelerine bağlı olarak yükselen CO₂ değerleri, bu ölçüm saatinden sonra havalandırmanın azalmasıyla birikmiş, ölçüm 3' te en yüksek değer ortalamasının elde edilmesine sebep olmuştur (Tablo 5.2).

Tablo 5. 2. 16 referans noktanın 5 güne ait hız, CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀ parametrelerinin ölçüm saatlerindeki ortalamaları

Ortalama Değerler	Hız (m/s)	CO ₂ (ppm)	PM _{2.5}	PM ₁₀	İnsan Sayısı
Ölçüm 1: 17:00 - 17:45 (akşamüstü)	0,08	605	281	17	36
Ölçüm 2: 18:15 - 19:00 (akşam)	0,11	659	273	17	83
Ölçüm 3: 23:00 - 23:45 (gece)	0,06	676	320	21	8

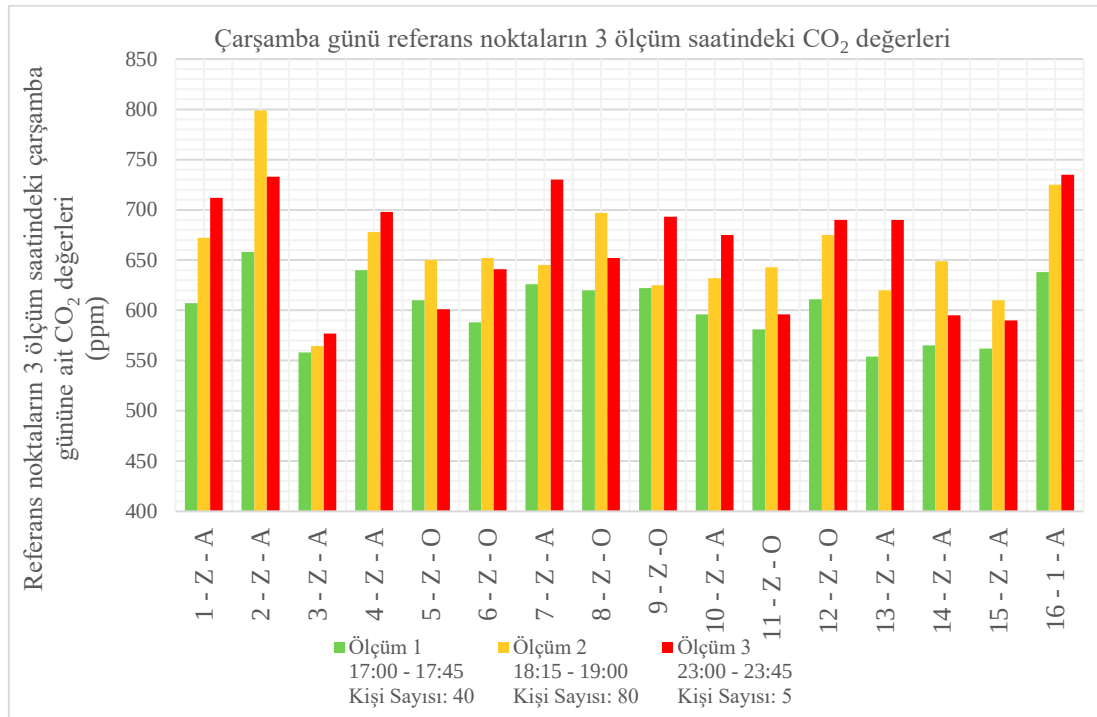
Tablo 5.2' ye göre partikül madde değerlerinde, en yüksek ortalamalar gece ölçümü 3' te görülürken, en az ise akşamüstü ölçümü 2' de görülmektedir. Bunun sebebi, gün içinde insan hareketinden ve öğleden sonra yapılan temizlikten kaynaklı olabilir. Kuru temizlik ile yerde ve yüzeylerde depolanan partikül maddelerin resüpsansiyon haline geçtiği ve bu sebeple partikül madde ölçüm sonuçlarının ölçüm 1' de, 2' den daha fazla çıktığı düşünülmektedir. Bu durumun bir sebebinin de, bu ölçüm saatinde dış çevrede artan PM miktarına bağlı olarak içeri taşınan miktarın yükselmesi olması ihtimali yüksektir.

Tablo 5.2' de gece ölçümü 3' e ait ortalamalara bakıldığında hız hariç tüm değerler ortalamalarının en yüksek olduğu görülmüştür. Ölçümlerden önce akşam ölçümü 2' de, insan sayısı en yüksek olduğundan, parametrelere ait değer ortalamalarının en yüksek çıkacağı tahmin edilmiştir. Fakat ölçüm sonuçları tahmin edilenden farklılık göstermiştir. Bu durumun başlıca sebebi, en kalabalık saat diliminden sonra bekleme salonunun yeterince havalandırılmamasıdır. Kalabalık saat diliminde gar giriş kapısı yolcuların girişleri esnasında sürekli olarak açılmaktadır. Raylara giden kapı ise otomatik olduğundan, bilet kontrol sırasında insan bulunduğu sürece açık kalmaktadır. Kalabalık saatte, trene binen yolcu sayısı fazladır ve bilet kontrol sırası uzamaktadır. Otomatik kapı bu sıra sonlanana kadar açık kaldığı için, içeri daha fazla hava girmektedir. Kalabalık saatin ardından gece ölçümü 3' e doğru garı kullanan yolcu sayısı giderek azalmaktadır. Giriş ve çıkışların az olması nedeniyle kapılar kapalı kalmış ve taze hava girişi azalmıştır. Bu durum, kalabalık saatte kirlenen havanın ve biriken kirleticilerin bekleme salonunda kalmasına, hız hariç ölçüm sonuçlarının diğer saatlere göre yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Salonda kalan kirli hava, gece mesaisi yapan gar personelleri için risk oluşturmaktadır. Bununla birlikte virüs bulaşındaki temel kaynak enfekte insan sayısıdır. Akşam ölçümü 2, enfekte insan bulunma ihtimali daha yüksek, temas halindeki insan sayısı ve maruz kalma süresi daha fazla olduğundan, gar kullanıcıları için en riskli saat dilimidir.

5.1. Referans Noktaların CO₂ Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.7' den takip edilebildiği şekilde, en düşük değer 3-Z-A noktasında ve akşamüzeri ölçümü 1' de 558 ppm olarak ölçülmüştür. 3-Z-A noktasından sonraki en düşük değerler, 11-Z-O, 13-Z-A, 14-Z-A ve 15-Z-A olarak sıralanmaktadır ve bu değerlerin hepsi akşamüzeri ölçümü 1' e aittir. Bu noktalar içindeki 3-Z-A, K3 kapısının hemen arkasında olması ve önünde hiçbir engel olmaması sebebiyle temiz havanın ilk ulaştığı yerlerden biridir. Bu sebeple buradaki CO₂ değeri düşüktür. 11-Z-O, 14-Z-A, 15-Z-A noktalarının

olduğu kısım ise, K3 ve K2 kapıları arasında gerçekleşen çapraz havalandırma hattına uzak olmasına rağmen, düşük CO₂ değerlerine sahiptir (Şekil 5.7). Noktaların bulunduğu bölge bilet kontrole ve giriş-çıkış kapılarına uzaklığı sebebiyle, yolcular tarafından pek tercih edilmemektedir. Noktalarda kaydedilen CO₂ değerlerinin az olmasının sebebi, insan solunum aktivitelerinin az olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir seçenek olarak bu bölge, P5 penceresine ve K24 dükkan kapısına yakın olduğundan, bu açıklıkların açılma durumları ve sızıntılardan kaynaklı, bölgede kendi içinde farklı bir hava hareketi oluşarak CO₂ miktarının seyrelme olasılığı bulunmaktadır.



Şekil 5. 7. Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki CO₂ değerleri

Referans noktalar arasında en yüksek değerler 2-Z-A ile 16-1-A' da, ardından 7-Z-A, 1-Z-A, 4-Z-A noktalarında ölçülmüştür (Şekil 5.7). 2-Z-A noktası, en yüksek CO₂ değerinin görüldüğü noktadır. Bu değer 799 ppm olup, akşam ölçümü 2' de yani tam bilet sırasının olduğu anda görülmüştür. 2-Z-A, K3 kapısına yakındır ve noktada gara giren hava hızı hissedilir düzeydedir. Fakat noktanın konumu, bilet kontrol sırasında bekleyen 5. veya 6. Kişiye denk gelmektedir (Şekil 5.8). 2-Z-A' nın önünde yer alan insanların solunumundan çıkan CO₂, tam karşıdaki K3 kapısından yüksek hızla giren havanın da etkisiyle birikerek sıranın arkasına doğru hareket etmektedir. Sırada insanların birbirine oldukça yakın mesafede beklemesi ve kirli havanın sıranın arkasına doğru olan hareketi

2-Z-A ve arkasındaki noktalar için risk oluşturmaktadır. Bununla birlikte 2-Z-A' nın arkasında yer alan 1-Z-A noktasındaki CO₂ değeri, 2-Z-A' dan daha azdır. Bunun sebebi, 1-Z-A' nın L şeklinde uzayan bilet kontrol sırasının kırım noktasında yer alması ve bu sebeple K2 kapısından giren havadan etkilenmesi yoluyla noktadaki CO₂ değerinin seyreldesidir (Şekil 5.8). Aynı zamanda 2-Z-A noktasındaki kişi, çapraz havalandırma sirkülasyonunda kalsa da, çevresindeki insanlar hava hareketini kısıtlamaktadır. Fakat 2-Z-A' nın yüksek CO₂ değeri için asıl unsur, öndeki insanlardan yayılan CO₂' nin arkaya doğru hareketinin etkisidir.



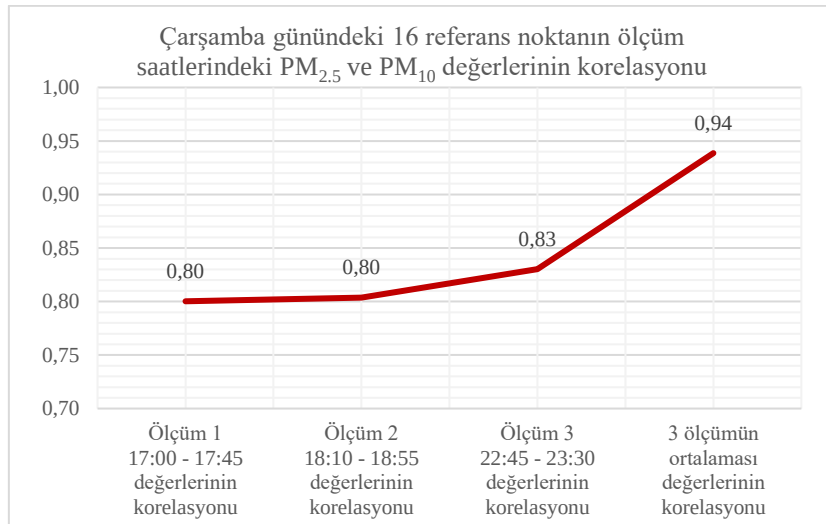
Şekil 5. 8. L şeklinde uzayan bilet sırasında yer alan 3-Z-A, 2-Z-A ve 1-Z-A noktaları

Yüksek CO₂ ölçülen 2. Nokta olan 16-1-A, 735 ppm değerindedir ve birinci kattaki galeri boşluğuna bakan koridorda konumlandırılmıştır (Şekil 5.8). Ölçümlerden önce öngörüldüğü üzere, salondaki açıklıkların kullanımı ile meydana gelen iç ve dış basınç farklılıklarına ek olarak salonun yüksekliği, konveksiyon yoluyla hava hareketine sebep olmaktadır. Yukarı doğru hareket eden kirli hava, 1. Katı kullanan insan sayısı az olmasına rağmen 16-1-A' da yüksek CO₂ değerlerinin kaydedilmesine sebep olmuştur. Yükselen kirli havanın cephede veya tavanda uzaklaşabileceği bir açıklık bulunmamaktadır. Birinci kattaki personel odaların kapıları mesai saatlerinde çoğunlukla kapalı, mesai saati dışında tamamen kapalı olduğundan, bekleme salonu hacminde kirlenen sıcak hava, üst kotlarda birirmektedir. Konveksiyon yoluyla kirlenen havanın üst kotlara çıkması, aslında enfeksiyon kaynağından uzak olan 1. kattaki 16-1-A noktasının olduğu kısım için patojen bulaşı bakımından risk teşkil etmektedir.

CO₂' nin yüksek olduğu 3. Nokta olan 7-Z-A ise gece ölçümünde 730 ppm değerindedir (Şekil 5.8). Danışmanın önünde yer alan bu nokta, belli aralıklarla kullanılmaktadır ve CO₂ değerleri insan kullanımına bağlı olarak yüksek seviyelerdedir. Bu noktaya taze havanın ulaşması kısıtlıdır ve bu durumun CFD simülasyon sonuçları ile yorumlanması gerekmektedir.

