BİR PORTATİF HAVA TEMİZLEME CİHAZININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İsmail Hakkı SALDAMLI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR PORTATİF HAVA TEMİZLEME CİHAZININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İsmail Hakkı SALDAMLI
0000-0003-3301-2262

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

BİR PORTATİF HAVA TEMİZLEME CİHAZININ PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İsmail Hakkı SALDAMLI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Çoğu insan günlük yaşamının büyük bir kısmını iç ortamlarda geçirmektedir. Bu yüzden iç ortam havasının temiz olması, insanların fiziksel ve ruhsal sağlığı açısından çok önemlidir. İç ortam havasının temizlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi de portatif hava temizleme cihazlarıdır. Bu tez çalışmasında da içinde oturan insan olan bir odanın, havasının temizlenmesinde kullanılan portatif hava temizle cihazının performansı incelenmiştir. Cihazın performansı incelenirken temiz hava dağıtım oranı (THDO) ve hava yaşı parametreleri kullanılmıştır. THDO ve hava yaşı parametreleri cihazın farklı konum, üfleme açısı ve üfleme hızları çerçevesinde değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Oda içindeki farklı düzlemlerde hava hızı, sıcaklık ve hava yaşı dağılımları incelenmiş ve yorumlanmıştır. THDO ve hava yaşı değerleri için en uygun üfleme hızı ve açıları belirlenmiştir. Yapılan analizler ve hesaplamalar çerçevesinde cihazın konumunun, farklı üfleme açı ve hızlarının, portatif hava temizleme cihazının performansını etkilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temiz hava dağıtım oranı (THDO), hava yaşı, hava temizleme cihazı, hava temizleyici, HAD
2021, viii + 61 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE PERFORMANCE EVAULATION OF A PORTABLE AIR PURIFIER

İsmail Hakkı SALDAMLI

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Most people spend most of their daily lives indoors. That's why clean indoor air is very important for people's physical and mental health. Different methods are used to clean the indoor air. One of them is portable air purifiers. In this thesis, the performance of a portable air purifier, which is used to clean the air of a room with a person sitting in it, was investigated. While examining the performance of the device, clean air delivery rate (CADR) and air age parameters were used. CADR and air age parameters were evaluated and compared within the result of different positions, blowing angles and blowing speeds of the device. Air velocity, temperature and air age distributions in different planes in the room were examined and interpreted. The most suitable blowing speed and angles were determined for CADR and air age values. Within the result of the analyzes and calculations, it has been determined that the position of the device, different blowing angles and speeds affect the performance of the portable air purifier.

Key words: Clean air delivery rate (CADR), air age, air cleaning device, air purifier, CFD
2021, viii + 61 pages.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma CA17136 kodlu “Indoor Air Pollution Network” isimli COST aksiyonu kapsamında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2515 – COST Programı ile desteklenen yürütücülüğünü Prof.Dr. Muhsin Kılıç’ın yaptığı 218M604 numaralı COST projesi çalışmaları dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Bursiyer olarak yer aldığım bu projeye desteklerinden ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu’na (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca burs imkânı sağlayan, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesi ile her zaman yanımda olduğunu hissettiren değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Muhsin Kılıç’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez çalışmam süresince değerli görüşleriyle bana yardımcı olan Öğr. Gör. Dr. Mustafa Mutlu’ya teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca beni hep destekleyen ve eğitimin önemini benimseten anne ve babama, bu süreçte maddi manevi her zaman yanımda olan eşim Fatma Rumeysa hanıma ve kardeşim Selimhan’a teşekkürlerimi sunarım.

İsmail Hakkı SALDAMLI
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 5
2.1. İç Ortam Havasının Önemi 5
2.2. İç Ortam Hava Kalitesini Etkileyen Faktörler 6
2.2.1. Nem 6
2.2.2. Sıcaklık 6
2.2.3. İç Ortam Hava Kirleticileri 7
2.3. İç Ortam Havası ve Sağlığa Etkileri 7
2.4. Hava Temizleme Cihazlarının Önemi 8
2.5. Hava Temizleme Filtreleri 8
2.6. Yapılan Çalışmalar 11
3. MATERYAL ve YÖNTEM 19
3.1 Problemin Genel Tanımı 19
3.2. Modelin Geometrik Bilgisi 19
3.3. Modelde Kullanılan Ağ Yapısı 20
3.4. Sınır şartları 22
3.5. Korunum Denklemleri 23
3.6. RNG k- ε türbülans modeli 24
3.7. Hava Yaşı 25
3.8. Temiz Hava Dağıtım Oranı (THDO) 26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 29
4.1. Konum 1'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları 30
4.2. Konum 2'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları 36
4.3. Konum 3'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları 42
4.4. THDO ve Hava Yaşı Değerlerinin Karşılaştırılması 50
5. SONUÇ 54
KAYNAKLAR 55

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
μ	Dinamik viskozite [Pa.s]
ρ	Akışkanın yoğunluğu [kg/m^3]
u_k	x_k yönünde hız bileşeni [m/s]
p	Basınç [Pa]
c_p	Sabit basınçtaki özgül ısı [J/kgK]
λ	Havanın ısı iletim katsayısı [W/mK]
S	Hacimsel kaynak terimi
T	Sıcaklık [K]
μ_t	Türbülans viskozitesi [Pa.s]
G_k	Kinetik Enerjisi Oluşumu (Hız Gradyanları) [kg.m^{-1}.s^{-3}]
G_b	Türbülans Kinetik Enerjisi Oluşumu (Kaldırma Kuvveti) [kg.m^{-1}.s^{-3}]
Y_M	Genişleme Katkısı [kg.m^{-1}.sn^{-3}]
$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$,C_s, C_μ	Katsayılar
Ct, C_m,	
a_k	Prandtl Sayısı (k için)
a_ε	Prandtl Sayısı (ε için)
S_k	Kaynak Terimi
t	Zaman [dk]
C_t	t anındaki konsantrasyon
C_i	t=0 anındaki konsantrasyon
k_e	Partikül azalma oranı [1/dk]
k_n	Doğal partikül azalma oranı [1/dk]
V	Hacim [m^3]
τ	Ortalama hava yaşı [s]
u	Akışkanın hızı [m/s]
u_p	Partikül hızı [m/s]
ρ_p	Partikül yoğunluğu [kg/m^3]
g	Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
K_n	Knudsen sayısı
ζ	Sıfır ortalamalı bağımsız Gauss rassal sayıları (Zero-mean independent Gaussian random numbers)
C_c	Cunningham düzeltme faktörünü
k_B	Boltzman sabiti
K	Akışkan iletkenliğinin partikül iletkenliğine oranı (k/k_p)
μ_a	Akışkanın viskozitesi [Pa.s]
m_p	Partikül kütlesi [kg]
Γ_τ	Difüzyon katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
THDO	Temiz Hava Dağıtım Oranı
EPA	Environmental Protection Agency
SARS	Severe Acute Respiratory Syndrome
MERS-CoV	Middle East Respiratory Syndrome Causing Coronavirus
CADR	Clean Air Delivery Rate
HEPA	High Performance Particulate Air
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFD	Computational Fluid Dynamics
EACR	Effective Air Cleaning Ratio
ERE	Exposure Reduction Effectiveness
RNG	Random Number Generator
VOC	Volatile Organic Compound
UOB	Uçucu Organik Bileşikler
HBS	Hasta Bina Sendromu
DPM	Dicrete Phase Model
PM	Particulate Matter
$PM_{2.5}$	Çapı 2.5 mikron ve altında olan partikül maddeler
PM_{10}	Çapı 10 mikron ve altında olan partikül maddeler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. (a) Oda boyutları, (b) cihaz boyutları ve üfleme açıları....19
Şekil 3.2. Cihaz konumları; (a) konum 1, (b) konum 2, (c) konum 3....20
Şekil 3.3. Farklı ağ yapısındaki hesaplama sonuçlarının deneysel ölçümler ile karşılaştırılması....21
Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan modelin ağ yapısı....22
Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan model ağının kesit görünümü....22
Şekil 4.1. Analizler için kullanılan düzlemler....29
Şekil 4.2. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları....31
Şekil 4.3. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları....32
Şekil 4.4. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları....33
Şekil 4.5. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları....34
Şekil 4.6. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları....35
Şekil 4.7. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 2 üzerinde hız dağılımları....36
Şekil 4.8. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları....37
Şekil 4.9. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları....38
Şekil 4.10. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 2 üzerinde hava yaşı dağılımları....39
Şekil 4.11. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları....40
Şekil 4.12. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları....41
Şekil 4.13. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları....42
Şekil 4.14. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 3 üzerinde hız dağılımları....43
Şekil 4.15. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları....44
Şekil 4.16. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları....45
Şekil 4.17. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 3 üzerinde hava yaşı dağılımları....46
Şekil 4.18. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları....47
Şekil 4.19. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları....48
Şekil 4.20. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları....49
Şekil 4.21. Konum 2 ve konum 3'deki hava yaşı dağılımları (0,4 m/s için)....53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Had analizlerinde kullanılan çalışma parametreleri 29
Çizelge 4.2. THDO değerleri 50
Çizelge 4.3. Ortalama hava yaşı ve maksimum hava yaşı değerleri 52

1. GİRİŞ

İnsan sağlığını doğrudan etkileyen ve bütün canlılar tarafından tüketilen hava, en önemli ihtiyaçlardan birisidir. İnsan günlerce aç ve susuz kalabildiği halde nefes almadan birkaç dakikadan fazla duramaz. Canlılar için bu derece önemli olan hava, sağlıklı ve temiz olmalıdır. Atmosferde toz, gaz, su buharı, duman ve koku şeklinde bulunabilecek olan kirletici faktörlerin çeşitli nedenlerle artarak insanlara, diğer canlılara ve cansız varlıklara zarar verici düzeye yükselmesi olarak tanımlanan hava kirliliği son yıllarda önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan sağlığını doğrudan etkileyen ve bütün canlılar tarafından tüketilen hava, en önemli.