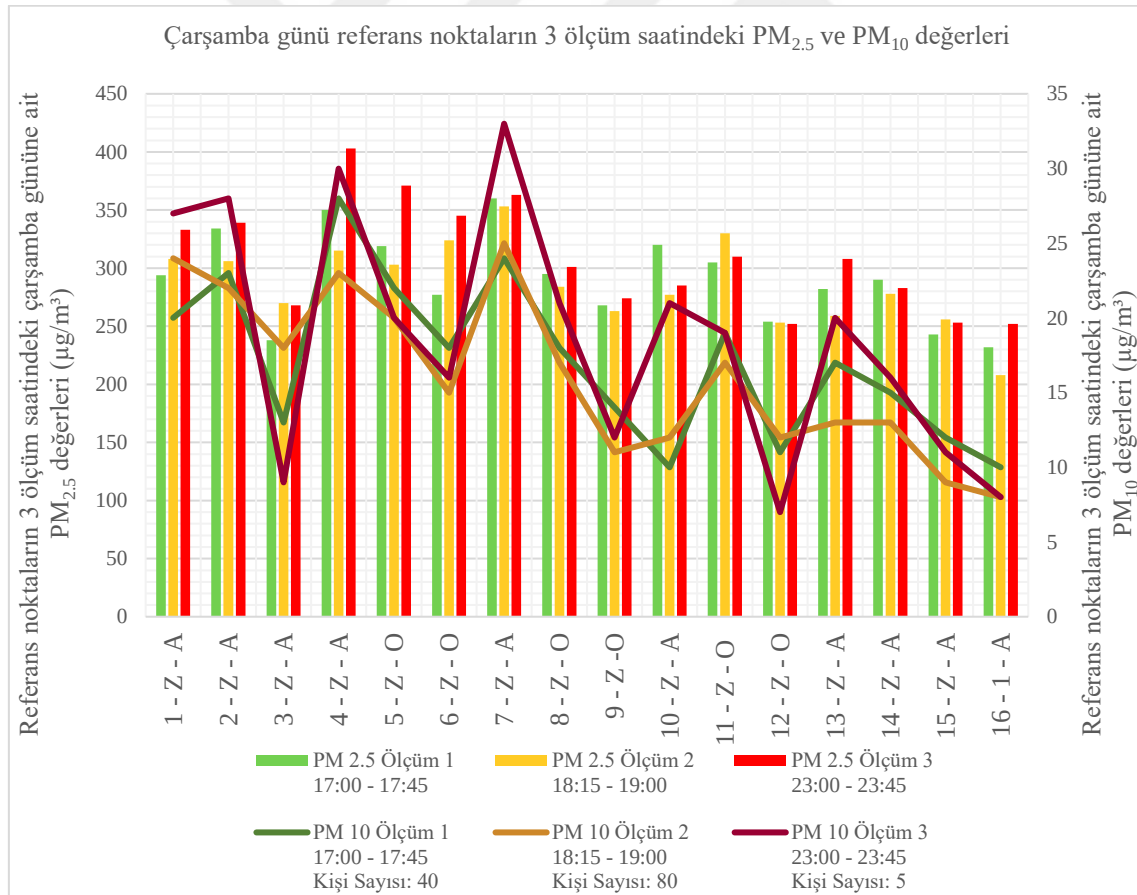
5.2. Referans Noktaların PM Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Referans noktaların, çarşamba günündeki PM_{2.5} ve PM₁₀ değerlerinin yapılan 3 ölçüm saatindeki sonuçları içinde yüksek ve düşük değerler veren belli noktaların ve bu noktaların durumunu etkileyen faktörlerin incelemesi yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, PM_{2.5} 208-403 µg/m³, PM₁₀ ise 7-33 µg/m³ değer aralığında çıkmıştır. Değer aralıkları farklı olsa da, referans noktadaki iniş-çıkışlar iki parametre için benzer olup ölçüm sonuçları arasında güçlü bir ilişki gözlemlenmiştir. PM_{2.5} değerinin yükseldiği referans noktada PM₁₀ da yükselmekte, düştüğü noktada diğeri de düşmektedir. Bu sonuç üzerine, referans noktaların PM_{2.5} ve PM₁₀ değerlerinin korelasyonu hesaplanmış ve referans noktaların 3 ölçüm saati değer ortalamasının korelasyon değeri 0,94 bulunmuştur (Şekil 5.9). PM_{2.5} ve PM₁₀ arası korelasyon değerinin ve PM_{2.5} maddesinin solunum aktiviteleri ile vücuda alınma ihtimalinin yüksek olması sebebiyle bulaş riski denkleminde yalnızca PM_{2.5} değeri kullanılmıştır.



Şekil 5. 9. Çarşamba günündeki 16 referans noktanın ölçüm saatlerindeki PM_{2.5} ve PM₁₀ değerlerinin korelasyonu

Şekil 5.10' da, 16 referans noktanın tipik gün olan çarşamba'nın 3 ölçüm saatindeki PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri bir arada gösterilmiştir. Şekil 5.10' da görüldüğü üzere PM_{2.5} değeri en yüksek 403 µg/m³ olup 4-Z-A noktasındadır. PM_{2.5} değeri, 4-Z-A ardından 5-Z-O, 7-Z-A noktalarında yüksektir. PM₁₀ değeri ise en yüksek 33 µg/m³ olup 7-Z-A noktasına aittir ve bu noktanın devamında 4-Z-A ve 2-Z-A noktaları gelmektedir. 4-Z-A, yolcuların manevra yaptığı yer olarak tanımlanabilir. Yolcular bu noktadan oturma bölümüne, danışmaya veya bilet kontrol noktasına gitmekte olduğundan, nokta sık kullanılan bir yerdedir. Hareketliliğin artması ve insan sayısındaki fazlalık noktadaki, PM_{2.5} ve PM₁₀ miktarını yükseltmektedir. Bununla birlikte noktadaki hava hızının yetersiz kalmasının, kirleticilerin seyreltilmesini engelleme olasılığı yüksektir. 7-Z-A ve 2-Z-A sonuçları, CO₂ grafiğindeki gibi PM grafiklerinde de yüksek değerlerde olduğu için bu durum, bu bölgeye taze havanın yeterince ulaşmadığı, hava hızının düşük, insan sayısının ve hareketliliğinin fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 10. Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki PM_{2.5} ve PM₁₀ değerleri

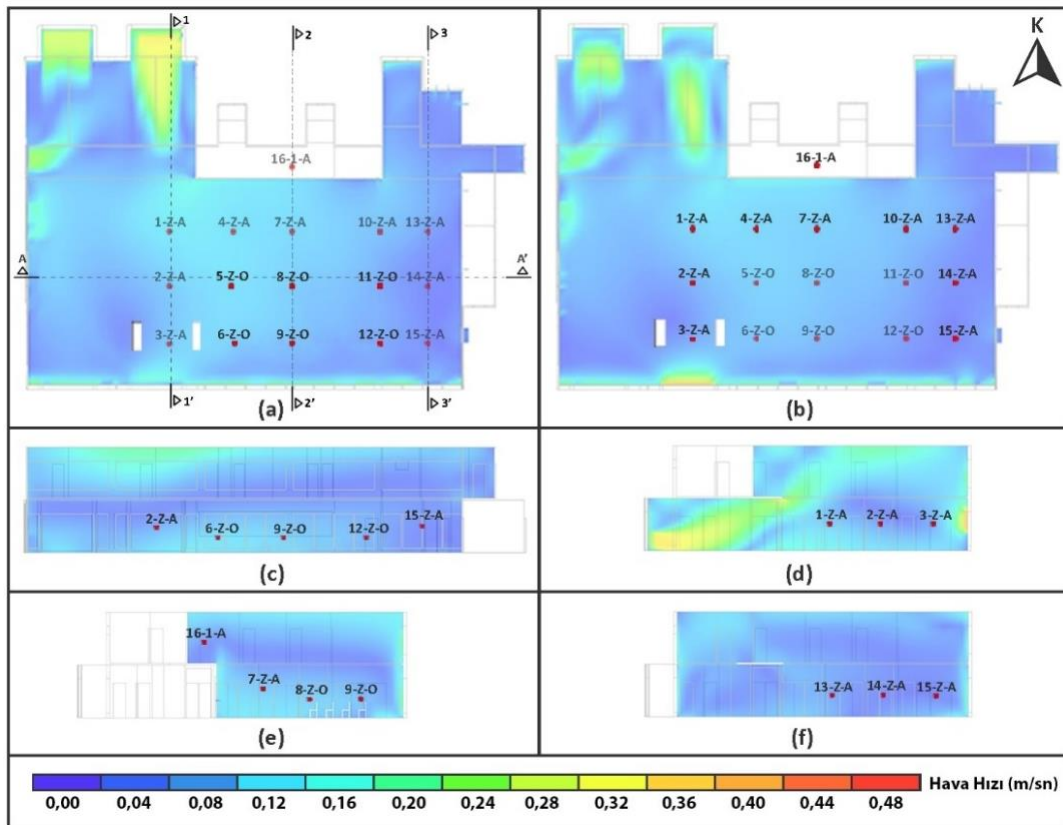
PM ölçümlerindeki en düşük değerler $208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ ve $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} olup 16-1-A noktasına aittir. 16-1-A, yüksek CO_2 seviyesine sahip olmasına rağmen en düşük PM seviyesindedir. Ölçüm sonuçlarına göre PM, CO_2 gibi konveksiyon sebebiyle yukarı doğru hareket eden kirli hava içersinde yer almamaktadır. PM değerleri, zemin katta hareketliliğin olduğu kısımlarda artarken, kullanımın az olduğu üst katlarda düşük seviyelerdedir. 1. Kattaki 16-1-A noktası en az kullanılan referans nokta olması sebebiyle en düşük seviyeyi vermiş, yükselen kirli hava içindeki partikül maddeler bu kota ulaşamamıştır. Bu noktadan sonraki en düşük noktalar, $\text{PM}_{2.5}$ için 3-Z-A, 15-Z-A ve 12-Z-O olarak PM_{10} için ise 12-Z-O, 15-Z-A ve 3-Z-A olarak sıralanmaktadır. 3-Z-A noktası CO_2 grafiğine benzer olarak, K3 kapısına yakınlığı nedeniyle düşük değerlere sahiptir. 15-Z-A ve 12-Z-O ise, yolcular tarafından az kullanılan bölgede yer almaktadır. Bu noktalarda insan hareketliliğinin ve ölçülen hava hızlarının da az olması PM değerlerindeki düşüşe sebep olmaktadır (Şekil 5.10).

5.3. Referans Noktaların Hava Hızı Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bulaş riski denkleminde kullanılmak üzere referans noktaların hava hızı ve hava yaşı sayısal değerleri, tipik gün çarşamba için yapılan ve kalibrasyonu sağlanan mevcut durum simülasyonundan elde edilmiştir. Çarşamba günündeki ölçüm saatlerinin her biri için ayrı olmak üzere yapılan toplam 3 simülasyondan, 16 referans noktanın hava hızı ve hava yaşı değerleri ile birlikte bekleme salonundaki hava hız ve yaş dağılımını gösteren kesit ve plan düzleminde olmak üzere görsel haritalar çıkarılmıştır. Bu bölümde saatlere göre çıkarılan haritalar üzerinden salondaki hava akışı genel olarak yorumlanmış, ardından 16 referans noktanın 3 ölçüm saatini gösteren hava hızı değerleri grafiğinde yüksek ve düşük değerlere sahip noktalar değerlendirilmiştir.

Aşağıda her ölçüm saati için, plan ve kesit düzlemlerindeki hava hızı dağılımlarını gösteren Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 no' lu görseller yer almaktadır. Görsellere ve referans noktaların değerlerine göre bekleme salonundaki hava hızını etkileyen ana unsur gar kapılarının açık-kapalı olma durumudur. Giriş ve çıkış kapılarının açılması ile birlikte basınç farkından kaynaklı olarak salona taze hava girmektedir. Kapılar açıldığında geniş bir yüzey alanı oluşmakta ve bu alan taze havanın rahatça içeri girmesini sağlamaktadır. Kapılara yakın kısımlarda yüksek hava hızları görülürken, açıklıklardan daha uzak olan kısımlardaki hava hızlarının 3 saatte de daha düşük olduğu görülmüştür.

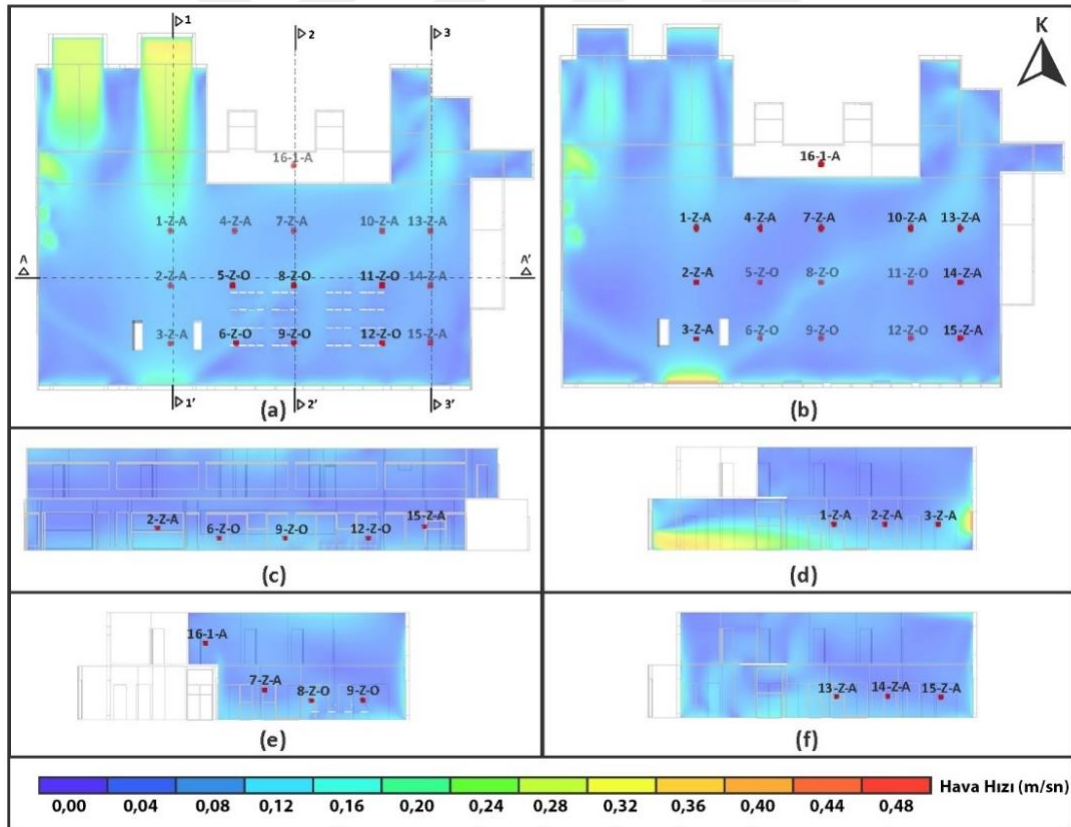
Akşamüzeri simülasyonu 1, orta sakinlikteki duruma örnektir ve bu anda çıkış kapısı akşam simülasyonu 2'ye göre daha az açıldığı için çapraz havalandırma simülasyon 2'ye göre daha az gerçekleşmektedir. Bununla birlikte giriş kapısı açıldığı anda, kapı önünde yüksek hava hızları oluşmaktadır (Şekil 5.11-d). Giriş-çıkış kapılarından uzaklaştıkça hava hızları azalmaktadır. Salonun ortasındaki 4-Z-A, 7-Z-A, 5-Z-O ve 8-Z-O noktalarında hız değerleri benzer iken, salonun doğusuna doğru değerler düşmektedir (Şekil 5.11-a,b). Garın giriş ve çıkış kapıları arasında kalan hattan geçen 1-1' Kesitinin gösterildiği Şekil 5.11-d ve A-A' Kesitinin olduğu Şekil 5.11-c'ye bakıldığında, zemin kattan 1. kata doğru bir hava akımı görülmektedir. Giriş kapısından giren hava galeri boşluğundan yukarı doğru hareket etmektedir. Bununla birlikte 2-2' kesitinin yer aldığı Şekil 5.11-e' de görüldüğü üzere, giren hava 1. Kat koridor kısmında yer alan 16-1-A noktasına ilerlememekte ve bu noktada düşük hava hızı oluşmaktadır.



Şekil 5. 11. Akşamüzeri simülasyonu 1 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (17.00-17:45, kişi sayısı: 40)

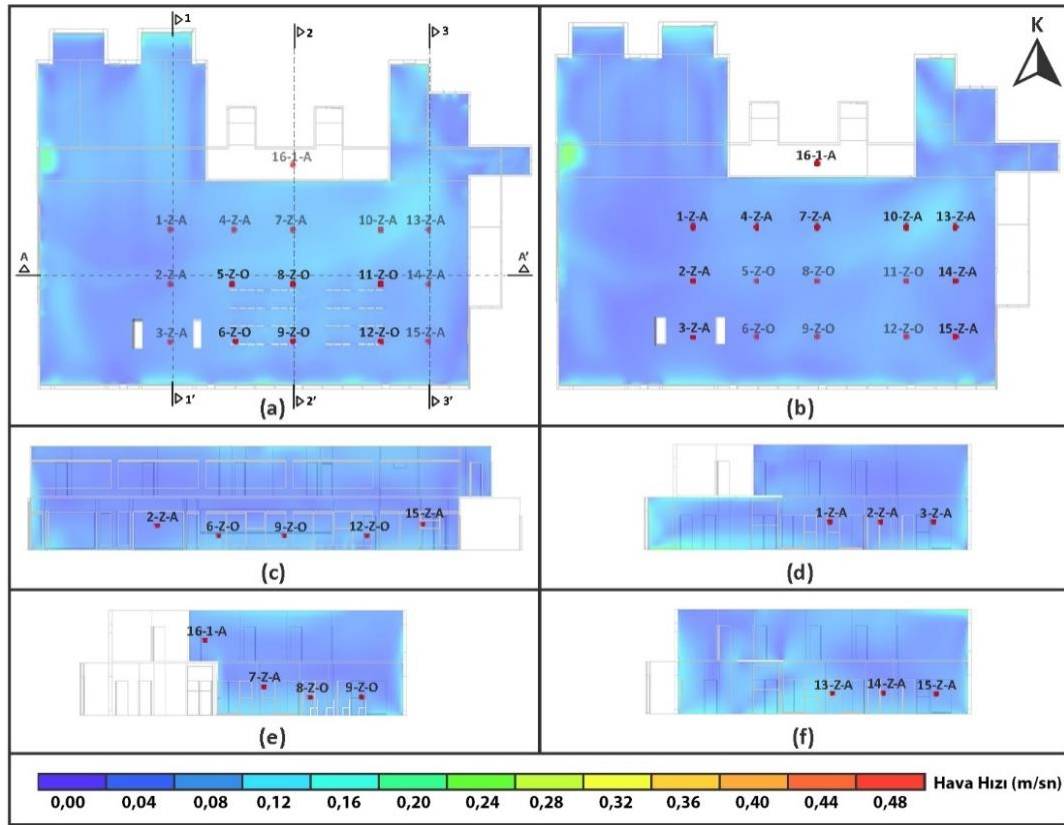
Akşam simülasyonu 2, giriş ve çıkış kapılarının diğer ölçümlere göre daha uzun süreler açık halde bulunduğu zaman aralığıdır. Kapıların daha uzun süreler açık olması, mekan

içi hava hızlarının akşamüzeri simülasyonu 1' e göre daha fazla olmasını sağlamıştır. Simülasyon 2' de 1' den farklı olarak, 6-Z-O, 8-Z-O ve 10-Z-A hattında zayıf bir hava hareketi görülmektedir (Şekil 5.12-a,b). Merdiven boşluğunda baca etkisi ile yukarı doğru hava hareketi meydana gelmektedir. Merdiven boşluğunu kullanarak zemin kattan 1. Kata yükselen hava, merdiven başındaki bölgede negatif basınç oluşturur. Çıkış kapısından giren hava bu negatif basınçlı kısma doğru hareket ettiği için bu hatta hava hızlanmaktadır. Böylece hattın iki ucunda yer alan çıkış kapısı ile merdiven boşluğu arasında bir hava hareketi gerçekleşmektedir. Bu durum, merdiven boşluğunun oluşturduğu baca etkisi ile zemin kattan 1. Kata doğru hareket eden havanın bölgede oluşturduğu negatif basınca doğru, çıkış kapısından giren taze havanın hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Salonun geneline bakıldığında salonun batısındaki hava hızları daha fazla iken, insanların sıklıkla kullandığı doğu kısmında hızlar düşüktür (Şekil 21).



Şekil 5. 12. Akşam simülasyonu 2 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (18:15-19:00, kişi sayısı: 80)

Son simülasyon saati olan gece simülasyonu 3' teki hava hızı dağılımı diğer saatlere göre daha homojendir. İlk 2 simülasyonda, karşılıklı kapıların açılması yoluyla oluşan çapraz havalandırmadan kaynaklanan 1-Z-A, 2-Z-A ve 3-Z-A hattındaki hız artışı, simülasyon 3' te yoktur (Şekil 5.13-a,b). Simülasyon 3 zaman diliminde, yolcu sayısı yok denecek kadar azdır ve giriş-çıkış kapıları da dahil olmak üzere tüm açıklıklar kapalıdır. Bu durum salondaki havanın durgunlaşmasına ve hava hızlarının düşmesine neden olmaktadır (Şekil 5.13).



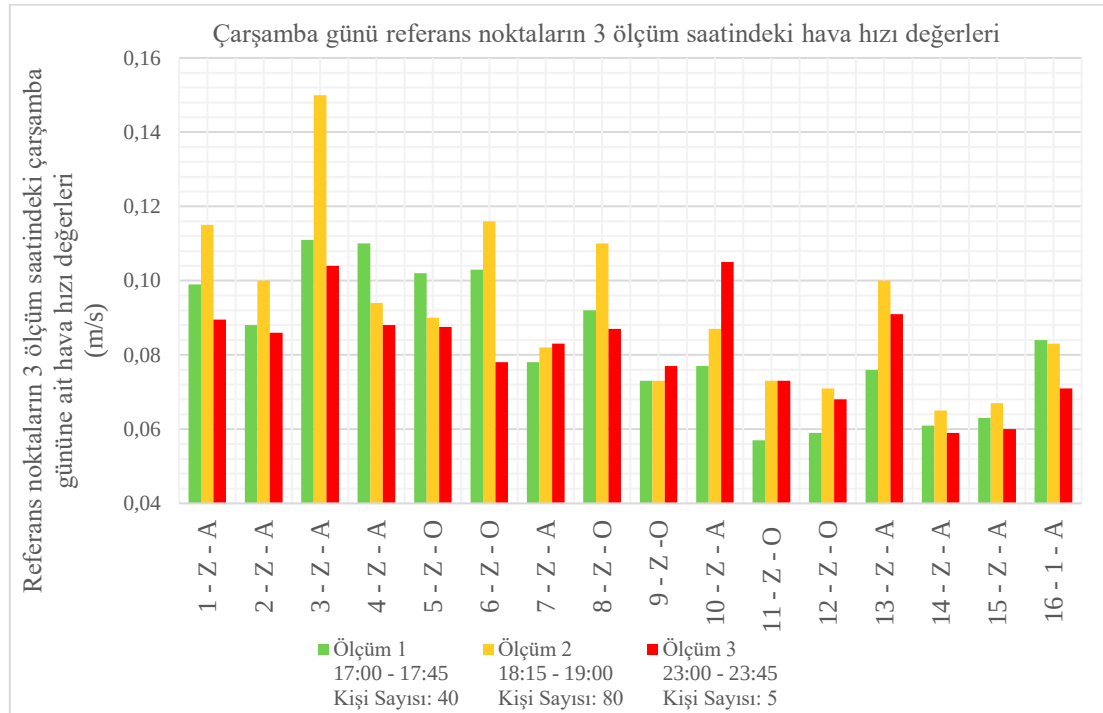
Şekil 5. 13. Gece simülasyonu 3 vaktindeki hava hızı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (23:00-23:45, kişi sayısı: 5)

Mevcut durum için gerçekleştirilen üç simülasyonda, referans noktalarındaki hava hızlarının ölçüm saatlerine göre değişimi Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Şekildeki grafiğe göre, en yüksek hava hızı değerlerinin gece yapılan simülasyon 2' de, ardından akşamüzeri gerçekleştirilen simülasyon 1' de olduğu görülmektedir. Gece simülasyonu 3' te ise çoğu noktadaki hız değeri diğer saatlere göre düşüktür. Salondaki en düşük hız değeri simülasyon 3' te 14-Z-A noktasında 0,06 m/s olarak kaydedilmiştir. Bu noktanın ardından, 12-Z-O, 11-Z-O ve 15-Z-A noktaları en düşük sonuçları vermiştir. Şekil 5.14'

e göre salon kapı açıklıklarına uzak kalan 11-Z-O, 12-Z-O, 14-Z-A, 15-Z-A noktalarındaki hızlarda 3 simülasyon saatinde de azalma görülmektedir.

CO₂ ve PM sonuçlarının değerlendirildiği 5.1. Referans Noktaların CO₂ Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve 5.2. Referans Noktaların PM Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi bölümlerinde, 14-Z-A ile 15-Z-A noktalarının CO₂ ve PM değerleri düşük çıkmış ve bu durumun insan sayısının az olmasından veya bölgede bir hava hareketinin gerçekleşmesinden kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Hız görselleri ve noktaların hız değerleri ise bu bölgede belirgin bir hava akımı olmadığını göstermektedir (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14). Bu durumda noktaların düşük CO₂ ve PM değerlerinin sebebi buradaki insan sayısının oturma bölümüne göre daha az olmasıdır.

1. Kattaki 16-1-A noktasının hız değeri, çok fazla olmamasına rağmen alt katta yer alan düşük hava hızlı bölgeye (11-Z-O, 12-Z-O, 14-Z-A) göre daha yüksektir. Konveksiyon yollu hava hareketi temiz hava yerine, ısınan kirli havanın, 1. Kattaki bu konuma ilerlemesine neden olmaktadır. Bununla birlikte söz konusu konumda az sayıda kişi bulunmasına rağmen yüksek CO₂ değerleri görülmesi de bu hava hareketini desteklemektedir. 16-Z-A noktası, hava hızı yükselmesine rağmen, riskin arttığı bir noktadır.



Şekil 5. 14. Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki hava hızı değerleri

Düşük hız değerlerinin seyrettiği 11-Z-O, 12-Z-O, 14-Z-A ve 15-Z-A ‘nın yer aldığı doğu bölgesinde ve merdiven boşluğuna yakın yerde bulunan 10-Z-A ve 13-Z-A noktalarında, hız 0,1 m/s değerlerine çıkmış, üç simülasyon saatinde 0,05 m/sn kadar bir yükselme görülmüştür. Kalabalığın ardından garda ısınan hava, artan yoğunluk farkı ile yukarı doğru hareket etmekte ve bu noktalardaki hava hızı az da olsa yükselmektedir (Şekil 5.14).

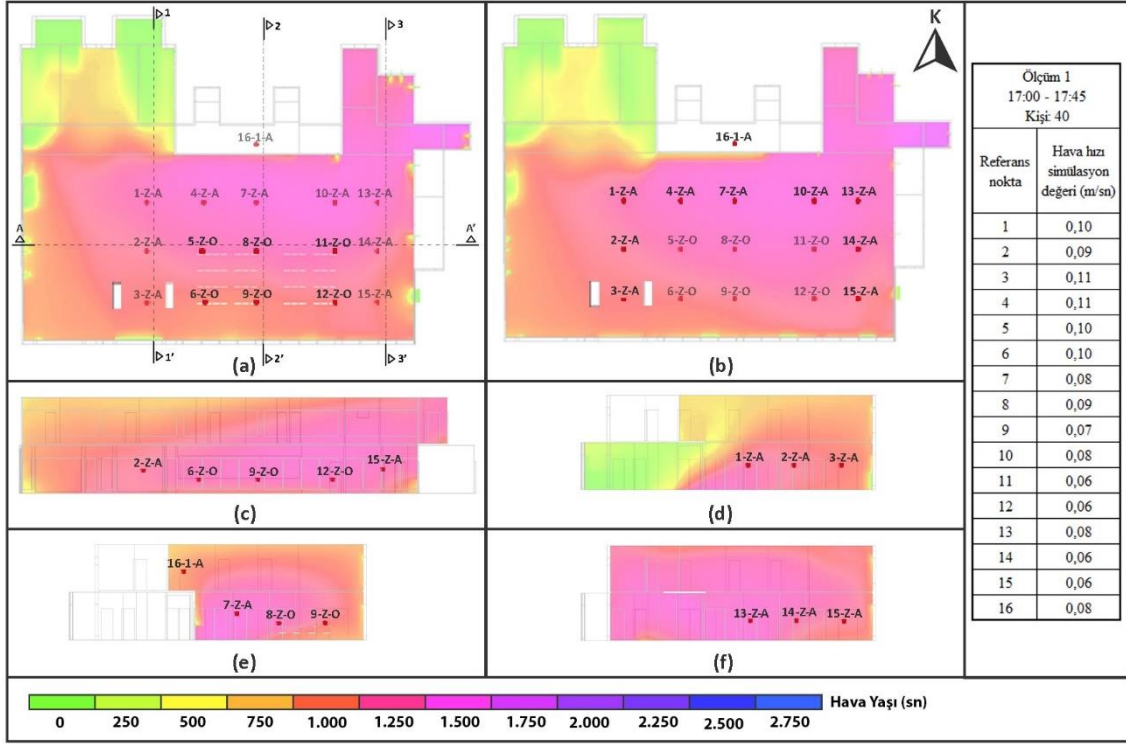
En yüksek hız değeri akşam simülasyonu 2’ de 3-Z-A noktasında ve 0,15 m/s olarak kaydedilmiştir (Şekil 5.14). Bu noktadan sonraki yüksek değerler, 1-Z-A, 6-Z-O, 4-Z-A ve 5-Z-O’ da oluşmuştur. Grafikte yüksek noktaların kapılara yakın konumda olanlar olduğu görülmektedir.