Hava kirliliğinin insan sağlığına etkisi sanayi devriminden sonra dikkat çekmesine rağmen bilimsel araştırmalara 1945'li yıllardan itibaren başlamıştır. 1950'li yıllarda ilk olarak Temiz Hava Antlaşması'yla (Clean Air Acts) hava kirliliğinin önlenmesi belli bir oranda sağlanmıştır (Bayram, 2014). İç ortam hava kirliliği kavramı ise 1980'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Petrol krizi ve buna bağlı olarak enerjinin korunması için meydana gelen zorluk, enerjinin tasarruf edilmesi için çeşitli yaptırımların yapılmasına sebep olmuştur. Yapılan bu yaptırımlar sonucunda, iç mekan hava sirkülasyonunun düşük seviyelere indiği, yetersiz havalandırmanın olduğu, dış ortama açılmayan pencerelerin bulunduğu ve klima cihazlarının kullanıldığı sızdırmaz binalar kullanılmaya başlanmıştır. Meydana gelen bu iç hava kalitesi problemi konu ile ilgili çeşitli araştırmaların başlamasına neden olmuştur (Ağca, 2005).

Hava kirliliği iç ortam ve dış ortam olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Dış ortam hava kirliliğinin pek çok nedeni bulunmakla birlikte bunları doğal nedenlere bağlı olarak ve insanlar tarafından meydana gelen hava kirlilikleri olarak iki ana grupta incelenebilir. Doğal nedenler olarak orman yangınları, yanardağ patlamaları ve toz fırtınaları sayılabilir. İnsan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan hava kirlilikleri ise sanayileşme ve kentleşmedir. İç ortam havası konutların, endüstriyel olmayan işyerlerinin, resmi binaların (okul, hastane vb.) içindeki hava olarak kabul edilmektedir. İç ortam havası temizlik ürünleri, mobilyalar, ofis ekipmanları, solunum, sigara içme, ısıtma, yemek pişirme gibi etkinliklerden meydana gelmektedir. Çoğu insan dış ortam havasının insan

sağlığı açısından daha önemli olduğunu düşünmekte ve iç ortam havasının sebep olduğu potansiyel risklerden de habersizdir. Çevre Koruma Ajansı (EPA: Environmental Protection Agency), kirletici seviyeleri kıyasladığında iç ortamların dış ortamlara göre 2 ila 5 kat daha fazla tehlikeli olduğunu söylemektedir (EPA, 2001).

İç ortam havasını iyileştirmek için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan bazıları kirletici kaynakları ortadan kaldırmak, iç mekanı havalandırmak ve portatif hava temizleme cihazı kullanmaktır. Kirletici maddeleri ortadan kaldırması, kirletici kaynağının bilindiği ve kontrolünün mümkün olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu kirleticilere sigara dumanı, çöpler, yanmış veya bozulmuş yiyecekler, zarar görmüş izolasyon malzemeleri, eskimiş ahşap eşyalar ve boyalar örnek verilebilir. İç ortam havasının temiz olması için bu tip kirleticileri iç mekandan uzaklaştırmak gerekmektedir. İç mekanın havalandırılması iki yöntemle mümkündür. Bunlar mekanik havalandırma ve doğal havalandırmadır. Mekanik havalandırmada, fan kullanılmakta ve basınçtan yararlanılmaktadır. Doğal havalandırmada ise dış mekan havasından yararlanılmaktadır. Dış mekan havasının binaya belirlenmiş açıklıklar (örneğin panjurlar, kapılar ve pencereler gibi) aracılığıyla cebri olarak iletilmesidir. Doğal havalandırma, dış mekan havasını hareket ettirmek için mekanik sistemler gerektirmez, tamamen difüzyon, rüzgar basıncı veya yığın etkisi gibi pasif fiziksel olaylara dayanmaktadır. İç mekan havasını iyileştirmek için kullanılan son yöntem ise portatif hava temizleme cihazı kullanmaktır. Portatif hava temizleme cihazları, iç mekan havasını iyileştirmede daha çok yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. Bu cihazlar iç ortam havasını filtreler yardımıyla temizlemektedir. Tüm bu yöntemler iç ortam havasını temizler ve sağlığımız için uygun ortam sağlar. İç ortam hava kalitesi iyileştirme sıralamasında en iyi yöntem kirletici kaynakların ortamdan kaldırılması (EPA, 2001) iken, ortamı havalandırmak (Faulkner, Memarzadeh, Riskowski, Kalbasi ve Ching-Zu Chang, 2015; Memarzadeh ve Xu, 2012) ikinci seçenek ve portatif hava temizleme cihazlarının kullanımı da (L. Chen, Jin, Yang, Du ve Yang, 2017; Kang, Siegel ve Novoselac, 2008) üçüncü seçenek olarak kabul edilmektedir. İç ortamda kirletici kaynaklarından biri de insanın kendisi olduğu için kirleticileri ortamdan tamamen uzaklaştırmak her zaman mümkün değildir. Havalandırma yöntemlerinden biri olan kapı veya pencere açmak da her zaman kullanılabilecek bir yöntem olmayabilir. Özellikle sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu

bölgelerde iç ortam havası dış ortam havasından daha temiz olabilmekte, aynı zamanda havalandırmak için açılan kapı veya pencere, iç ortamdaki ısıl konfor sıcaklığının kaybına neden olabilmektedir. Bu nedenle portatif hava temizleme cihazları diğer yöntemler birlikte ortam havasını iyileştirmek için yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır.

Portatif hava temizleme cihazlarının iç ortamdaki hava kalitesini iyileştirme performansı birçok nedene bağlıdır. Bunlardan bazıları hava temizleme cihazının konumu, hava temizleme cihazından çıkan temiz havanın çıkış açısı, hızı ve debisidir. Bu konu literatürde farklı çalışmalarda çeşitli sebeplerle izah edilmiştir. Örneğin bazı araştırmalarda cihazın bulunduğu hacim içindeki konumu veya üfleme yönü önemli bir parametre olarak verilmiştir (L. Chen ve diğerleri, 2017; Kang ve diğerleri, 2008).

Portatif hava temizleme cihazlarının performansını ölçmek için kullanılan farklı standartlar tanımlamıştır. Temiz hava dağıtım oranı (THDO) ve hava yaşı bu standartlardan bazılarıdır. THDO, farklı hava temizleme cihazlarının karşılaştırılmasında kullanılan bir ölçümdür ve aynı zamanda cihazın performansını yansıtmaktadır (Richard J. Shaughnessy, Levetin, Blocker ve Sublette, 1994). Hava yaşı ise bir hava temizleme cihazından çıkan temizlenmiş havanın belirli bir noktaya ulaşması için geçen ortalama süredir (Cao ve diğerleri, 2014). Bu nedenle oda içinde ortalama hava yaşının düşük olması istenmektedir.

Yapılan tez çalışmasında portatif hava temizleme cihazının performansı, aşağıdaki araştırma sorularına cevap vererek, THDO ve hava yaşı parametreleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Portatif hava temizleme cihazının farklı çalışma koşullarında oturan bir insanın yer aldığı oda içinde, hava hızı, hava yaşı ve sıcaklık dağılımları, temiz hava dağıtım oranı üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanılarak analiz edilmiştir. Tezin genel olarak amacı portatif hava temizleme cihazının performansını incelemektir. Bu kapsamda yapılan sayısal çalışmada portatif hava temizleme cihazının farklı üfleme açı ve hızları ve cihazın oda içindeki farklı konumları kullanılmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Çalışma sonunda cevaplanması beklenen sorular:

- Portatif hava temizleme cihazının oda içindeki konumunun hava temizlenme performansına etkileri nelerdir?
- Portatif hava temizleme cihazının çalışma koşullarının (üfleme hızı, üfleme açısı ve ısı kaynakları gibi) hava temizlenme performansına etkileri nelerdir?
- Farklı çalışma koşullarda cihazın performansı THDO ve hava yaşı dağılımı ile belirlenebilir mi?
- Farklı çalışma koşullarında oda içindeki hız, sıcaklık ve hava yaşı dağılımları nasıl gerçekleşir?

Tez çalışmasının 2. Bölümünde kuramsal temeller ve tez konusu ile ilgili kaynak araştırması ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan materyal ve yöntem 3. Bölümde açıklanmıştır. 4. Bölümde bulgular değerlendirilmiş, yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Son olarak sonuçlar kısmına 5. Bölümde yer verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. İç Ortam Havasının Önemi

Kapalı mekanların oluşmasının sebebi, insanoğlunun doğal çevre içinde hayatını daha sağlıklı yürütebilmesi için yapmış olduğu yapay bir çevredir (Parmaksız, 2017). Kapalı mekan içindeki hava karışımına iç ortam havası denilmektedir. İç ortam havası; dış ortamdan ayrılmış, ev ve işyeri gibi yapıların içerisinde bulunan hava olarak tanımlanabilir. İç mekan hava kirliliği ise bu kapalı ortamlarda bulunan ve insan sağlığını olumsuz olarak etkileyen zararlı partiküller topluluğudur.

İç ortam hava kalitesi, 18. yüzyılda maden işçileri ve Afrika'dan Amerika'ya götürülen kölelerin gemilerde ölmesi bu konuyu önemli bir durum haline getirmiştir (Tekin, 2019). 1950'lere kadar iç ortam havası için yapılan araştırma ve çalışmalara daha çok ilgi gösterilmiştir. 1970 yılından sonra Orta Doğu'daki petrol ambargosu enerji kıtlığına, fiyat artışına neden olmuş, enerji tasarrufu için binalar daha az havalandırılmış, binalarda enerji yalıtımı daha çok arttırılmış ve binalardaki havalandırma sistemi kullanımı yaygınlaşmıştır. Bundan dolayı iç ortam havasına olan ilgi bu dönemde de fazla olmuştur.

İç ortam hava kalitesini etkileyen kirleticiler iç ortamdan kaynaklandığı gibi dış ortamdan da kaynaklanabilir. İç ortamı kirleten kaynaklar genel olarak; iç ortamda bulunan halılar, ofis malzemeleri, mobilyalar, elektrikli aletler, bitkiler, temizlik malzemeleri, sigara dumanı, parfümler, oda spreyleri ve insan kaynaklı kirleticilerden meydan gelmektedir. Dış ortam hava kalitesini etkileyen kirleticileri ise atmosfer havasında bulunan tozlar, polenler, araba egzozları, fosil kaynaklı yakıtlardan çıkan kirlilikler ve endüstriyel kaynaklı havaya atılan baca gazı kirleticileri temel oluşturur.

İnsanların iç ortam hava kalitesinden beklentileri kişinden kişiye değişebilmektedir. Bundan dolayı iç ortam hava kalitesi için belli bir standardın olması ihtiyaç haline gelmiştir. Sağlıklı bir iç ortam hava kalitesi ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği) – 62 standardına göre; içinde bulunan kirleticilerin insan sağlığına zarar verecek seviyelerde olmadığı ve insanların azami %80'inin bu gibi

ortamlarda, rahatsızlık veya konforsuzluk duygusu hissetmediği hava olarak tanımlanmaktadır (ASHRAE, 2013).

2.2. İç Ortam Hava Kalitesini Etkileyen Faktörler

2.2.1. Nem

Nem, hava kalitesini etkileyen en önemli faktörlerinden birisidir. Havadaki düşük nem oranı, burun mukozasında buharlaşmaya neden olduğu için kurumaya neden olabilir. Burun mukozasındaki bu kuruma, istenmeyen bazı zararlı maddelerin solunum yoluyla vücuda girmesine neden olabilmektedir. Nem oranının düşük olması deri ve saçlarda kurumalara da sebep olabilmektedir. Yüksek nem oranı ise patojenik ve alerjik organizmaların üremesine neden olur. Bu nedenlerden dolayı iç ortam havasının bağıl nemi %40-60 arasında tutulmalıdır (Çilingiroğlu, 2010).

2.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık insanların rahat edebileceği ısıl konfor şartlarının başında gelmektedir. İç ortam sıcaklığı mevsimlere göre kişilerin kendini iyi hissedebileceği değerde olmalıdır. Çoğu insanın rahat ve verimli çalışabildiği ortam sıcaklığı 18-23 °C arasındadır.

İnsanlar çalıştıkları yerlere göre farklı sıcaklıklara sahip ortamlarda bulunmaktadırlar. Aşırı veya yetersiz sıcaklık kişide rahatsızlık duygusu uyandırmaktadır. Kişilerin kendilerini konforlu hissedebileceği sıcaklık sağlanmaz ise çalışanlarda farklı sağlık sorunları görülebilir. Sıcaklığın gereğinden fazla olması; insanların psikolojik direncini azaltır, iş dikkatini bozar ve iş verimliliğini azaltır. Sıcaklığın fiziksel ve zihinsel aktivite üzerine etkisi 28°C'den itibaren başlamaktadır. 30 °C'de % 5 olan performans kaybı, 32 °C'de %30 civarlarına kadar yükselmektedir. İş kazalarında da 30 °C'den sonra artışlar gözlenmektedir (Akıncı, 2016).

2.2.3. İç Ortam Hava Kirleticileri

Ortamda havası içinde bulunan uçucu partikül maddeller, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), azotoksitler (NO_x), kükürtoksitler (SO_x) gibi gazlar, uçucu organik bileşikler (UOB), çeşitli mikroorganizma ve alerjenler gibi fiziksel ve biyolojik etkenler iç ortam hava kirleticilerini oluşturmaktadır. İç ortam havasında bu kirleticilerin bulunma olasılığı iç ortamda çalışan cihazlara, binanın yapı malzemelerine, oda içinde bulunan eşyalara, odanın fiziksel durumuna (sıcaklık, rutubet vb), fabrika ise üretilen ürünlere, dış ortam havasına ve ortam içindeki hareketlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Havadaki kirleticilerin belli oranların üzerinde olup ortamda bulunması ve kişilerin bu kirli havayı soluması sağlık sorunlarının artmasına neden olmaktadır (Akal, 2013).

2.3. İç Ortam Havası ve Sağlığa Etkileri

İç ortam havasının insan sağlığına zarar verecek seviyelerde olması fiziksel ve bazı psikolojik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu rahatsızlıkların başında öksürük, nefes almakta güçlük çekmek, göz sulanması ve kızarıklıkları, baş ağrısı, işitme kaybı, ağız kuruluğu, hızlı kalp atışı, halsizlik, uyku hali, alerji, enfeksiyon, zehirlenme ve aşırı yorgunluk gibi çeşitli sağlık problemleri sayılabilir.

İç ortam hava kalitesi solunum yolu ile bulaşan hastalıklar ile yakından ilişkilidir. Nezle (soğuk algınlığı), grip, verem, bademcik iltihabı, su çiçeği, kızamık, kızamıkçık, kabakulak boğmaca, difteri ve menenjit gibi hastalıklar hava yolu ile bulaşan hastalıkların başında gelmektedir. Bu hastalıkların yanı sıra gene hava yolu ile bulaşan dünya çapında milyonlarca kişinin ölümüne sebep olan salgın hastalıklar da vardır. Bunlar 2003 yılında meydana gelen ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromu (SARS), 2012 yılında Suudi Arabistan'da tanımlanan orta doğu solunum sendromu koronavirüsü (MERS-CoV) ve son olarak Aralık 2019 tarihinde Çin'de meydana gelen COVID-19 son dönemde meydana gelen bu ölümcül hastalıklardan diğer bir tanesidir (Ağca, 2005; Budak ve Korkamaz, 2020; C. Chen ve diğerleri, 2010).

İç hava kalitesinin düşük olması sebebi ile ortaya çıkan diğer bir hastalıkta hasta bina sendromudur. Hasta bina sendromu yetersiz ya da uygun olmayan havalandırmadan ve ısıtma, soğutma ve iklimlendirme sistemlerinin eksikliklerinden kaynaklanmaktadır (Çilingiroğlu, 2010). Hasta bina sendromu genel olarak kapalı ortamlarda çalışan (ofis, ev, hastane vb gibi) kişilerde rastlanmaktadır. Amerikan Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın araştırmaları çerçevesinde, mücadele edilmesi gereken ilk on sağlık sorunu arasında dördüncü sıraya yerleştirilmiştir (EPA, 2001). Bu hastalık kişilerde işe odaklanamama, baş ağrısı, burun akıntısı, halsizlik, gözlerde, burun ve boğazlarda tahriş gibi sorunlara sebep olmaktadır.

2.4. Hava Temizleme Cihazlarının Önemi

Evde, iş yerinde kendimizi iyi hissetmemiz ve sağlığımız için temiz hava çok önemlidir. Bununla birlikte insanoğlu olarak yaşam süresinin yaklaşık % 90'ınını kapalı ortamda geçirdiğimiz için, iç hava kalitesi insan sağlığı ile yakından ilgilidir. Bu sebeplerden dolayı iç mekan havasının temiz olması gerekmektedir.

İç mekan havasını temizlemek için birçok yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi de hava temizleme cihazlarıdır. Hava temizleme cihazları, iç mekan havasında havada bulunan zararlı partikülleri temizlemek ve bu şekilde insan ölümlerini ve hastalıklarını azaltmak için kullanılmaktadır. Portatif hava temizleme cihazları bir binanın farklı bölümlerine konumlandırılabilir ve temizliğin gerekli olduğu durumlardan kullanılabilmektedir.

2.5. Hava Temizleme Filtreleri

Partikül uzaklaştırmak ve temizlemek için kullanılan hava temizleme cihazları; mekanik hava filtreleri ve elektronik hava filtreleri olarak iki tip olarak tanımlanabilir. Gaz kirleticilerin giderimi ise fiziksel veya kimyasal prosesler içeren filtrelerle gerçekleştirilmektedir (Güllü, 2017).

Mekanik hava filtreleri, zararlı kirleticilerin HEPA filtre gibi yüksek verimli filtrelerin kullanıldığı ve zararlı partiküllerin bu filtrelere tutulması prensibine dayanmaktadır. Çoğu

mekanik filtre toz, polen, bazı mantar sporları, hayvan tüyü, zararlı bakteriler, virüsler ve toz akarları içeren partiküllerin tutumunda yüksek verimlilikte çalışabilmektedir. Bununla birlikte bu partiküller hızla yere doğru çökebildiklerinden dolayı iç ortamdan bu kirleticileri mekanik filtrelerle gidermek çoğu zaman başarılı sonuçlar vermemektedir (Güllü, 2017).