5.4. Referans Noktaların Hava Yaşı Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, tipik gün çarşambanın 3 ayrı zaman aralığı için yapılan CFD simülasyonlarının sonucunda edinilen hava yaşı verileri yer almaktadır. Salonun plan ve kesit düzlemlerinde hava yaşı dağılımını gösteren görseller aktarılmıştır. Salondaki hava yaşı dağılımı, görseller üzerinden genel olarak yorumlanmış, ardından 16 noktanın çarşamba gününün 3 simülasyon saatine ait sütun grafiği olarak işlenen hava yaşı değerleri, yüksek ve düşük değere sahip belli noktalar üzerinden değerlendirilmiştir.

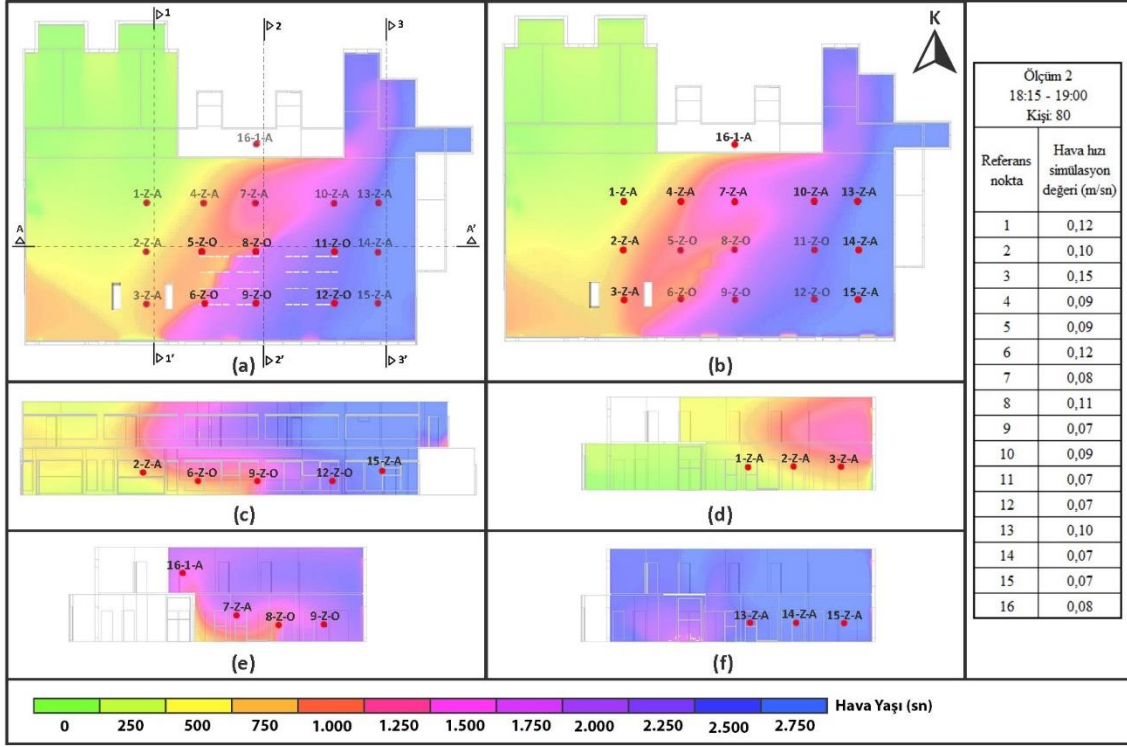
Aşağıdaki yer alan hava yaşı dağılım görselleri, salondaki taze havanın hareketini ve durgun alanları göstermektedir (Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17). Görsellere göre, 3 simülasyon saatinde de en düşük hava yaşı değerleri gar giriş kapısına yakın bölgededir. Simülasyon gününde hakim rüzgar yönü kuzey doğudur ve kuzeyde yer alan giriş kapısı taze havayı etkili biçimde içeri almaktadır. Güneyde yer alan çıkış kapısından, giriş kapısı kadar olmasa da taze hava girmektedir. Giriş kapısı taze havanın girdiği çıkış kapısı da iç mekan havasının çıktığı açıklık olduğu için bu hatta bir akım mevcuttur.

Akşamüzeri simülasyonu 1’ de salonun batısında hava yaşı daha düşük, doğusuna doğru daha fazladır. Simülasyon 1’ de hava yaşı 881-1.500 sn arasında değişmektedir. Bu simülasyon saatinde hava yaşının, salonun tümüne göre göre yüksek olduğu kısımlar danışmaya yakın olan bölge ve salonun doğusudur (Şekil 5.15.-a,b).



Şekil 5. 15. Akşamüzeri simülasyonu 1 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (17.00-17:45, kişi sayısı: 40)

Akşam simülasyonu 2' de salona giren taze hava, hava yaşı dağılımını etkilemiş, hava yaşı değerleri 343 ila 2.617 değer aralığında değişmiştir. Havanın kuzey doğuya doğru olan hareketi Şekil 5.16-a ve Şekil 5.16-b' de bulunan planlardan okunabilmektedir. Havanın bu yöne hareketi, daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi merdiven boşluğunda oluşan negatif basınçtan kaynaklanmaktadır. Bu hattın güney doğusunda kalan kısımda yer alan 11-Z-O, 12-Z-O, 13-Z-A, 14-Z-A, 15-Z-A noktalarında 2.500 sn ve üzeri değerler görülmüş olduğu için bu bölgede havalandırma yetersizdir. Yetersiz havalandırma ile birlikte, bu kısmı kullanan insan sayısı düşük olduğundan, maruz kalma oranı azdır. Dolayısıyla yalnızca hava yaşını ele almak, bulaş riski bağlamındaki değerlendirmeyi kısıtlamaktadır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında bulaş risk değerlendirilmesinde tüm parametrelerin birlikte değerlendirilmesi yoluyla noktaların risk durumları değerlendirilmiştir.

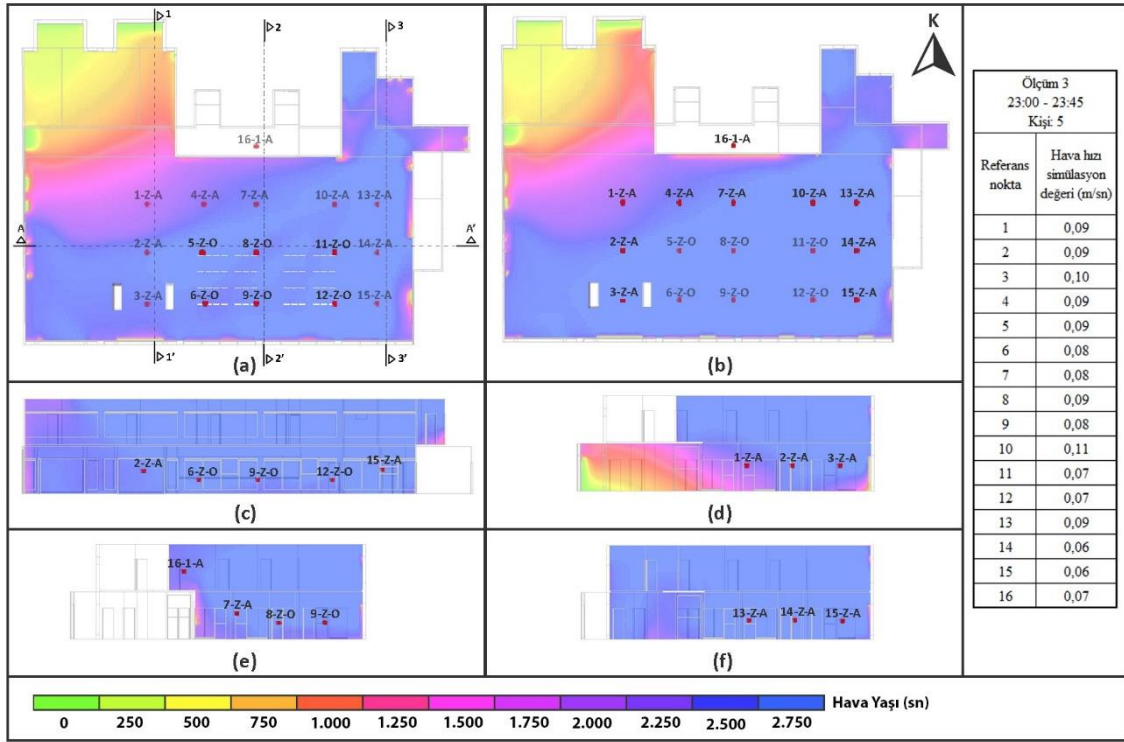


Şekil 5. 16. Akşam simülasyonu 2 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (18:15-19:00, kişi sayısı: 80)

Akşam simülasyonu 2' de insan sayısı 100 kişiye kadar çıkabilmekte ve iç mekan havası iyice kirlenmektedir. Akşamdan geceye doğru giderek açılma sıklığı azalan giriş-çıkış kapıları, kirli havanın dışarı çıkışını engellemektedir. Gece simülasyonu 3' te giriş kapısı nadiren açıldığı ve çıkış kapısı kapalı olduğu için hava yaşı salon genelinde 2.242-2.955 sn aralığında olup yüksek seviyelerdedir (Şekil 5.17). 3.000 sn' ye yaklaşan hava yaşı değerleri ve düşük çıkan hava hızları, bu vakitte havalandırmanın yetersiz olduğunu gösterir.

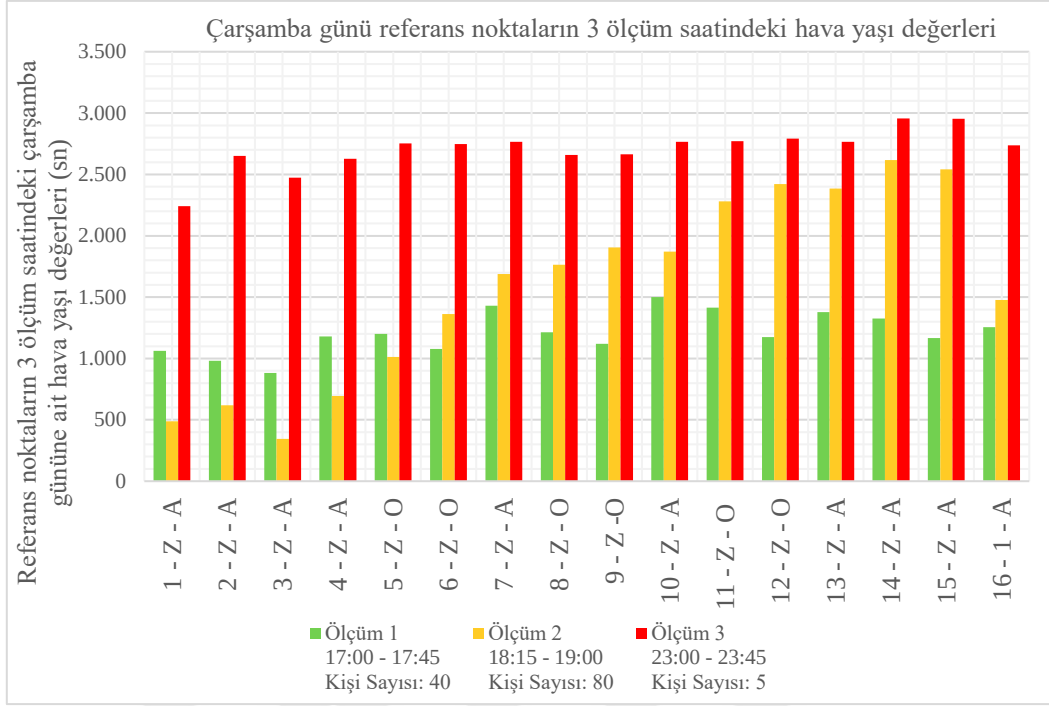
Giriş kapısı üzerinden geçen 1-1' Kesitinden anlaşılabildiği üzere giriş kapısı garın, zemin kat yüksekliğinde olan güvenlik holüne açılmaktadır (Şekil 5.17-d). Bekleme salonuna doğru ilerlediğinde galeri boşluğu sebebiyle yükseklik 2 kat kadar olmaktadır. Gece vaktinde galeri boşluklu salon hacmi, kalabalık saatte kirlenen ve salondan dışarı çıkamamış kirli hava ile doludur. (Şekil 5.17-c,d). Daha alçak kısımdan giren taze hava, bekleme salonuna doğru ilerlediğinde yoğunluk farkı ve hacimde oluşmayan hava akımları sebebiyle ilerleyememekte, salon hacmine dağılamamakta ve salonun zemin seviyelerinde durmaktadır. 1-1' Kesitindeki 1-Z-A noktasına göre bu giren taze havanın

nefes seviyelerine dahi çıkamadığı görülmektedir (Şekil 5.17-d). Bulaş riskinin azaltılmasında bir yöntem olarak etkin havalandırmada, taze yani kirletici ve virüs konsantrasyonu az olan havanın kullanıcı nefes seviyelerine çıkması beklenir. Bu sonuçlar gar hacmi gibi geniş, yüksek ve yüksekliği değişken hacimlerde, tek yönlü havalandırmanın bulaş riskini azaltmada oldukça yetersiz kaldığını göstermektedir.



Şekil 5. 17. Gece simülasyonu 3 vaktindeki hava yaşı dağılım görselleri: (a) +1,00 kotu planı, (b) +1,50 kotu planı, (c) A-A' kesiti, (d) 1-1' kesiti, (e) 2-2' kesiti, (f) 3-3' kesiti (23:00-23:45, kişi sayısı: 5)

Şekil 5.18' de görüldüğü gibi 11-Z-O, 12-Z-O, 13-Z-A, 14-Z-A, 15-Z-A noktalarının bulunduğu kısım yüksek hava yaşlarına sahiptir. Bu bölgeye, gara giren taze hava ulaşmamaktadır. Giriş-çıkış kapıları açık olduğunda dahi hava akımı merdiven boşluğuna doğru gerçekleşmekte, bu hattın kuzeyinde kalan kısımda havalandırma gerçekleşirken, gara giren taze hava bu hattın altında kalan üçgen şeklindeki bölgeye tam anlamıyla dağılamamaktadır.