Elektronik hava filtreleri, partiküllerin elektrostatik filtreler gibi elektrostatik güç ile zararlı kirleticilerin tutulmasına yönelik geliştirilen cihazlardır. Elektrostatik filtrelerin çalışmasıyla ilgili beş önemli adım vardır. Bunlar; korona deşarjı, parçacık yüklemesi, parçacık taşınması (Elektrostatik ve sürükleme kuvvetleri yoluyla), toz parçacıklarının toplama elektrotları üzerine yerleşmesi, toplayıcı elektrotlardan tozun uzaklaştırılması. Genel olarak çalışma prensibi ise yüksek voltajda çalışan korona elektrot tarafından yüklenmiş olan asılı toz parçacıkları filtre içerisinden geçmektedir. Yüklü parçacıklar topraklanmış toplama elektrotlarına doğru hareket etmekte ve toplama elektrotlarının üzerine yerleşmektedir. Daha sonra toplama elektrotlardan toz parçacıkları uzaklaştırılmaktadır (Altun ve Kilic, 2019). İyon jeneratörü veya iyonizerler, havaya negatif elektron yüklü iyonları yaymaktadır ve bu yönü ile elektrostatik hava filtrelerine benzemektedirler. Fakat bu sistemlerde partiküllerin toplanmasını sağlayan plakalar bulunmamaktadır. İyon jeneratörlerinde, iyonlar partiküllere yapıştıktan sonra partikülün perde, mobilya gibi en yakınındaki yüzeye yapışması ile ortamdan uzaklaşmasını hızlandırırlar. Ancak en donanımlı ve gelişmiş elektronik hava temizleme cihazları bile akciğerde sağlık açısından sorunlara sebep olan ozonu üretebilmektedir. İyon meydana getirerek iç ortam hava kalitesini iyileştiren cihazların, iç mekanda çok ince ve küçük partiküllerin oluşumuna sebep oldukları, laboratuvar ve ev ortamında yapılan çalışmaların sonucunda ortaya çıkarılmıştır (M. S. Waring ve Siegel, 2011; Michael S. Waring, Siegel ve Corsi, 2008).

Gaz fazlı hava filtreleri, kirleticileri absorbe eden aktif karbon gibi sorbent adı verilen bir malzeme kullanarak gazları ve kokuları giderir. Bu filtreler hava akımının içinden geçen bir veya daha fazla gaz kirleticiyi çıkarmak için tasarlanmıştır. Gaz fazı hava filtreleri kirleticiye göre tasarlandığından dolayı, tasarlananın haricindeki kirleticilere etki edemezler. Gaz fazı hava filtresine sahip bazı hava temizleme cihazları, gaz halindeki

kirleticileri tam olarak uzaklaştıramazlar. İç ortamdan gaz ve biyoaerosol kirleticilerinin ortadan kaldırılmasını sağlayan ultraviole temizleyiciler, fotokatalitik oksitleme ve ozon jeneratörü vb. hava temizleyiciler de bulunmaktadır (EPA, 2008).

Ultravioyole temizleyiciler, iç ortamlarda bulunan veya klima ve havalandırma sistemleri gibi cihazlardan üreyen mantar, bakteri veya virüs gibi zararlı kirleticileri UV lambalarından üretilen ultraviyole ışınlar vasıtasıyla bertaraf etmektedir. Yaygın olarak hava filtreleme sistemleriyle beraber kullanılmakta, fakat bazı evde kullanılan türleri tam olarak zararlı partikülleri iç ortamlardan uzaklaştıramamaktadır (EPA, 2008).

Fotokatalitik oksidasyon temizleme sistemleri, UV lambanın yanı sıra UV ışığı ile reaksiyona giren katalizör içeren sistemlerdir. Fotokatalitik sistemlerde kullanılan halihazırdaki katalizörlerin çalışması sınırlı olduğu için bu tür hava temizleyiciler etkin bir şekilde kullanılamamaktadır. Fotokatalitik oksidasyon temizleme sistemlerinin kullanıldığı yerlerde bazı uçucu organik bileşiklerin meydana geldiği tespit edilmiş ve sıkça rastlanan yan ürünler formaldehit, asetaldehit, propionaldehit ve krotonaldehit olarak gözlemlenmiştir (Girman, Phillips ve Levin, 2009).

Ozon jeneratörleri, kimyasal veya biyolojik kirleticiler ile tepkimeye girerek zararsız ürünlere dönüştürecek olan ozon üretimi için UV lamba veya elektriksel akım kullanan cihazlardır. Fakat üretilen ozon bir yandan, akciğerlerde tahrişe sebep olur ve sonucunda öksürük, geniz ve burun akıntısı meydana getirmekte ve astım ataklarını tetiklemektedir. Bu yüzden bu tür cihazlar bir yandan ortam havasını iyileştirirken bir yandan da ortamdaki ozon miktarını arttırarak iç ortam hava kalitesini bozmaktadır (R. J. Shaughnessy ve Sextro, 2006; Weschler, 2006). Ozon iç mekanlardaki kimyasal kirleticilerle tepkimeye girmekte ve sonucunda zararlı ürünlere dönüşmektedir (Hubbard, Coleman, Sarwar ve Corsi, 2005). İç ortam havasının özelliği, ozon ile tepkimeye girecek kimyasal veya biyolojik kirleticilerin çeşidi ve ortamda bulunması gibi koşullar ozon ile reaksiyona giren yan ürünlerin meydan gelmesine sebep olmaktadır (Güllü, 2017).

2.6. Yapılan Çalışmalar

Hava temizleme ile ilgili çalışmaların kökeni 16. yüzyıla kadar dayanmaktadır. Çalışmalara ilk olarak zararlı gazları, kirli buharları ve toz parçacıklarını filtrelemek için ağız ve burnu kapatan maske kullanılarak başlanılmıştır. 1879 yılında Hutson Hurd, herkesin bildiği fincan şeklindeki maskeyi tasarlamıştır (Griffee, 2016). 20. yüzyılda hava filtreleri ve hava temizliği için önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Maske ve solunum cihazları ile temizlenen, hava temizleme uygulamalarına ek olarak, 2. Dünya savaşında radyoaktif kimyasallara karşı koruma amaçlı geliştirilen HEPA (High Performance Particulate Air) filtre sistemleri de 1940'lı yıllardan itibaren ortam havasının iyileştirilmesinde kullanılmaya başlamıştır.İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra HEPA filtrelerin kullanımı, ofis ve ev gibi kapalı yerler için uygun oluncaya kadar geliştirilmiştir (Güllü, 2017). 1963'te, William B. Hall ve Alvan Barach'ın hava temizleyicisinin patentinin alınmasından iki yıl sonra, makine mühendisi olan Klaus ve Manfred Hammes kardeşler evde kullanıma yönelik ilk hava temizleyiciyi geliştirmişlerdir (Hunnicutt, 2018).

Cheng ve diğerleri (1998) hava temizleme cihazlarının dış mekandan gelen kirletici partikülleri temizleme performansı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada HEPA filtreli hava temizleme cihazının polen ve mantar sporlarını temizleme etkinliği incelemişlerdir. Bu durumları, havalandırma oranının arttırıldığı bir oda için hava temizleme cihazının göstereceği etki açısından değerlendirmişlerdir. Oda havalandırma oranı arttıkça hava temizleme cihazının genel etkinliği azaldığını bulmuşlardır.

Ward, Siegel ve Corsi (2005) taşınabilir hava temizleyicilerin, bina havası değişim oranının, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerinin birbiriyle olan ilişkilerini araştırmışlardır. HEPA filtreli hava temizleme cihazlarının küçük kirletici partikülleri temizlemede daha etkili olduğu ve konutlarda, tek bir hava temizleyici ile yaklaşık %50'den, üç veya daha fazla hava temizleyici ile %90'dan fazla kirletici yoğunluğunun azaldığını bulmuşlardır.

Sultan, Nilsson ve Magee (2011) farklı teknolojilere sahip 12 adet hava temizleme cihazını test etmiş ve karşılaştırmışlardır. HEPA filtreli ve elektrostatik hava filtreli hava temizleme cihazlarının en iyi performansı gösterdiğini ve aynı zamanda bu filtrelerin çok küçük parçacıkları temizlediğini bulmuşlardır.

Shaughnessy ve Sextro (2006) hava temizleme cihazının THDO değerini hangi oda boyutlarında verimli olduğunu tartışmışlardır. Hava temizleme etkinliği için oda boyutu, THDO ve kirletici parçacıkların boyutları olmak üzere üç temel unsur olduğunu belirtmişlerdir. Hava temizleme cihazlarının çeşitli kirleticiler için uygunluğunu ve bu kirleticileri temizlerken gösterdiği performansı değerlendirmişlerdir.

Waring ve diğerleri (2008) taşınabilir hava temizleme cihazlarının hem iç mekan havasını temizlediğini hem de kirletici partikül ürettiğini belirtmişlerdir. Bu durumları iki aşamada incelemişler ve bunun için 14,75 m^3 paslanmaz çelik bir oda tasarlamışlardır. İlk aşamada; beş farklı taşınabilir hava temizleme cihazını çekiş gücüne, hava akış hızına, temiz hava dağıtım oranına (THDO), tek geçiş verimliliğine ve ozon emisyon hızına göre değerlendirmişlerdir. İkinci aşamada ise; sabit durumdaki partikül konsantrasyonları üzerindeki ikincil organik aerosol oluşumunun etkisini saptamak için beş taşınabilir iyon üretecinin çalıştırıldığı bir dizi tarama deneyi yapmışlardır. THDO açısından HEPA filtreleri ve elektrostatik filtrelerin, iyon üreteçlerinden çok daha etkili olduğunu bulmuşlardır.

Kang ve diğerleri (2008) hava temizleme cihazının farklı THDO ve konumlarının bir bina içindeki, kirletici partikül yoğunluğu üzerindeki etkisini değerlendirmek için hesaplamalı akışkanlar mekaniği modelini kullanmışlardır. Bu modelde, bir dairenin farklı odalarındaki uygun THDO değerlerini ve cihaz konumu araştırmışlardır. Hava temizleme cihazının farklı konumlarının cihazının verimini 3 kata kadar etkilediğini ve THDO değerinin cihaz performansı ile doğru orantılı bulmuşlardır.

Novoselac ve Siegel (2009) hava temizleme cihazını çok odalı bir evin içine koyarak durumunu değerlendirmişlerdir. Her bir odadaki hava temizleme cihazının performansını incelemişlerdir. İncelemelerde kirletici parçacıkların boyutlarının ve THDO değerinin,

sonuçları etkilediğinin gözlemlemişlerdir. Tüm bunları deneysel ölçümler ve bilgisayar simülasyonları ile yapmışlardır. Yüksek THDO'ya sahip cihazların iç mekandaki partikülleri temizlemede daha etkili olduğunu ve farklı odaların THDO'yu etkilediğini bulmuşlardır.

H. Kim, Kan, Y. Kim, Yoon ve Oda (2012) 4 m^3 hacme sahip kapalı bir test odasında, Fourier dönüşümlü kızılötesi ölçümleri ve temiz hava dağıtım oranını (THDO) kullanarak iç mekan hava temizleyicilerinin, zararlı gazları temizleme performansını değerlendirmek için yeni bir test yöntemi geliştirmişlerdir. 18 adet hava temizleme cihazının hem kendilerinin geliştirdiği sistemde hem de mevcut sistemlerde performansını karşılaştırmışlardır. Sonuçların hava temizleyicisinin kirletici partikülleri temizleme performansının kirletici tipine, akış hızına ve filtre tipine bağlı olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca geliştirdikleri yeni test yönteminin hava temizleme cihazlarının kirletici partikülleri temizleme performansını belirlemede daha fazla ayırt edici olduğu sonucuna varmışlardır.

Mølgaard, Koivisto, Hussein ve Hämeri (2014) partikül boyutu çözümlenmiş temiz hava dağıtım oranlarına göre hava temizleme cihazlarının kirletici partikülleri uzaklaştırma miktarını belirlemişlerdir. Bu işlemi partikül konsantrasyonu ölçümlerini ve iç mekan aerosol modellemesini kullanılarak elde etmişlerdir. Çalışmayı ev ve ofis için tasarlamışlardır. Küçük partiküllerde THDO'nun daha yüksek olduğunu ve filtreleme sistemine dayalı cihazların performansının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Ongwandee ve Kruewan (2013) hem oda hem de araba olmak üzere hava temizleme cihazlarını, temiz hava dağıtım oranı (THDO) açısından değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmeleri $PM_{2.5}$ ve PM_{10} açısından yapmışlardır. Kişilerin ozon veya iyon üreten hava temizleme cihazlarını kullanmamalarını bunların yerine HEPA filtre gibi diğer mekanik filtrelere sahip cihazları kullanmalarını önermişlerdir.

Akbari ve Salmanzadeh (2019) hava temizleme cihazının ve farklı havalandırma sistemlerinin birlikte çalışması durumunda, kirletici partiküllerin temizlenme performansını hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemini kullanarak

incelemişlerdir. İçerisinde oturan bir insan olan oda modellemişler ve kirletici partiküllerin dağılımını izlemek için SF_6 gazı kullanmışlardır. Hava temizleme cihazının çalışmadığı ve farklı konumlarda olduğu durumlar için hava yaşı ve THDO değerlerini karşılaşmışlardır. Havalandırma sistemlerinin konumu ve türü, taşınabilir hava temizleme cihazlarının performansını etkileyen en önemli faktör olduğunu söylemişlerdir. Hava temizleme cihazlarını, hava yaşının yüksek olduğu bölgelere yerleştirilmesini ve temizlenmiş havanın, havalandırma sisteminin olduğu bölgeye püskürtülmemesini tavsiye etmişlerdir.

Noh ve Yook (2016) hava temizleme cihazı ve havalandırma sistemlerinin performansını kirletici partikülleri uzaklaştırma ve temizleme açısından karşılaştırmışlardır. İki farklı hava temizleme cihazı ve havalandırma sistemine sahip yeni bir kütle dengesi denklemi türetmişlerdir. Üç tip hava temizleme cihazını tek tek, ikili gruplar halinde ve üçü beraber olacak şekilde test etmişler ve bu cihazların yanında sadece havalandırma sistemi çalışacak şekilde hız dağılımlarını, hava yaşı dağılımlarını ve THDO değerlerini incelemişlerdir. Ayrıca havalandırma sisteminin ve hava temizleme cihazının işletme maliyetlerini araştırmışlardır. İki veya daha fazla hava temizleme cihazının aynı anda çalışması durumunda performanslarının birbirini etkilemediğini, hava temizleme cihazının THDO değerinin havalandırma sisteminden daha yüksek olduğunu ve aynı debideki hava temizleme cihazının işletme maliyetinin havalandırma sisteminden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Noh ve Oh (2015) masa tipi ve normal tip olmak üzere iki farklı hava temizleme cihazı kullanmışlar ve bu cihazları boyutları farklı olan iki odada test etmişlerdir. Odaların içindeki havayı temizleme performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için HAD yönteminden yararlanmışlardır. Cihazların performansını değerlendirirken farklı hava debisi kullanmışlar ve cihazları oda içinde farklı yerlere konumlandırmışlardır. THDO değerinin daha doğru ölçülmesi için etkili hava dağıtım oranını (EACR: The effective air cleaning ratio) yeni bir ölçüt olarak tanımlamışlardır. Bu parametreye ek olarak hava yaşı durumlarını da incelemişlerdir. Tüm bu sonuçlar için farklı hava debisi ve üfleme açısı kullanmışlar ve cihazları farklı bölgelere konumlandırmışlardır. THDO'nun, filtreleme verimliliğinden, akış hızından ve hava temizleme cihazının tasarımından etkilendiğini

söylemişlerdir. Partikül boyutu arttıkça THDO'nun azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca EACR'nin, hava temizleme cihazının tasarımı ile belirlendiğini ve yaklaşık olarak 0.70-0.83 aralığında olduğu bulmuşlardır.

Gao ve Zhang (2010) gaz halindeki kirleticilerin ve küçük parçacıkların dağılımlarını incelemek için hava temizleme cihazının çalıştığı havalandırılmış bir oda modellemişlerdir. Hava temizleme cihazının, oda içindeki insanın nefes olma bölgelerindeki kirleticileri azaltma durumunu değerlendirmişlerdir. Bunun yanında hava temizleme cihazının oda içinde bulunan kişilerin kirletici gaz ve partiküllerden etkilenmelerini azaltmak için diğer ölçümlerden farklı olarak "Maruziyet Azaltma Etkinliği" (ERE: Exposure Reduction Effectiveness) parametresini önermişlerdir.

Siegel (2016) genel olarak hava temizliği, hava temizleme teknolojileri ve hava temizliğinin sağlık arasındaki ilişkisi hakkında çeşitli incelemelerde bulunmuştur. Bununla birlikte hava temizleme cihazlarının birincil (Havanın temizlenmesi ve kirletici yoğunluğunun azaltılması) ve ikincil (Cihazın çalışması sırasında üretilen enerji ve temizleme işlemi sonrasındaki üretilen kirletici maddeler) etkilerini tanımlamıştır. Bunların sonucunda hava temizleme cihazlarının performansı iyi bir şekilde değerlendirmek için şu maddelerin yapılması gerektiğini söylemiştir; çalışmanın iyi karakterize edilmiş iç mekanlarda gerçekleşmesi, performanstaki değişiklikleri tespit edebilmek için yeterli sürenin olması, hava temizleme cihazlarının hem birincil hem de ikincil etkilerinin incelenmesi ve hava temizleme cihazının birden fazla kirletici üzerinde denenmesi.

Zhang, Wang, Sun, Xu ve Takaoka (2010) iç mekan havasını kirleticilerden arındırmayı hedeflemişler ve klima ile hava temizleme cihazı arasındaki verimi arttırmak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yöntemini kullanmışlardır. Modeli oluştururken klima, hava temizleme cihazı ve kirleticilerin farklı yerlere konumlandırılmasını, farklı üfleme açılarını, klimanın soğutma ve ısıtma modlarında çalıştırılmasını ayrı ayrı incelemiş ve değerlendirmişlerdir. Bunların sonucunda iç mekan havasının temizliğinin incelenen parametreler ile ilgi olduğunu bulmuşlardır. Klimanın ve hava temizleme cihazının konumlandırılması, seçilen klimanın hava püskürtme açıları ve kullanılan

klimanın soğutma veya ısıtma modunda çalışmasının hava temizliğini etkilediğini söylemişlerdir. Klimanın ısıtma modu yerine soğutma modunda çalışmasını, hava temizleme cihazının en iyi verimde çalıştığı durum olduğunu bulmuşlardır.