Şekil 5. 18. Çarşamba günü referans noktaların 3 ölçüm saatindeki hava yaşı değerleri

CO₂ ve PM değerlerinin analizinde, giriş-çıkış kapısı arasındaki hatta bulunan 2-Z-A noktasının önünde bulunan 3-Z-A ve arkasındaki 1-Z-A' ya göre daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Hava yaşı grafiğinde de 2-Z-A noktası için aynı durum vardır. Bu durum, noktaya taze havanın yeterince ulaşmadığını tekrardan kanıtlamaktadır (Şekil 5.18).

Şekil 5.18' e göre en düşük değer akşam simülasyonu 2' de 3-Z-A noktasında ve 343 saniyedir. Bu noktadan sonraki en düşük değerler, kapılara yakın olan 1-Z-A, 2-Z-A, 4-Z-A, 5-Z-O, 6-Z-O noktalarındadır. En yüksek değer ise gece simülasyonu 3' te 14-Z-A noktasında 2.955 sn olmakla birlikte bu simülasyon saatindeki değerlerin genel olarak fazla olduğu görülmektedir. Akşam vaktinden sonra ise giderek azalan tren seferlerine bağlı olarak aralıklı havalandırma sıklığı ve giren taze hava miktarı düşmektedir.

5.5. Ölçüm Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Tespiti

Bekleme salonundaki insan sayısı, parametrelerin tümünü doğrudan veya dolaylı olarak etkilemiştir. İnsan sayısı arttıkça, solunum aktiviteleri ile salınan CO₂ miktarı, yolcu hareketliliğine bağlı olarak PM miktarı yükselmiştir. İnsan sayısının 165 kişi olarak en yüksek olduğu cuma gününde, hız dışındaki ölçüm parametrelerine ait değer ortalamaları

en yüksek çıkmıştır. Cuma gününde genel ortalama değerleri CO₂ için 685 ppm, PM için 341 µg/m³’ tür. Pazar günü ise 90 kişi ile insan sayısının en az olduğu gün olduğundan, genel ortalama değerler CO₂ için 596 ppm, PM_{2.5} için 249 µg/m³’ tür. Hız ve hava yaşı değerlerinde ise, açıklıkların kullanımı ve iklimsel faktörler etkilidir. Bununla birlikte gara giren yolcu sayısı, giriş-çıkış kapılarının açılma sıklığını belirlediği için, iç ortamdaki hava hızı ve hava yaşı değerlerini dolaylı olarak değiştirmektedir.

İki parametre arasında ilişkili bir durum görüldüğünde, bu ilişki, bazı vakitlerde üçüncü veya dördüncü bir parametrenin etkisi ile değişebilmektedir. Grafiklerde genel olarak insan sayısı arttıkça CO₂ miktarının yükseldiği görülmüştür. Fakat bu kabulden farklı bir durum olarak, insan sayısının fazla olduğu perşembe günkü CO₂ değerleri ortalaması cumartesiden düşük çıkmıştır. Bu durumun sebebi perşembe günü salonda oluşan iç hava hızlarının, cumartesiden fazla olmasıdır. Örneğin, 7-Z-A noktası açıklıklara uzak olmamasına rağmen tipik günün ortalamasında, CO₂ 667 ppm, PM_{2.5} 359 µg/m³, hava yaşı 1.961 sn olmak üzere ortalamanın üstünde, hava hızı ise 0,08 m/sn olmak üzere ortalamanın altında seyretmiştir. Noktaya taze havanın noktaya yeterince ulaşmaması ve noktanın insanlar tarafından sık kullanımı bu sonuçları doğurmuştur. Farklı parametrelerin birbirini etkilemesine bir diğer örnek 16-1-A noktasıdır. Bu noktadaki insan sayısı yok denecek kadar az olmasına rağmen PM dışındaki tüm parametreler için olumsuz değerleri vermiştir. Tipik günün ortalama değerleri için, CO₂ 699 ppm, PM_{2.5} 231 µg/m³, hava yaşı 1.824 sn, hava hızı ise 0,08 m/sn olmuştur. Salondaki konveksiyon yollu düşey hava hareketi 1. Kattaki bu noktanın kirli havaya maruz kalmasına neden olmuştur.

PM ölçümlerindeki PM_{2.5} ve PM₁₀ için referans noktaların değerleri çok benzer çıkmıştır. PM değerlerinin ikisi de insan kullanım sıklığına bağlı olarak gerçekleşen hareketlilik arttıkça yükselmiştir. PM değerleri ile CO₂ değerleri, insan sayısı bağlamında karşılaştırıldığında ise, bazı noktalarda ilişkili durumlar görülmektedir. Örneğin 2-Z-A ve 7-Z-A noktaları insanların sık kullandığı bölgelerdedir. Bu noktalardaki tipik günün ortalama CO₂ değerleri sırasıyla 730 ve 667 ppm, PM_{2.5} değerleri ise sırasıyla 326 ve 359 µg/m³’ tür. Ters bir duruma örnek 11-Z-O, 12-Z-O, 14-Z-A, 15-Z-A noktaları verilebilir. Bu noktalardaki tipik günün ortalama CO₂ değerleri sırasıyla 607, 659, 603 ve 587 ppm,

PM_{2.5} değerleri ise sırasıyla 315, 253, 284 ve 251 µg/m³’ tür. Bu noktaların insanlar tarafından daha az kullanılması, CO₂ ve PM_{2.5} değerlerini etkilemiştir.

İnsan sayısı ile birlikte tüm parametreleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen faktör hava hızıdır. Bu duruma salonun doğu bölgesindeki noktalar üzerinden örnek verilebilir. Açıklıklara yakın olan 3-Z-A ve 6-Z-O noktaları incelendiğinde tipik günün ortalama hava hızları sırasıyla 0,12 ve 0,1 m/sn olduğundan ortalamanın üstündedir. Buna bağlı olarak CO₂ ve PM_{2.5} değerleri sırasıyla 567 ve 627 ppm, 259 ve 315 µg/m³’ tür. Hava yaşı ortalamarı ise sırasıyla 1.232 1.729 sn olmuştur. Hızın arttığı noktalarda hava yaşı değerleri çoğunlukla düşmektedir. Hava yaşı ve hava hızının maksimum ve minimum değerlerinin olduğu nokta ve ölçüm saatleri, iki değer arasında ters orantı olacak şekilde birbiri ile aynıdır (EK-B).

5.6. Normalizasyon Yöntemi ile Yüksek Riskli Alanların Tespiti

Referans noktaların, çarşamba günkü akşamüstü, akşam ve gece vakitlerindeki CO₂ ile PM_{2.5} ölçüm değerleri ve hava hızı ile hava yaşı simülasyon değerleri, 3 ölçüm saatinin ortalamarı, ortalamarın normalizasyon değerleri EK-A ve EK-B’ deki tablolarda yer almaktadır. Bu 4 parametrenin 3 ölçüm saatindeki, referans noktalara ait ortalamarı alınmış, bu ortalama değerler x ile ifade edilmiş, normalizasyon denklemi Denklem (4.12) ve Denklem (4.13) kullanılarak normalize edilmiştir. Normalize edilen değerler, içinde 0 değeri en riskli, 1 değeri ise en risksiz durumu temsil etmektedir (EK-A ve EK-B). Referans noktaların, her parametre için aldığı değer, oluşturulan RBE denklemine girilmiştir. Tablo 5.3’ te referans noktaların nihai RBE değerleri, küçükten büyüğe sıralı olarak yer almaktadır.

Tablo 5. 3. Referans noktaların EK-A ve EK-B’ de hesaplanan bulaş riski değerleri tablosu

Referans Noktaların RBE Değerleri																
Denklem (4.14)	1 numaralı referans nokta için bulaş riski değeri: RBE ₁ = (CO ₂ değeri) ₁ + (PM _{2.5} değeri) ₁ + (Hava hızı değeri) ₁ + (Hava yaşı değeri) ₁															
Referans Nokta	7- Z-A	11- Z-O	14- Z-A	12- Z-O	2- Z-A	4- Z-A	10- Z-A	9- Z-O	15- Z-A	13- Z-A	16- 1-A	8- Z-O	5- Z-O	6- Z-O	1- Z-A	3- Z-A
Normalizasyon Değeri	1,02	1,33	1,36	1,49	1,57	1,72	1,80	1,80	1,82	1,83	1,93	1,93	2,02	2,12	2,40	3,78
Referans Noktaların Ortalama RBE değeri	1,87															

dahil edildiği risk baskılama endeksi denklemi ile hesaplanan değerleri analiz edildiğinde her noktanın farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu değerlere bağlı olarak, salondaki bulaş riskinin kısımdan kısma değiştiği tespit edilmiştir.

Genel olarak kapılara yakın noktaların RBE değerleri yüksek, hava akış hattına uzak noktaların düşük çıkmıştır. Bununla birlikte açıklıklara yakın olan 2-Z-A, 4-Z-A ve nispeten yakın olan 7-Z-A noktalarında bu durumun tersi olarak düşük RBE değerleri çıkmıştır. 7-Z-A 1,02 RBE ile salondaki en düşük, 2-Z-A 1,57 RBE, 4-Z-A ise 1,72 RBE değerini almıştır. Bu 3 noktanın ortak özelliği, yüksek CO₂ ve düşük hız değerlerine sahip olmaları ve sık kullanılan konumlarda yer almalarıdır. 4-Z-A ve 7-Z-A' da PM değerlerinde artışlar görülmüş, ek olarak 7-Z-A' da hava yaşının yükseldiği görülmüştür.

Kapıya en yakın ve rüzgara direkt maruz kalan nokta 3-Z-A, diğer noktalar ile arasında ciddi bir fark olmak üzere en yüksek olan 3,78 RBE değerini almıştır. Ardından, kapıya yakın diğer noktalar olan 1-Z-A 2,40 RBE, 6-Z-O 2,12 RBE, 5-Z-O ise 2,02 RBE olmak üzere yakın değer aralıklarında olmak üzere sıralanmıştır. Kapılara nispeten yakın olan 7-Z-A (1,02 RBE) ve 9-Z-O (1,80 RBE) dikey hattında yer alan 8-Z-O, hattın iki ucundaki diğer iki noktaya göre daha yüksek olan 1,93 RBE değerindedir. Bunun sebebi, akşam ve akşamüzeri vakitlerinde K3 kapısından merdiven boşluğuna doğru gerçekleşen hava akımının etkisidir. Bu akım çizgisi üzerinde kalan 8-Z-O' da yüksek hava hızı değerleri ölçülmüş, buna bağlı olarak kirletici yoğunluğu, aynı düşey hatta yer aldığı 7-Z-A ve 9-Z-O' ya göre daha az çıkmıştır.

Merdiven boşluğuna yakın olan 13-Z-A ve 10-Z-A noktaları ortalamanın altında CO₂ ve PM değerleri ile yüksek hava yaşı değerlerine sahiptirler. Salonun düşük RBE değerinde olan doğu bölgesinde yer almalarına rağmen, bu iki noktadaki nispeten yükselen hız sonuçları, ortalamaya yakın olan sırasıyla 1,83 RBE ve 1,80 RBE değerlerini almalarını sağlamıştır. 13-Z-A ve 10-Z-A' nın altında kalan salonun güneydoğu bölgesindeki 12-Z-O 1,49 RBE, 11-Z-O 1,33 RBE, 14-Z-A 1,36 RBE değeri ile, 7-Z-A' dan sonra en riskli halledirler. Bu noktaların üçünde de CO₂ ve PM sonuçları insan kullanım sıklığına bağlı olarak az olmasına rağmen, yetersiz hava akışına bağlı olarak düşük hava hızı yüksek hava yaşı sonuçları, RBE değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur.

Son olarak 15-Z-A ve 16-1-A noktalarının ikisi de, düşük hava hızlarına rağmen ortalama risk değerine yakın olan sırasıyla 1,82 ve 1,93 RBE değerini almışlardır. Bu iki noktada PM değerleri düşük çıkmıştır. CO₂ değerleri ise 15-Z-A' nın oldukça düşük, 16-1-A' nın ise yüksektir. İki noktanın yakın RBE değerine sahip olmasında 16-1-A' daki hız sonuçlarının 15-Z-A' ya göre yüksek, hava yaşının ise daha düşük olması etkili olmuştur.

Bu bölümde, virüs yayılımı ile ilişkili 4 parametre olan hava hızı, hava yaşı, CO₂ ve PM_{2.5} değerlerini dahil ederek oluşturulan denklem ile tespit edilen bulaş riski noktalar üzerinden değerlendirilmiş. Bir sonraki bölüm 6. Sonuç ve Öneriler kısmında riskli olduğu tespit edilen alanların iyileştirilmesine yönelik yaklaşımlar açıklanmıştır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsan, yaşamının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirmektedir. Günlük yaşamda kullanılan, birçok insanın aynı anda birlikte bulunduğu kapalı mekanlar arasında olan kamusal mekanlar ise olumsuz koşullar altında salgın hastalıkların yayılımı için elverişli hale gelmektedirler. Gün içinde farklı illerden gelen ve farklı illere giden birçok insanın uğradığı, belli zamanlarda kalabalıklaşan kapalı kamusal alanlar olarak ulaşım yapılarında virüsler, temas halindeki insanlar arasında hızlıca yayılabilir. Binadaki bulaş sayısındaki artış, virüsün enfekte olan insanlar ile birlikte seyahat ederek giderek daha fazla konak bulmasına sebep olur. Bu durum pandemi oluşumunu tetikleyebilecek bir faktördür. Dünya çapında yayılarak pandemilere sebep olan patojenler, yüksek mutasyon yeteneğine sahip olduğundan, uzun süre aktif halde kalabilen dirençli mikroorganizmalardır. Bu durum toplumsal bağışıklığın geç kazanılmasına ve bu süreçte pandeminin büyümesine sebep olur.