Kashkooli ve diğerleri (2020) fan yardımıyla küçük zararlı partikülleri oda içine homojen bir şekilde dağılabildiği bir oda tasarlamışlardır. Hava temizleme cihazının küçük zararlı partikülleri temizleme performansını değerlendirmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli geliştirmişlerdir ve hava temizleme cihazını üç farklı konuma yerleştirmişlerdir. Hava temizleme cihazının verimini sırasıyla; oda duvarlarının herhangi birinin ortasına konumlandırıldığında birinci, oda merkezine konumlandırıldığında ikinci ve fanın önüne konumlandırıldığında ise üçüncü sırada olduğunu bulmuşlardır.

Jin, L. Yang, Du ve Y. Yang (2016) içinde hava temizleme cihazı ve yatan bir insan olan odanın modelini yapmışlardır. Hava temizleme cihazının farklı akış hızı, konum ve üfleme açısı durumlarının karşılaştırmışlardır. Hava temizleme cihazı çalışma koşullarının partikül taşıma özellikleri üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Hava temizleme cihazı üfleme yönünün yatay ve yukarı olduğunda fazla farklılık göstermediğini ancak bu iki durumun, üfleme yönünün aşağı doğru olmasına göre veriminin daha yüksek olduğu bulmuşlardır.

Chen ve diğerleri (2017) hava temizleme cihazının sigara ve öksürüğün neden olduğu partiküllere karşı performansını incelemişler ve cihazın farklı konumlardaki hız dağılımlarını karşılaştırmışlardır. Parçacıkların ve hava temizle cihazının neden olduğu etkileri ayrıntılı olarak analiz etmişlerdir. Hava temizleyicinin konumunun, iç mekan partikül konsantrasyonunun belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Hava temizleyici ile sigara içen adam arasındaki mesafe kısaldıkça odadaki partikül konsantrasyonunun düştüğünü ve hava temizleme cihazının insanın tam karşısına yerleştirildiğinde diğer konumlara göre daha verimli olduğunu bulmuşlarıdır. Bunun yanında hava temizleme cihazının yönünün performansı belirlemede önemli bir etken olduğu söylemişlerdir.

Zuraimi, Nilsson ve Magee (2011) hava temizleme cihazının grip virüsünden dolayı kirlenen iç mekan havasını temizleme aşamalarını araştırmışlardır. Bu çalışmayı hava temizleme cihazının performansını değerlendirmek için ölçümler yapmak, öksürük ve hapşırma ile oluşan küçük parçacıkların giderilmesi için hava temizleme cihazından yararlanmak üzere iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. Burada grip virüsünün partikülleri yerine NaCl partiküllerini kullanmışlar ve NaCl partiküllerini temizlemek için birkaç hava temizleme cihazını test etmiş ve karşılaştırmışlardır. HEPA ve elektrostatik filtreli portatif hava temizleme cihazlarının, grip virüsü partiküllerini etrafa yayan öksürük ve hapşırma olaylarıyla oluşan kirleticileri temizlemede en yüksek etkiye sahip olduğunu ve hava temizleme cihazı kullanıldığında esnada bu partiküllerde, önemli derecede azalma meydana geldiğini bulmuşlardır.

Kashkooli ve diğerleri (2021) oda içerisindeki hava temizleme cihazının, öksüren bir kişinin ağzından çıkan partiküller üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bununla birlikte kirletici partiküllerin hızının ve oda içerisindeki dağılımlarının üfleme açısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. İzole edilmiş odayı mobilyalı ve mobilyasız olarak tasarlamışlardır. Bunlara ek olarak mobilyaların ve cihazın yerini değiştirmişler, farklı üfleme açılarını kullanmışlar ve karşılaştırmışlardır. Mobilyaların konumunun ve üfleme açısının kirletici partikülleri temizlemede önemli unsurlar olduğunu bulmuşlardır.

Kolarik, Wargocki, Skorek-Osikowska ve Wisthaler (2010) bir fotokatalitik hava temizleme cihazının iç mekanda bulunan kirleticileri temizleme performansını araştırmışlardır. Deneyi 108 m^3 mobilyalı bir ofiste gerçekleştirmişlerdir. Ofisi iki bölmeye ayırmışlardır. Bir bölmesinde kimyasal, fiziksel ve duyusal ölçümler yapmışlardır. Diğer bölmesine dış mekan havasını ve kirli partikülleri temizlemek için fotokatalitik hava temizleme cihazını koymuşlardır. Fotokatalitik hava temizleme cihazının çalıştırılması, yapı malzemeleri ile kirlenmiş bir ofisin hava kalitesini iyileştirdiğini söylemişlerdir.

Ardkapan, Afshari, Bergsøe ve Nielsen (2014) beş adet hava temizleme cihazının çok küçük parçacıkları temizleme performanslarını ve bu cihazların yan etkilerini değerlendirmişlerdir. Ölçümleri hem odada hem de kanal içinde gerçekleştirmişlerdir.

Ozon üreten hava temizleme cihazlarının ince partikül madde ürettikleri sonucuna varmışlardır.

H. Park, S. Park ve Seo (2020) nefes alıp verirken meydana gelen kirletici partikülleri temizleyen hareketli bir hava temizleme cihazı tasarlamışlardır. Cihazı insanın hareketlerine duyarlı olacak şekilde düşünmüşlerdir. Meydana gelen hareket sonucu cihazın, hareket bölgesine gelerek nefes alıp verme sonucu oluşan kirletici partikülleri temizleme performansını araştırmışlardır. Hareketli bir hava temizleyicinin, kişileri izleme yöntemi vasıtasıyla, insanların nefes alma bölgelerindeki kirli partikülleri temizleme performansının sabit olan cihazlara göre daha iyi olduğunu bulmuşlar ancak bununda, cihazın ilerlediği yolun kötü olması veya kişi sayısındaki artış gibi dezavantajı olduğunu belirtmişlerdir.

Hacker ve Sparrow (2005) biri sabit diğer beşi taşınabilir olan altı adet hava temizleme cihazı yatak odasındaki çalışma durumlarını incelemişlerdir. Sabit olanı yatak başlığının önü monte etmişler, diğer beşini ise odanın iki farklı yerine yerleştirmişlerdir. Bu altı hava temizleme cihazını üç farklı durumda incelemişlerdir. Bunlar; hava giriş ve çıkışı olmadan, hava giriş ve çıkışı yatağın alt kısmında olması ve hava girişi ve çıkışı yatağın üst kısmında olmasıdır. Bu kapsamda yatak başlığının önüne monte edilmiş hava temizleme cihazının performansının diğerlerinden daha üstün olduğunu bulmuşlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

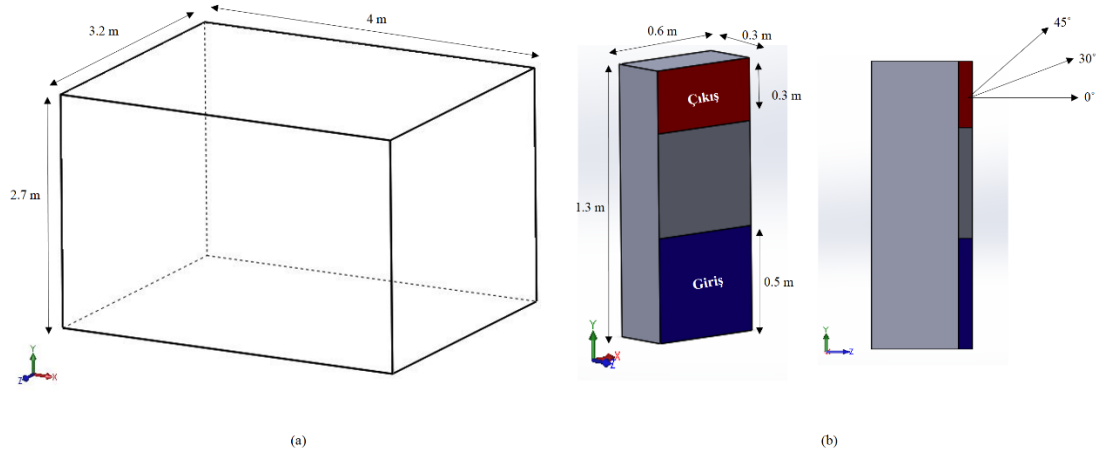
Bu kısımda, tez çalışmasındaki problemin sayısal olarak çözülmesi için ölçüler, sınır şartları, korunum denklemleri, modelin ağ yapısı ve bunlarla birlikte çalışmada kullanılan türbülans modeli ve THDO ile hava yaşı parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1 Problemin Genel Tanımı

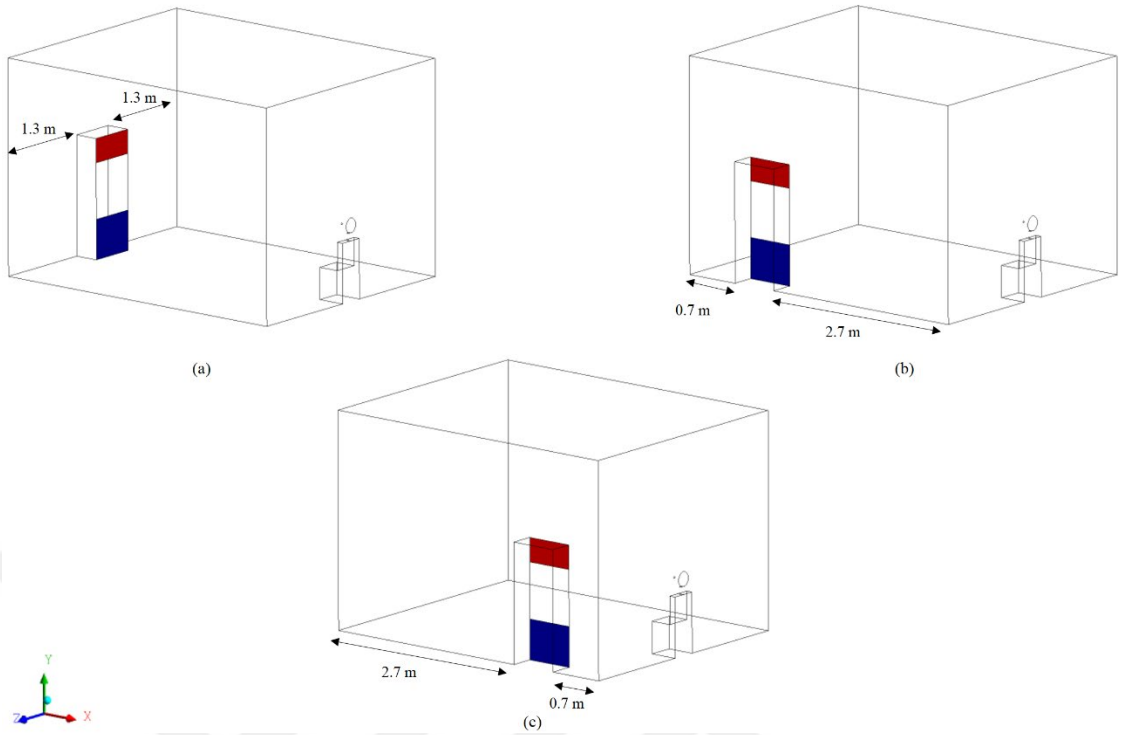
Bu çalışmada 34 m^3 hacme sahip bir oda modellenmiştir. Oda içindeki farklı bölgelere portatif hava temizleme cihazı konumlandırılmış ve cihaz için üç farklı hava hız ve üfleme açısı kullanılmıştır. Cihazın performansını belirlemek için hacim içindeki hız, hava yaşı ve sıcaklık dağılımları bunların yanında THDO ve hava yaşı parametreleri hesaplanmıştır.

3.2. Modelin Geometrik Bilgisi

Modellenen odanın yüksekliği 2,7 m, genişliği 4 m ve derinliği 3,2 m'dir (Şekil 3.1a). Oda içine oturan bir insan mankeni yerleştirilmiş ve portatif hava temizleme cihazı üç farklı bölgeye konumlandırılmıştır (Şekil 3.2). Portatif hava temizleme cihazının yüksekliği 1,3 m, genişliği 0,6 m ve derinliği 0,3 m'dir. Hava giriş kısmının boyutları 0,6 m × 0,5 m ve çıkış kısmının boyutları ise 0,6 m × 0,3 m'dir (Şekil 3.1b).



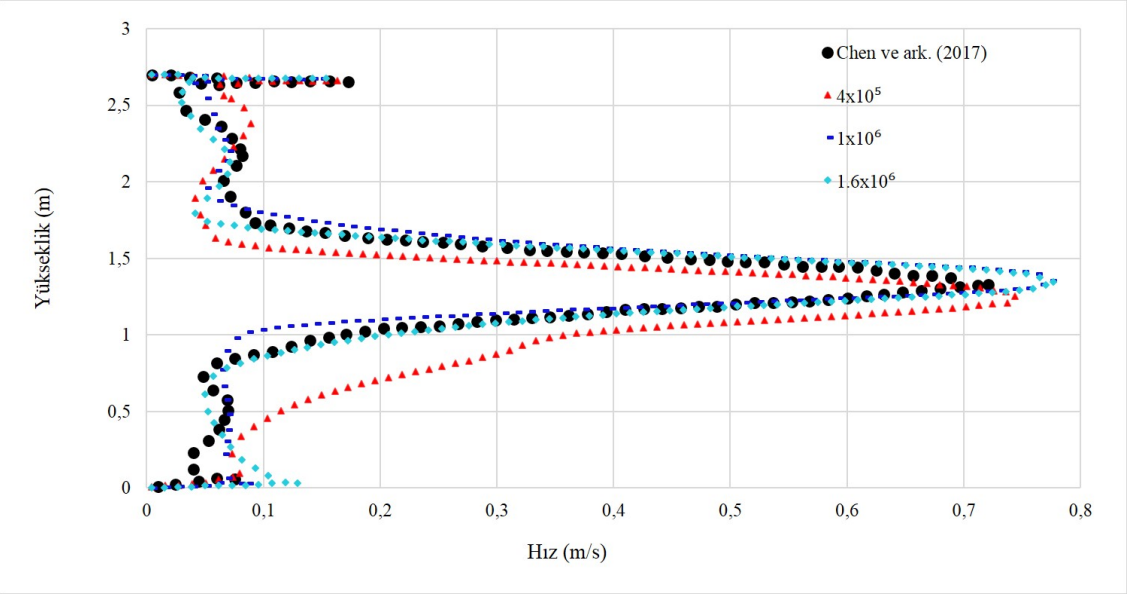
Şekil 3.1. (a) Oda boyutları, (b) cihaz boyutları ve üfleme açıları



Şekil 3.2. Cihaz konumları; (a) konum 1, (b) konum 2, (c) konum 3

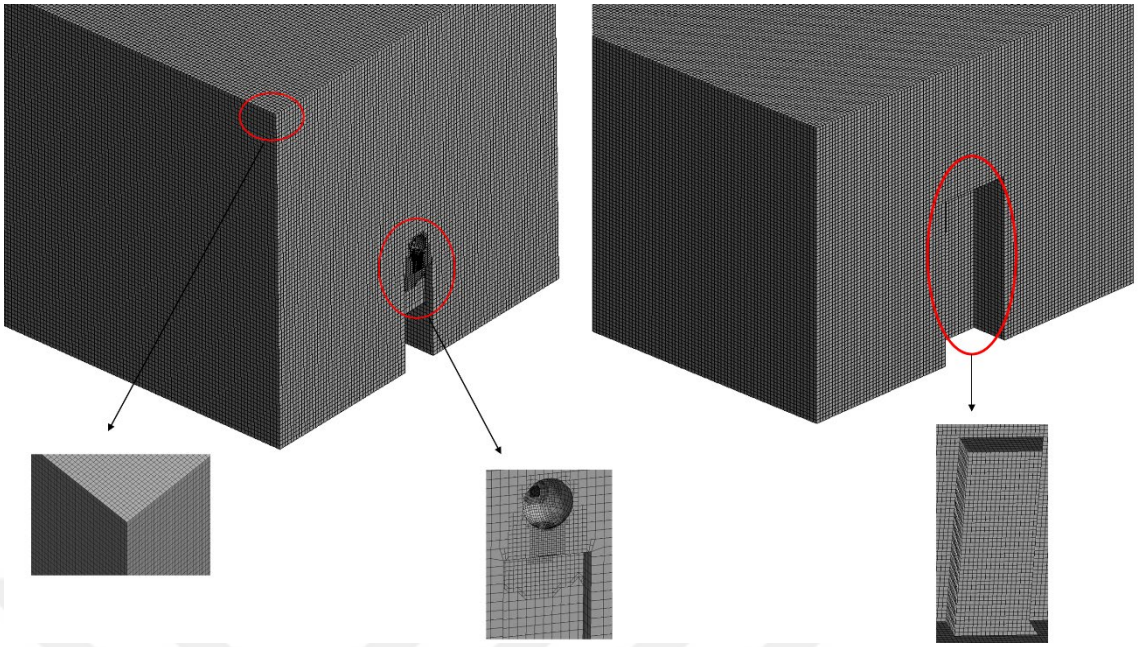
3.3. Modelde Kullanılan Ağ Yapısı

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin doğruluğu modelin eleman sayısına bağlıdır. Genel olarak eleman sayısı arttıkça çözümün doğruluğu artmaktadır. Ancak bununla doğru orantılı olarak çözüm için geçen süre de artmaktadır. Bu yüzden hem modelin doğruluğunun en iyi hem de sürenin en kısa olduğu eleman sayısını seçmek gerekmektedir. Bundan dolayı modelin çözümlenmesi için $4x10^5$, $1x10^6$ ve $1{,}6x10^6$ olmak üzere üç farklı eleman sayısına sahip ağ yapısı kullanılmıştır. Bu üç farklı ağ yapısı Chen ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma Şekil 4.1'deki düşey çizgi boyunca hızlar alınarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.3'te de görüldüğü üzere eleman sayısı arttıkça deneysel veriler ile uyum artmaktadır. Bu nedenle 1 milyon eleman sayısına sahip ağ yapısının deneysel veriler ile uyumlu olduğu ve yeterli hassasiyette sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Aynı zamanda çözüm süreside düşünüldüğü için bu eleman sayısı uygun görülmüştür. Sonuç olarak HAD modeli ve ağ yapısının doğrulandığı kabul edilmiştir. Bu çalışma kapsamındaki diğer hesaplamalar bu ağ yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