İnsandan insan bulaşan salgın hastalıklara sebep olan patojenler içinde hava yoluyla bulaşma yeteneğine sahip olanlar, enfekte bireylerin solunum aktiviteleri sonucunda iç mekan havasına karışırlar. Temas halindeki insan sayısının fazla olduğu mekanlar arasında olan ulaşım yapılarında, iç mekan havasındaki virüs konsantrasyonun düşürülmesi için mimari çözümlerin uygulanması ile sağlıklı mekan koşullarının sağlanması yoluyla, yapılar salgın dirençli hale getirilerek, yerel ölçekte pandemi oluşumunun önüne geçilebilir. Mekan havasındaki virüs yükünün düşürülmesinde havalandırma en etkin yöntem olarak önerilmektedir. Mekan havalandırmasında pasif yöntemlerin etkin kullanımıyla taze hava girişinin ve mekan içinde dolaştırılmasının artırılması ile salgın riski azaltılarak, kullanıcıların sağlık koşulları iyileştirilebilir, ekonomik ve ekolojik fayda sağlanabilir.

Açıklanan unsurlar doğrultusunda bu tez çalışmasında, literatürde kısıtlı bir alana sahip olan ulaşım yapıları arasındaki garlara örnek olarak İzmit Tren Garı binası seçilmiştir. Garın bekleme salonu, gün içinde belirli saatlerde kalabalıklaşan, farklı illerden gelen insanların kullandığı ve bu sebepler ile hava yoluyla yayılan bir salgın durumunda gerekli önlemler alınmadığında kullanıcılar için riskli olabilecek bir mekandır. Olumsuz koşulların oluşmaması adına, mekan özelindeki havalandırma stratejilerinin uygulanması

gereklidir. Bina gerek ısıtma gerek soğutma dönemlerinde, doğal havalandırıldığından, iyileştirme stratejileri için müsaittir.

Hava yoluyla yayılan salgın hastalıklara örnek olarak 2019 yılında ortaya çıkan Covid-19 virüsü ele alınmış ve virüsün yayılım dinamikleri araştırılmıştır. Yapılan literatür taramalar doğrultusunda çıkarılan, Covid-19 virüsünün yayılımını etkileyen iç hava parametreleri olan CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı değerlerinin belirlenmesi için bekleme salonunda 6 – 10 Mart aralığında 5 gün boyunca günün 3 farklı saatinde ölçümler ve bu ölçümler ile belirlenen tipik günün 3 saati için, bilgisayar ortamında CFD simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Doğal havalandırmanın daha kısıtlı olduğu ısıtma döneminde gerçekleştirilen ölçüm ve simülasyonlarda, kullanıcıların sıklıkla kullandığı ayakta ve oturma kotlarındaki solunum bölgelerine yerleştirilen referans noktaların değerleri elde edilmiştir. Parametrelere ait bu veriler, normalize edilerek her referans noktanın bulaş riskini temsil eden, RBE (risk baskılama endeksi) denkleminde kullanılmış ve noktaların RBE sonuçlarına göre salondaki iyileştirilmesi gereken kısımlar tespit edilmiştir.

Salonda yapılan ölçüm ve simülasyon sonuçları, CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı parametrelerindeki değişimin insan sayısı ve havalandırma sıklığından etkilendiğini göstermektedir. İnsanların sık kullandığı noktalarda yüksek CO₂ değerleri ölçülmüştür. İnsan sirkülasyonunun fazla olduğu sık kullanılan geçiş noktalarında, resüpsansiyona ve dışarıdan taşınmaya bağlı olarak yüksek PM değerleri ölçülmüştür. Açıklıklara yakın olan kısımlarda hava hızı yükselmiş, hava yaşı düşmüştür. Dolayısıyla, salondaki bulaş riskini etkileyen temel faktörler insan sayısı, havalandırma sıklığı ve temiz havanın dağılımıdır.

Ölçüm ve simülasyon parametrelerin tekil olarak ele alınması bazı durumlarda yanıltabilmektedir. CO₂ tekil olarak ele alındığında değeri düştükçe bulaş riski azalmaktadır. Fakat 11-Z-O, 12-Z-O ve 14-Z-A noktalarında insan kullanımı az ve CO₂ değerleri fazla olmasına rağmen RBE değerleri, taze havanın az ulaşması nedeniyle düşüktür. Bazı durumlarda ise noktada ölçülen bir parametrenin olumlu olması, başka bir parametrenin olumsuz olmasına bağlı olarak bulaş riskinin yükselmesine etki etmemektedir. Örneğin hava hızının düşük olduğu noktalarda, hava yaşının yüksek çıktığı görülmüş olsa da 16-Z-A noktasında olduğu gibi bunun tersi sonuçlar vardır. Bu noktada hava hızının yükseldiği vakitlerde bile hava yaşları, havanın türbülans hareketine bağlı

olarak yüksek çıkmıştır. Parametreler arası bu ilişkiler, parametrelerin tekil olarak ele alınmasının yanlış sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Ele alınan parametrelerin her biri virüs yayılımına etki etmek ile beraber tekil olarak ele alınmaları noktanın risk durumunun belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla çalışmada, simülasyon ve ölçüm ile elde edilen dört parametrenin sonuçlarının bulaş riskini tespit eden denklemde girdiler haline getirilerek kullanılması, gardaki bulaş tehlikesi olan kısımların belirlenmesinde etkili bir yaklaşım olmuştur.

Tipik gün olan çarşamba için gerçekleştirilen simülasyon ve yapılan ölçüm sonuçlarına göre salonun havalandırması ağırlıklı olarak giriş-çıkış kapılarının açılıp kapanması yoluyla sağlanmaktadır. Salona giren temiz havanın büyük bir kısmı, yolcular giriş çıktıkça açılıp kapanan kapılar ile sağlandığı için ele alınan CO₂, PM, hava hızı ve hava yaşı parametrelerin değerleri kapıların kullanımı ile değişmektedir. Akşam gerçekleştirilen ölçüm 2 vaktindeki kalabalıktan sonra salon giderek sakinleştiği için kapıların açılma sıklığı da azalmıştır. Gece ölçümü 3 vaktinde salonda, havalandırma yalnızca giriş kapısının nadiren açılması ile tek yönlü olarak gerçekleştiği için taze havanın mekanda ilerleyemediği ve buna bağlı olarak CO₂, PM ve hava yaşı değerlerinin yüksek, iç hava hızlarının düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür. Ölçüm 2 zamanında insan solunum aktivitelerinin artması ile kirlenen hava, havalandırılmayan mekanda sıkışıp kalmış, temiz hava girişinin de azalması ile kirleticilerinden seyreltilmemiştir. Herhangi bir salgın durumunda akşam saatinden sonra salonun yeterince havalandırılmayarak viral yükünün seyreltilmemesi, gecedен sabaha kadar kümülatif enfeksiyona neden olarak mesai yapan gar personelleri için risk oluşturmaktadır. Etkin bir doğal havalandırma senaryosunda, mekana giren temiz havanın mekan içinde dağıtılması, bulaş riskinin düşürülmesi amacıyla solunum bölgesinde dolaşması gerekmektedir. Bekleme salonu gibi yüksek ve büyük hacimlerde havalandırmanın tek yönlü gerçekleştirilmesi bulaş riskinin düşürülmesi bakımından yeterli bir uygulama değildir. Kalabalık olan akşam saatinden sonra garın çapraz yönlü etkin biçimde havalandırılması gerekmektedir.

Gün içinde çapraz havalandırmanın gerçekleştiği akşam ve akşamüzeri saatlerde, iç hava parametreleri, tek yönlü havalandırmanın olduğu gece saatine göre daha olumlu değerdedirler. Bazı noktalar ise, salonun batısındaki çapraz havalandırma hattına yakın

olmalarına rağmen insan sirkülasyonunun fazla olması ve çevredeki insanların hava akışına engel olması, RBE değerlerinin düşmesine sebep olmuştur. Çapraz havalandırmadan kaynaklı hava akışının gerçekleştiği güzergahta yer alan 2-Z-A noktası, açık olan çıkış kapısına yakın konumuna rağmen düşük RBE değerine sahiptir. Bu noktada, bilet kontrol sırasında insanların yakın mesafelerde beklemesi hava değişiminin verimli gerçekleşememesine ve hava hızının düşük, hava yaşının yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca yakın duran insanların solunum aktivitelerinin artması sebebiyle, bölgede üretilen CO₂ fazladır. Benzer şekilde danışma önünde yer alan 7-Z-A noktası, salonun ortalarında ve çapraz havalandırma hattına uzak olmamasına rağmen salondaki en düşük RBE değerine sahiptir. 7-Z-A noktasında tüm parametreler olumsuz değerleri vermiştir. Danışma önünde yer alan bu noktaya taze havanın yeterince ulaşmaması ve buradaki insan kullanımının fazla olması, noktayı riskli hale getirmektedir. Dolayısıyla salon etkin bir şekilde havalandırılrsa dahi bu noktalarda damlacık ve hava yollu yayılım riskinin düşürülmesi amacıyla ek tedbirlerin uygulanması gerekmektedir. Bilet sırası ve danışma kısımlarına, taze havanın az ulaşması ve insan sayısının artmasına bağlı olarak düşen RBE değeri, insanlar arası ancak sosyal mesafenin korunması ile düşürülebilir. Ayrıca insan sıklığının seyreltilmesi ile hava akışı arttırılarak, hava değişim miktarı yükseltilebilir.

Salonda çapraz havalandırmanın olduğu saatlerde parametrelere ait değerler olumlu sonuçlar vermiş olsa da, taze havanın ulaşmadığı bölgeler mevcuttur. Salonun güney doğusu başta olmak üzere, bu bölüme ve danışma bölgesine taze hava yeterince ulaşmamaktadır. Salonun güneydoğu kısmında yer alan 11-Z-O, 12-Z-O ve 14-Z-A yüksek hava yaşları ve düşük hava hızları, noktaların RBE değerlerinin düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Taze havanın yeterince ulaşmadığı kısımların, salon içi hava niteliğinin yükseltilerek iyileştirilmesi için, mevcut çapraz havalandırma performansını arttıracak açıklıkların kullanımı gerekmektedir. Bulaş riskinin yüksek olduğu mevcut çapraz havalandırma hattına daha uzak olan, 11-Z-O, 12-Z-O ve 14-Z-A noktalarının yer aldığı salonun güneydoğu bölgesine taze hava iletiminin arttırılması adına, bu bölgeye açılan mevcut açıklıkların kullanımı değerlendirilebilir. Bu kısımdaki cephe açıklıkları incelendiğinde, kuzeyinde personel odalarının bulunduğu yönetim biriminde yer alan, personeller

tarafından giriş-çıkış için kullanılan, kullanılmadığında kilitlenen K17 ve K21 kapılarının olduğu görülmektedir. Bölgeye taze hava ulaşımının arttırılması amacıyla, bu kapılardan biri, mevcut kullanımı şeklinde bırakılıp, diğeri ise salonun havalandırılması için kullanılabilir. Hakim rüzgar yönünde bulunan ve rüzgarlık olarak tasarlanan K17 ve K21 kapılarından birinin cephede yer alan kapısının, kullanıcıların kullanmaması ve güvenliğin sağlanması sebebiyle uygun boyutta pencere haline getirilmesi ve bu pencere ile salona bakan kapı kısmının gereken durumlarda açılması sağlanabilir. Kalabalık olan akşam ölçümü vakti 18:15-19:00 aralığından sonraki zaman diliminde kapıların karşı cephesinde yer alan P5 penceresinin de açılması ile salonun güney doğusundaki riskli bölgede oluşan basınç farkıyla çapraz havalandırma sağlanabilir.

Mevcut açıklıklara ek olarak karşılıklı cephelere yerleştirilecek sabit menfezler ile bölgedeki hava değişimi arttırılabilir. Menfezlerin döşemeden itibaren farklı kotlarda konumlandırılması ile, taze havanın dikey sirkülasyonda solunum kotlarına çıkması sağlanabilir.

Bulaş riski yüksek bölgedeki kirli havanın egzozunun sağlanması için, sıcaklık farkından kaynaklanan konveksiyon yollu hava hareketi kullanılabilir. Bölgedeki merdiven boşluğu bacanın dikey kanalı, bu kanal üzerinde yerleştirilecek çatı açıklığı bacanın çıkışı olarak tasarlanarak bölgedeki kirlenen havanın egzozu sağlanabilir.

Salonun bulaş riskinin diğer bölgelerine göre daha yüksek olduğu güneydoğu kısmındaki hava değişiminin arttırılması adına sunulan alternatif doğal havalandırma şekillerinin, ısıtma dönemindeki ısıl konfor ile iç hava kalitesini optimize ederek seçilmesi gereklidir. İleride yapılacak çalışmalarda uygun alternatifin seçimi adına, açıklıkların boyutu, açılma süreleri, aralıklı havalandırma vakitleri belirlenmesi CFD simülasyonları ile değerlendirilerek belirlenebilir. Böylece, bölgedeki hava değişim miktarını arttıracak etkin bir doğal havalandırma senaryosu seçilerek bu kısımdaki referans noktaların RBE değerleri yükseltilebilir. Pasif yöntemin yetersiz zamanların tespit edilmesi durumunda ise, kısmi mekanik yöntemin entegre edilebileceği hibrit sistemlerin işletme ve planlaması değerlendirilebilir.

Garda bulaş riskinin iyileştirilmesi için sıralanan öneriler doğrultusunda gar yönetimine düşen sorumluluk, öncelikle iç mekan havasındaki viral yükünün azaltılması için

Çalışmanın devamında, yukarıdaki paragrafta açıklanan yaklaşımlar ile belirlenecek uygun doğal havalandırma senaryosunun uygulanmasıdır. Ek olarak kalabalıklaşan bölgeler olan bilet sırası ve danışma önünde sosyal mesafenin korunması, gün içinde yapılan temizliklerin kalabalık saatlerden sonra ve ıslak olarak yapılması önem taşımaktadır.

Yapılan alışma kapsamında, gözlem, analiz, ölçüm ve simülasyonlar aracılığıyla geliştirilen alternatif bir metot ile İzmit Tren Garı' ndaki bulaş riskli kısımların tespiti yapılmıştır. İzmit Tren Garı yapısı gibi geniş, büyük ve yüksekliği değışken hacimlerde, türbölans, girdap, konveksiyon şeklindeki çeşitli hava hareketleri gerçekleşmektedir. Bu ölçekteki binaların hacimsel ve çok boyutlu olarak ele alınarak temiz hava dağılımının ve kirli hava egzozunun verimli şekilde sağlayan etkin doğal havalandırma senaryolarının seçimi önem taşımaktadır. Mekan özelinde oluşturulacak doğal havalandırma senaryolarının kullanımı, insanların gün içinde kullandığı kapalı kamusal binaların bulaş riskinin azaltılarak sağlıklı mekanlar haline getirilmesi için oldukça kolay, ekonomik ve ekolojik bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- Aburdene, M. F. (1988). *Computer Simulation of Dynamic Systems* (1). William C. Brown Publishers. Dubuque, Iowa.
- Ajirlou, I.F. (2022). Yeşil Bina Kriterleri Kapsamında Havalandırmalı Pencerelele ile İç Hava Kalitesinin Kontrolü ve Isıl Performans Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 728423.
- Alves, C., Nunes, T., Silva, J., Duarte, M. (2013). Comfort Parameters and Particulate Matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in School Classrooms and Outdoor Air. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(5), 1521-1535. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.11.0321>
- Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M., Ristenpart, W. D. (2019). Aerosol Emission and Superemission During Human Speech Increase with Voice Loudness. *Scientific reports*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>
- ASHRAE. (1998). *AHSRAE Temel El Kitabı (Fundamentals)* (Teknik Yayınlar: 2). Tesisat Mühendisleri Derneği, İstanbul.
- ASHRAE. (2004). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (Standard 62.1-2004). Atlanta.
- ASHRAE. (2007). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (Standard 62.1-2007). Atlanta.
- ASHRAE. (2008). *Ventilation of Health Care Facilities* (Standard 170-2008). Atlanta.
- ASHRAE. (2013). *Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy* (Standart 55-2013). Atlanta
- ASHRAE. (2019). *Ventilation for Acceptable Indoor air Quality* (Standart 62.1-2019). Atlanta
- ASHRAE. (2022). *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality* (62.1-2022). Atlanta.
- Aydın, D., Mihlayanlar, E. (2017). Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin İncelenmesi. *Megaron*, 12(2), 213-227. <https://dx.doi.org/10.5505/megaron.2017.07830>
- Awbi, H.B., (2003). *Ventilation of Buildings* (2). Spon Press, London.
- Batterman, S. (2017). Review and Extension of CO₂-based Methods to Determine Ventilation Rates with Application to School Classrooms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2), 145. <https://doi.org/10.3390/ijerph14020145>

- Bhadoria, P., Gupta, G., Agarwal, A. (2021). Viral Pandemics in the Past Two Decades: an Overview. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(8), 2745-2750. https://doi.org/10.4103/jfmipc.jfmipc_2071_20
- Bhagat, R. K., Wykes, M. D., Dalziel, S. B., Linden, P. F. (2020). Effects of Ventilation on the Indoor Spread of Covid-19. *Journal of Fluid Mechanics*, 903, F1-1-F1-18. <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.720>
- Bontempi, E., Vergalli, S., Squazzoni, F. (2020). Understanding Covid-19 Diffusion Requires an Interdisciplinary, Multi-Dimensional Approach. *Environmental Research*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109814>
- Bolat, M. T. (2022). Salgın Hastalık Kavramı; Tarihte Görülen Salgın Hastalıklar ve Mücadele Yöntemleri. *Sciences (Joshas Journal)*, 8(50), 370-379. http://dx.doi.org/10.31589/JO_SHAS.920
- Chatzidiakou, L., Mumovic, D., Summerfield, A. (2015). Is CO₂ a Good Proxy for Indoor Air Quality in Classrooms? Part 1: The Interrelationships Between Thermal Conditions, CO₂ Levels, Ventilation Rates and Selected Indoor Pollutants. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(2), 129-161. <https://doi.org/10.1177/0143624414566244>
- Cichowicz, R., Steleowski, A. W. (2017). Analysis of Air Distribution Using “Age of Air” Concept in the Selected Boiler Room. *World Scientific News*, 88(2), 168-182.
- Coelho, M. T. P., Rodrigues, J. F. M., Medina, A. M., Scalco, P., Terribile, L. C., Vilela, B., ... Dobrovolski, R. (2020). Global Expansion of Covid-19 Pandemic is Driven by Population Size and Airport Connections. *PeerJ*, 8, e9708. <https://doi.org/10.7717/peerj.9708>
- Coşar, M. (2023). İç Ortam Hava Kalitesi ve Sağlıklı Çevre Bağlamında Binalarda Doğal Havalandırma Stratejileri. Yüksek Lisans Tezi. Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 790939.
- Çakır, S. (2009). İç Hacim Konfor Şartlarının Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 251546.
- Darçın, P. (2008). Yapı İç Hava Kirliliğinin Giderilmesinde Doğal Havalandırma İlkeleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 238168.
- Darçın, P. (2014). Yapı İç Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 378459.
- Di Gennaro, F., Petrosillo, N. (2022). New Endemic and Pandemic Pathologies with Interhuman Airborne Transmission through Ear, Nose and Throat Anatomical

Sites. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 42(Suppl 1), S5-S13. <https://doi.org/10.14639/0392-100X-suppl.1-42-2022-01>.

- Dollard, P. (2020). Risk Assessment and Management of Covid-19 Among Travelers Arriving at Designated US Airports, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69 (45), 1681-1685. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6945a4>
- Fantozzi, F., Lamberti, G., Leccese, F., Salvadori, G. (2022). Monitoring CO₂ Concentration to Control the Infection Probability due to Airborne Transmission in Naturally Ventilated University Classrooms. *Architectural Science Review*, 65(4), 306-318. <https://doi.org/10.1080/00038628.2022.2080637>
- Fears, A. C., Klimstra, W. B., Duprex, P., Hartman, A., Weaver, S. C., Plante, K. S., ... Roy, C. J. (2020). Persistence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Aerosol Suspensions. *Emerging Infectious Diseases*, 26(9), 2168-2171. <https://doi.org/10.3201/eid2609.201806>
- Feng, K., Yanagita, Y., Miyamura, Y., Basri, A. A., Zuber, M., Rohani, S., Tamagawa, M. (2023). CFD Analysis of Indoor Ventilation for Airborne Virus Infection. *Journal of Advanced Research in Numerical Heat Transfer*, 14(1), 1-16. <https://doi.org/10.37934/arnht.14.1.116>
- Fermo, P., Artíñano, B., De Gennaro, G., Pantaleo, A. M., Parente, A., Battaglia, F., Miani, A. (2021). Improving Indoor Air Quality through an Air Purifier able to Reduce Aerosol Particulate Matter (PM) and Volatile Organic Compounds (VOCs): Experimental Results. *Environmental Research*, 197, 111131. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111131>
- Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold, Kanada: John Wiley & Sons, Inc.
- Goyal, R., Khare, M. (2009). Indoor–Outdoor Concentrations of RSPM in Classroom of a Naturally Ventilated School Building Near an Urban Traffic Roadway. *Atmospheric Environment*, 43(38), 6026-6038. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.031>
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D. J., Shaughnessy, R. J. (2011). Association Between Substandard Classroom Ventilation Rates and Students' Academic Achievement. *Indoor air*, 21(2), 121-131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00686.x>
- Hess-Kosa, K. (2018). *Indoor Air Quality: The Latest Sampling and Analytical Methods* (3). CRC press, Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Jahanbin, A., Semprini, G. (2024). On the Optimisation of Age of the Air in the Breathing Zone of Floor Heating Systems: The Role of Ventilation Design. *Energy and Built Environment*, 5(1), 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.08.005>

- Jang, S., Han, S. H., Rhee, J. Y. (2020). Cluster of Coronavirus Disease Associated with Fitness Dance Classes, South Korea. *Emerging Infectious Diseases*, 26(8), 1917-1920. <https://doi.org/10.3201/eid2608.200633>
- Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B., Manatunge, J. (2020). Transmission of Covid-19 Virus by Droplets and Aerosols: A Critical Review on the Unresolved Dichotomy. *Environmental Research*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819>
- Karaca, Ü. B. (2022). İlkokul Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 60-67. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1018560>
- Kenarkoohi, A., Noorimotlagh, Z., Falahi, S., Amarloei, A., Mirzaee, S. A., Pakzad, I., Bastani, E. (2020). Hospital Indoor Air Quality Monitoring for the Detection of SARS-CoV-2 (Covid-19) Virus. *Science of the Total Environment*, 748. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141324>
- Khyar, O., Allali, K. (2020). Global Dynamics of a Multi-Strain SEIR Epidemic Model with General Incidence Rates: Application to Covid-19 Pandemic. *Nonlinear Dynamics*, 102(1), 489-509. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05929-4>
- Kohanski, M. A., Lo, L. J., Waring, M. S. (2020). Review of Indoor Aerosol Generation, Transport, and Control in the Context of Covid-19. *International Forum of Allergy & Rhinology (Vol. 10, No. 10)*, 1173-1179. <https://doi.org/10.1002/alr.22661>
- Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P. (1998). Airborne Respiratory Diseases and Mechanical Systems for Control of Microbes. *HPAC Heating, Piping, Air Conditioning*, 70(7). 34-48.
- Lechner, N. (2009). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects* (3rd ed.). Amerika: John Wiley and Sons.
- Leclerc, Q. J., Fuller, N. M., Knight, L. E., Funk, S., Knight, G. M., CMMID Covid-19 Working Group. (2020). What Settings Have Been Linked to SARS-CoV-2 Transmission Clusters?. *Wellcome Open Research*, 5:83. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15889.2>
- Lei, Z., Liu, C., Wang, L., Li, N. (2017). Effect of Natural Ventilation on Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Dormitory during Winter. *Building and Environment*, 125, 240-247. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.051>
- Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Feng, Z. (2020). Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *New England Journal of Medicine*, 382(13), 1199-1207. <https://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>

- Li, Y., Leung, G.M., Tang, J., Yang, X., Chao, C., Lin, J.Z., et al., (2007). Role of Ventilation in Airborne Transmission of Infectious Agents in the Built Environment - a Multidisciplinary Systematic Review. *Indoor Air* 17, 2–18. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>
- Li, Y., Qian, H., Hang, J., Chen, X., Hong, L., Liang, P., Kang, M. (2021). Evidence for Probable Aerosol Transmission of SARS-CoV-2 in a Poorly Ventilated Restaurant, *Building and Environment* 196. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107788>
- Light, E., Bailey, J., Lucas, R., Lee, L. (2020). HVAC and Covid-19: Filling the Knowledge Gaps. *ASHRAE Journal*, 62(9), 20-28.
- Li, Y., Huang, X., Yu, I. T., Wong, T. W., Qian, H. (2005). Role of Air Distribution in SARS Transmission during the Largest Nosocomial Outbreak in Hong Kong. *Indoor Air*, 15(2), 83-98. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00317.x>
- Lu, J., Gu, J., Li, K., Xu, C., Su, W., Lai, Z., Yang, Z. (2020). Covid-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, 26(7), 1628-1631. <https://doi.org/10.3201/eid2607.200764>
- Marquioni, V. M., de Aguiar, M. A. (2021). Modeling Neutral Viral Mutations in the Spread of SARS-CoV-2 Epidemics. *PLoS One*, 16(7), e0255438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255438>
- Megahed, N. A., Ghoneim, E. M. (2021). Indoor Air Quality: Rethinking Rules of Building Design Strategies in Post-Pandemic Architecture. *Environmental Research*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110471>
- Meiss, A., Feijó-Muñoz, J., García-Fuentes, M. A. (2013). Age of the Air in Rooms According to the Environmental Condition of Temperature: A Case Study. *Energy and Buildings*, 67, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.016>
- Mirade, P. S. (2008). Computational Fluid Dynamics (CFD) Modelling Applied to the Ripening of Fermented Food Products: Basics and Advances. *Trends in Food Science & Technology*, 19(9), 472-481. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.01.014>
- Morawska, L., Tang, J. W., Bahnfleth, W., Bluyssen, P. M., Boerstra, A., Buonanno, G., Yao, M. (2020). How Can Airborne Transmission of Covid-19 Indoors be Minimised?. *Environment International*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- Morawska, L., Cao, J. (2020). Airborne Transmission of SARS-CoV-2: The World Should Face the Reality. *Environment International*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>

- Örgev, Z., Bayraktar, N.T. (2022). Evaluation of Wind Tower Effectiveness in Rammed Earth Building. *Proceedings of BSO Conference 2022: 6th Conference of IBPSA-England*, 13-14 Aralık 2022.
- Park, S., Choi, Y., Song, D., Kim, E. K. (2021). Natural Ventilation Strategy and Related Issues to Prevent Coronavirus Disease 2019 (Covid-19) Airborne Transmission in a School Building. *Science of the Total Environment*, 789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147764>
- Peng, Z., Jimenez, J. L. (2021). Exhaled CO₂ as a Covid-19 Infection Risk Proxy for Different Indoor Environments and Activities. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(5), 392-397. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00183>
- Persily, A., Bahnfleth, W. P., Kipen, H., Lau, J., Mandin, C., Sekhar, C., ... Weekes, L. C. N. (2022). Ashrae Position Document On Indoor CO₂. *Ashrae Journal*, 64(5).
- Piazzalunga-Expert, A. (2020). Evaluation of the Potential Relationship between Particulate Matter (PM) Pollution and Covid-19 Infection Spread in Italy. *Societa Italiana Di Medicina Ambientale*, 2, 1-6.
- Pope III, C. A., Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742. <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- REHVA. (2021). REHVA Covid-19 Guidance (Version 4.1).
- Rey-Hernandez, J. M., Arroyo-Gómez, Y., San José-Alonso, J. F., Rey-Martínez, F. J. (2023). Assessment of Natural Ventilation Strategy to Decrease the Risk of Covid-19 Infection at a Rural Elementary School. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18271>
- Riley, E. C., Murphy, G., Riley, R. L. (1978). Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School. *American Journal of Epidemiology*, 107(5), 421-432. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112560>
- Riley, R. L., Nardell, E. A. (1989). Clearing the Air: The Theory and Application of Ultraviolet Air Disinfection. *American Review of Respiratory Diseases* 139 (5): 1286–1294. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/142.5.1233a>
- Rivas, E., Santiago, J. L., Martín, F., Martilli, A. (2022). Impact of Natural Ventilation on Exposure to SARS-CoV-2 in Indoor/semi-indoor Terraces Using CO₂ Concentrations as a Proxy. *Journal of Building Engineering*, 46. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103725>
- Roaf, S., Fuentes, M. ve Thomas S. (2001). *Ecohouse: a Design Guide* (4). Architectural Press, Oxford, Boston: Elsevier Ltd.

- Raoult, D., Mouffok, N., Bitam, I., Piarroux, R., Drancourt, M. (2013). Plague: History and Contemporary Analysis. *Journal of Infection*, (66): 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2012.09.010>
- Rovelli, S., Cattaneo, A., Nuzzi, C. P., Spinazzè, A., Piazza, S., Carrer, P., Cavallo, D. M. (2014). Airborne Particulate Matter in School Classrooms of Northern Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 1398-1421. <https://doi.org/10.3390/ijerph110201398>
- Sanders, G., Mohammadi Ziabari, S. S., Mekić, A., Sharpanskykh, A. (2021). Agent-Based Modelling and Simulation of Airport Terminal Operations Under Covid-19 - Related Restrictions. *Advances in Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Social Good. The PAAMS Collection: 19th International Conference, PAAMS 2021, Salamanca, Spain, 6-8 Ekim 2021*.
- Sattar, S. A. (2001). Survival of Microorganisms on Animate and Inanimate Surfaces and Their Disinfection. *Disinfection, Sterilization and Antisepsis: Principles and Practices in Healthcare Facilities. Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology, Inc., Washington, DC*, 195-205.
- Savanti, F., Wicaksono, D. (2023). Particulate Matter Concentration in Healthcare Facilities: The Influence of Natural Ventilation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1203(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1203/1/012015>
- Setti, L., Passarini, F., De Gennaro, G., Barbieri, P., Perrone, M. G., Borelli, M., ... Miani, A. (2020). Airborne Transmission Route of Covid-19: Why 2 Meters/6 feet of Interpersonal Distance Could not be Enough. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph17082932>
- Shen, J., Duan, H., Zhang, B., Wang, J., Ji, J. S., Wang, J., ... Shi, X. (2020). Prevention and Control of Covid-19 in Public Transportation: Experience from China. *Environmental Pollution*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115291>
- Sherman, M. H. (2008). Multizone Age-of-air Analysis. *International Journal of Ventilation*, 7(2), 159-167. <https://doi.org/10.1080/14733315.2008.11683808>
- URL-1: https://tr.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemisi#cite_note-33, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-2: <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-3: https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_COVID-19_pandemisi, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).

- URL-4: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-5: <https://data.who.int/dashboards/covid19/deaths?n=c>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-6: https://tr.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemisi#cite_note-33, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-7: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-8: <https://www.wikizero.com/tr/Kocaeli>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-9: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI>, (Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2024).
- URL-10: <https://repa.enerji.gov.tr/REPA/>, (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2024).
- URL-11: https://www.wikizero.com/tr/2023_T%C3%BCrkiye_adrese_dayal%C4%B1_n%C3%BCfus_kay%C4%B1t_sistemi_sonu%C3%A7lar%C4%B1, (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2024).
- URL-12: https://www.wikizero.com/tr/T%C3%BCrkiye%27de_COVID-19_pandemisi, (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2024).
- URL-13: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>, (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2024).
- URL-14: <https://www.theguardian.com/environment/2020/jul/01/air-pollution-likely-to-make-coronavirus-worse-say-uk-experts>, (Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2024).
- URL-15: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=aylik&m=06-00&y=2024&a=03#sfB>, (Ziyaret Tarihi: 01 Temmuz 2024).
- URL-16: <https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=23313>, (Ziyaret Tarihi: 04 Ağustos 2024).
- URL-17: <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>, (Ziyaret Tarihi: 20 Ocak 2025).
- Wallis, S. L., Hernandez, G., Poyner, D., Holmes, W., Birchmore, R., Berry, T. A. (2019). Particulate Matter in Residential Buildings in New Zealand: Part II. The Impact of Building Airtightness, Mechanical Ventilation Using Simulated Occupancy. *Atmospheric Environment: X*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100026>

- Watson, D. Labs, K. (1983). *Climatic Building Design: Energy-Efficient Building Principles and Practice*. New York: McGraw-Hill.
- WHO. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe (2)*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO. (2014). *Infection Prevention and Control of Epidemic and Pandemic Prone Acute Respiratory Infections in Healthcare – WHO Guidelines*, WHO, Cenevre.
- WHO. (2021). *Roadmap to Improve and Ensure Good Indoor Ventilation in the Context of Covid-19*, WHO, Cenevre.
- WHO. (2021). *Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} And PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon Monoxide*, WHO, Cenevre.
- Wu, X., Nethery, R. C., Sabath, M. B., Braun, D., Dominici, F. (2020). Air Pollution and Covid-19 Mortality in the United States: Strengths and Limitations of an Ecological Regression Analysis. *Science Advances*, 6(45). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., ... Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-Cov-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Velraj, R., Haghighat, F. (2020). The Contribution of Dry Indoor Built Environment on the Spread of Coronavirus: Data from Various Indian States. *Sustainable Cities and Society*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102371>
- Vignolo, A., Gómez, A. P., Draper, M., Mendina, M. (2022). Quantitative assessment of natural ventilation in an elementary school classroom in the context of COVID-19 and its impact in airborne transmission. *Applied Sciences*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/app12189261>
- Yan, J., Grantham, M., Pantelic, J., Bueno de Mesquita, P. J., Albert, B., Liu, F., ... Emit Consortium. (2018). Infectious Virus in Exhaled Breath of Symptomatic Seasonal Influenza Cases From a College Community. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 115(5), 1081-1086. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716561115>
- Yan, R., Zhang, Y., Li, Y., Xia, L., Guo, Y., Zhou, Q. (2020). Structural Basis for the Recognition of SARS-Cov-2 by Full-Length Human ACE2. *Science*, 367(6485), 1444-1448. <https://doi.org/10.1126/science.abb2762>
- Yang, A., Holøs, S. B., Resvoll, M. O., Mysen, M., Fjellheim, Ø. (2021). Temperature-Dependent Ventilation Rates Might Improve Perceived Air Quality in a Demand-Controlled Ventilation Strategy. *Building and Environment*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108180>

- Yang, L., Ye, M. (2014). CFD Simulation Research on Residential Indoor Air Quality. *Science of The Total Environment*, 472, 1137-1144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.118>
- Zhao, Y., Feng, Y., Ma, L. (2022). Impacts of Human Movement And Ventilation Mode on the Indoor Environment, Droplet Evaporation, and Aerosol Transmission Risk at Airport Terminals. *Building And Environment*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109527>
- Zhang, Y., Geng, X., Tan, Y., Li, Q., Xu, C., Xu, J., ... Wang, H. (2020). New Understanding of the Damage of SARS-Cov-2 Infection Outside the Respiratory System. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110195>
- Zuo, Y. Y., Uspal, W. E., Wei, T. (2020). Airborne Transmission of Covid-19: Aerosol Dispersion, Lung Deposition, and Virus-Receptor Interactions. *ACS Nano*, 14(12), 16502-16524. <https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.0c08484>



EK-A

Tablo A.1. Çarşamba gününün 3 saatinin CO₂, PM_{2.5} ölçüm değerlerinin referans noktalara ait ortalamaları ve bu ortalamalara göre noktaların aldığı değerler (en yüksek ve en düşük değerler kalın ve altı çizili olarak gösterilmiştir)

Çarşamba gününe ait CO ₂ ölçüm değerleri (ppm)					
Referans nokta	Ölçüm 1 17:00 - 17:45 Kişi: 40	Ölçüm 2 18:15 - 19:00 Kişi: 80	Ölçüm 3 23:00 - 23:45 Kişi: 5	3 ölçüm saatinin ortalaması (x)	Noktanın normalizasyon değeri (X _{norm})
	Kullanılan Normalizasyon Denklemi: Denklem (4.12) $X_{norm} = 1 - \frac{x - x_{Min}}{x_{maks} - x_{min}}$				
1 - Z - A	607	672	712	664	0,41
2 - Z - A	658	799	733	<u>730</u>	<u>0,00</u>
3 - Z - A	558	565	577	<u>567</u>	<u>1,00</u>
4 - Z - A	640	678	698	672	0,35
5 - Z - O	610	650	601	620	0,67
6 - Z - O	588	652	641	627	0,63
7 - Z - A	626	645	730	667	0,39
8 - Z - O	620	697	652	656	0,45
9 - Z - O	622	625	693	647	0,51
10 - Z - A	596	632	675	634	0,59
11 - Z - O	581	643	596	607	0,75
12 - Z - O	611	675	690	659	0,44
13 - Z - A	554	620	690	621	0,66
14 - Z - A	565	649	595	603	0,78
15 - Z - A	562	610	590	587	0,87
16 - 1 - A	638	725	735	699	0,19

Çarşamba gününe ait PM _{2.5} ölçüm değerleri (µg/m ³)					
Referans nokta	Ölçüm 1 17:00 - 17:45 Kişi: 40	Ölçüm 2 18:15 - 19:00 Kişi: 80	Ölçüm 3 23:00 - 23:45 Kişi: 5	3 ölçüm saatinin ortalaması (x)	Noktanın normalizasyon değeri (X _{norm})
	Kullanılan Normalizasyon Denklemi: Denklem (4.12) $X_{norm} = 1 - \frac{x - x_{Min}}{x_{maks} - x_{min}}$				
1 - Z - A	294	308	333	312	0,37
2 - Z - A	334	306	339	326	0,25
3 - Z - A	238	270	268	259	0,78
4 - Z - A	350	315	403	356	0,02
5 - Z - O	319	303	371	331	0,22
6 - Z - O	277	324	345	315	0,34
7 - Z - A	360	353	363	<u>359</u>	<u>0,00</u>
8 - Z - O	295	284	301	293	0,51
9 - Z - O	268	263	274	268	0,71
10 - Z - A	320	277	285	294	0,51
11 - Z - O	305	330	310	315	0,34
12 - Z - O	254	253	252	253	0,83
13 - Z - A	282	259	308	283	0,59
14 - Z - A	290	278	283	284	0,59
15 - Z - A	243	256	253	251	0,84
16 - 1 - A	232	208	252	<u>231</u>	<u>1,00</u>

EK-B

Tablo B.1. Çarşamba gününün 3 saatinin hava hızı ve hava yaşı simülasyon değerlerinin referans noktalara ait ortalamaları ve bu ortalamalara göre noktaların aldığı değerler (en yüksek ve en düşük değerler kalın ve altı çizili olarak gösterilmiştir)

Çarşamba gününe ait hava hızı simülasyon değerleri (m/s)					
Referans nokta	Ölçüm 1 17:00 - 17:45 Kişi: 40	Ölçüm 2 18:15 - 19:00 Kişi: 80	Ölçüm 3 23:00 - 23:45 Kişi: 5	3 ölçüm saatinin ortalaması (x)	Noktanın normalizasyon değeri (x _{norm})
	Kullanılan Normalizasyon Denklemi: Denklem (4.13) $X_{norm} = 1 - \frac{x_{maks} - x}{x_{maks} - x_{min}}$				
1 - Z - A	0,10	0,12	0,09	0,10	0,66
2 - Z - A	0,09	0,10	0,09	0,09	0,49
3 - Z - A	0,11	0,15	0,10	0,12	1,00
4 - Z - A	0,11	0,09	0,09	0,10	0,59
5 - Z - O	0,10	0,09	0,09	0,09	0,53
6 - Z - O	0,10	0,12	0,08	0,10	0,62
7 - Z - A	0,08	0,08	0,08	0,08	0,32
8 - Z - O	0,09	0,11	0,09	0,10	0,58
9 - Z - O	0,07	0,07	0,08	0,07	0,21
10 - Z - A	0,08	0,09	0,11	0,09	0,47
11 - Z - O	0,06	0,07	0,07	0,07	0,10
12 - Z - O	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
13 - Z - A	0,08	0,10	0,09	0,09	0,46
14 - Z - A	0,06	0,07	0,06	0,06	0,00
15 - Z - A	0,06	0,07	0,06	0,06	0,03
16 - 1 - A	0,08	0,08	0,07	0,08	0,29

Çarşamba gününe ait hava yaşı simülasyon değerleri (sn)					
Referans nokta	Ölçüm 1 17:00 - 17:45 Kişi: 40	Ölçüm 2 18:15 - 19:00 Kişi: 80	Ölçüm 3 23:00 - 23:45 Kişi: 5	3 ölçüm saatinin ortalaması (x)	Noktanın normalizasyon değeri (x _{norm})
	Kullanılan Normalizasyon Denklemi: Denklem (4.12) $X_{norm} = 1 - \frac{x - x_{Min}}{x_{maks} - x_{min}}$				
1 - Z - A	1.062	487	2.242	1.264	0,97
2 - Z - A	981	619	2.651	1.417	0,83
3 - Z - A	881	343	2.473	1.232	1,00
4 - Z - A	1.181	695	2.627	1.501	0,75
5 - Z - O	1.201	1.012	2.754	1.656	0,60
6 - Z - O	1.078	1.363	2.748	1.729	0,53
7 - Z - A	1.430	1.689	2.765	1.961	0,32
8 - Z - O	1.213	1.763	2.658	1.878	0,39
9 - Z - O	1.119	1.905	2.665	1.896	0,38
10 - Z - A	1.500	1.870	2.766	2.045	0,24
11 - Z - O	1.413	2.280	2.771	2.155	0,14
12 - Z - O	1.175	2.421	2.792	2.129	0,16
13 - Z - A	1.377	2.384	2.766	2.176	0,12
14 - Z - A	1.325	2.617	2.955	2.299	0,00
15 - Z - A	1.168	2.541	2.954	2.221	0,07
16 - 1 - A	1.256	1.477	2.737	1.824	0,45

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Seymen, S., Bayraktar, N.T. (2023). Eğitim Yapılarında Doğal Havalandırma Performansının Bulaş Riski ve Enerji Tüketimi Açısından Değerlendirilmesi, 12. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, İstanbul, 23-24-25 Aralık 2023.



ÖZGEÇMİŞ

Üniversite öncesi eğitimini Kocaeli’ de tamamladı. 2020 yılında Sakarya Üniversitesi Sanat, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi’ nden mezun oldu. Yüksek lisans öğrenimine 2022 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı’ nda başladı. 2020’ den bu yana Kocaeli’ de mimarlık mesleğini yapmaya devam etmektedir.