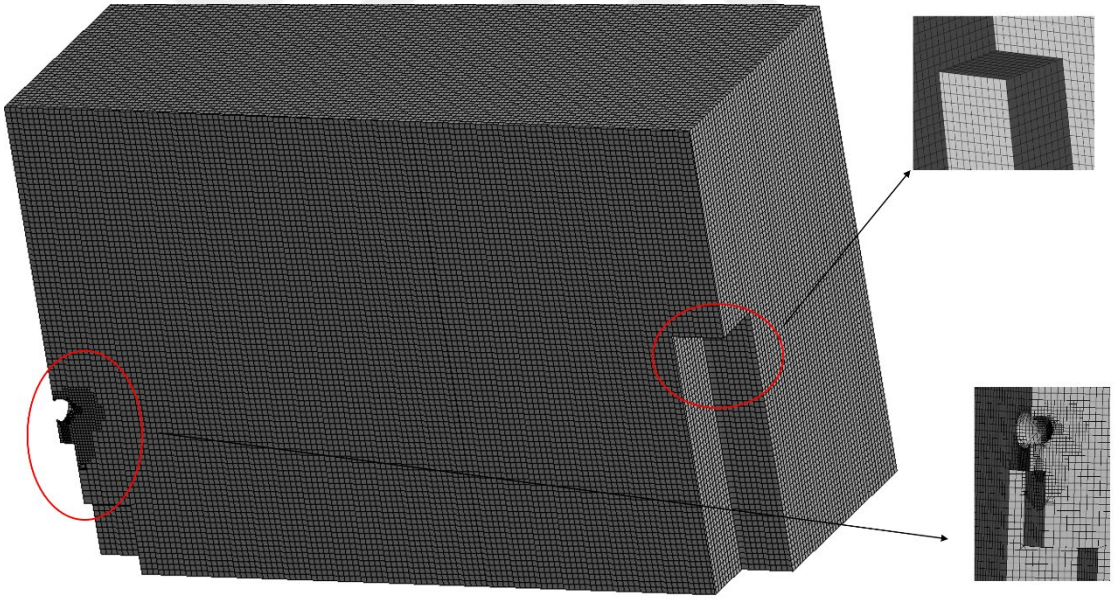


Şekil 3.3. Farklı ağ yapısındaki hesaplama sonuçlarının deneysel ölçümler ile karşılaştırılması

Uygun eleman sayısına ait ağ yapısı Şekil 3.4'te görülmektedir. Eleman ağı oluşturulurken tetrahedron ve hexahedron elemanlar kullanılmıştır. İnsanın olduğu kısımdaki kavislerden dolayı sadece burada tetrahedron elemanlar kullanılmıştır. Analizlerin doğruluğu için cihazın hava giriş ve çıkış kısmındaki ağ yapısı sıklaştırılmış ve minimum eleman boyutu 0,002 m ve maksimum eleman boyutu 0,032 m olarak ayarlanmıştır. Ağ yapısının kesit görünümü şekil 3.5'teki gibidir. Burada da tetrahedron ve hexahedron elemanların kullanıldığı görülmektedir. Bu işlemlerden sonra toplam eleman sayısı 1 081 615 ve düğüm sayısı 1 117 280 çıkmıştır. Toplam eleman kalitesi 0,99895 tespit edilmiştir. Oluşturulan bu ağ yapısı konum 1 içindir ve diğer konumlar için ağ yapısı benzerlik göstermektedir.



Şekil 3.4. Analizlerde kullanılan modelin ağ yapısı



Şekil 3.5. Analizlerde kullanılan model ağının kesit görünümü

3.4. Sınır şartları

Portatif hava temizleme cihazından odaya püskürtülen hava için 0,2 m/s, 0,4 m/s ve 0,8 m/s olmak üzere üç farklı hız değerleri seçilmiştir. Seçilen bu hız değerleri çerçevesinde

hava, 0˚, 30˚ ve 45˚ olmak üzere üç farklı açıda oda içine püskürtülmüştür (Şekil 3.1b). Son olarak da cihaz oda içinde üç farklı bölgeye konumlandırılmıştır (Şekil 3.2).

Oda ve vücut üzerinde sabit yüzey sıcaklığı sınır şartı tanımlanmıştır. Oda duvarları ve insan modelinin sıcaklıkları sırasıyla 298 K ve 308 K alınmıştır. Diğer yüzeylerde adyabatik sınır şartı kabul edilmiştir. Havanın yoğunluğu 1,221 kg/m^3 olarak alınmıştır.

Oda içindeki hız, basınç ve sıcaklık dağılımını bulabilmek için türbülanslı akış için üç boyutlu zaman-ortalama Navier-Stokes denklemleri (Denklem 3.1 ve Denklem 3.2), enerji denklemi (Denklem 3.3) ve türbülans denklemleri sonlu hacim yaklaşımıyla iteratif olarak çözümlenmiştir. Basınç hız ilişkisi için SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak iki denklem ile türbülansı modelleyen RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Literatürde bu tür oda içi türbülanslı akışlarda RNG k-ε türbülans modelinin yapılan deneysel ölçümlerle iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Kilic ve Sevilgen, 2008; Sevilgen ve Kilic, 2011). Bu model aynı zamanda otomobil kabini gibi küçük hacimli ortamlarda oluşan hava akışını ve ısıl konfor parametrelerini belirlemek için de başarılı sonuçlar vermiştir (Sevilgen ve Kilic, 2010, 2012).

3.5. Korunum Denklemleri

Sayısal modellemede tanımlanan korunum denklemleri aşağıdaki gibidir:

Kütlenin korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_k)}{\partial x_k} = 0 \tag{3.1}$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğudur (kg/m^3), u_k (m/s) x_k yönünde hız bileşenidir.

Momentumun korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_i u_k)}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + (\mu + \mu_t)\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k^2} + Si \tag{3.2}$$

Burada p (Pa) statik basınç, μ dinamik viskozite, μ_t türbülans ya da diğer bir deyişle eddy viskozitesini, S_i birim hacim başına cisim kuvvetlerini (Kaldırma ve diğer dış kuvvetleri gibi) temsil eden kaynak terimidir. Eddy viskozitesi eşitliği denklem 3.3'de verilmiştir:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3.3}$$

Burada ρ yoğunluk (kg/m^3), C_μ katsayı ve değeri 0,09'dir.

Enerjinin korunumu

$$\frac{\partial(\rho u_k c_p T)}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_k}\right) + Sk \tag{3.4}$$

Burada c_p (J/kgK) havanın sabit basınçta özgül ısısı, λ (W/mK) havanın ısı iletim katsayısı, T (K) sıcaklık ve Sk hacimsel kaynak terimidir.

3.6. RNG k- ε türbülans modeli

Türbülans sırasında oluşan küçük boyuttaki akış hareketlerini daha iyi modelleyebilmek için Yakhot ve ark. (1992) Navier-Stokes denklemlerini sadeleştirmişlerdir. RNG k- ε türbülans modelinin standart k-ε türbülans modeline benzemekle birlikte bazı avantajları da vardır:

• RNG türbülans modelinin ε denkleminde, doğruluğu arttırmasını sağlayan ek bir terim bulundurmaktadır.

• Doğruluğun artması için girdaplı akışkanlarda, girdabın etkisi RNG modeline eklenmiştir.

• RNG türbülans modelinde Prandtl sayıları için analitik hesap yapılmaktadır. Standart model de ise kullanıcının tanımladığı sabit değerler kullanılmaktadır.
• Standart türbülans modeli yüksek Reynold sayısı modeli iken RNG türbülans modeli düşük Reynold sayısı etkilerini hesaba dahil edip etkin viskozite için analitik olarak türevli diferansiyel denklem oluşturulmaktadır. Bu özelliğin etkin kullanımı duvar bölgelerinde uygun iyileştirmeler yapmaktadır.

RNG k-ε modeli için transport denklemleri:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[a_k(\mu + \mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M - S_k \tag{3.5}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[a_\varepsilon(\mu + \mu_t)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \tag{3.6}$$

Burada G_k, ortalama hız gradyanlarına bağlı olarak türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu temsil etmektedir. G_b kaldırma kuvveti etkisiyle meydana gelen türbülans kinetik enerji üretimidir. Y_M sıkıştırılabilen akışkanlarda, türbülans içinde dalgalanan genişlemenin, genel genişleme oranına katkısını simgelemektedir. a_k ve a_ε sırasıyla k ve ε için ters etkili Prandtl sayılarıdır. S_k ve S_ε da kaynak terimleridir. μ dinamik viskozite, μ_t türbülans viskozitesidir.(Güngör, 2013).

Bu türbülans modelinde kullanılan sabitler; $C_{1\varepsilon} = 1{,}42$ ve $C_{2\varepsilon} = 1{,}68$ olarak varsayılmaktadır.

3.7. Hava Yaşı

Hava yaşı, portatif hava temizleme cihazından çıkan temizlenmiş havanın oda hacmi içinde, belirli bir noktaya ulaşması için geçen ortalama süredir (ASHRAE, 2005).

Ortalama hava yaşı hava temizleme cihazının farklı çalışma koşullarında iç ortam havasının temizlenme seviyelerini tahmin etmek için hesaplanır. Hava yaşının yüksek olması, temiz havanın istenilen bölgeye daha geç ulaşması anlamına gelir. Bu kapsamda portatif hava temizleme cihazlarının çalıştığı ortamın ortalama hava yaşının düşük olması istenmektedir. Hava yaşı skalar bir büyüklük olarak hacim içinde çözülmesi gereklidir. Bu amaçla Denklem 3.1-3.2 ile verilen korunum denklemleri ve türbülans denklemlerine ilave olarak FLUENT yazılımında kullanıcı tanımlı fonksiyonlar yardımıyla (UDF) ilave bir kod yazılarak hava yaşı hesaplanmıştır. Hava yaşının hesabında kullanılan denklem Denklem 3.7'de verilmiştir.

$$\mathrm{div}(\rho u_k \tau - \Gamma_\tau \, grad\tau) = 1 \tag{3.7}$$

Burada τ (s) ortalama hava yaşı, Γ_τ difüzyon katsayısıdır. Hava yaşı üfleme alanında sıfır olarak alınmış, diğer tüm yüzeylerde yüzeye normal gradyan sıfır olarak kabul edilmiştir.

3.8. Temiz Hava Dağıtım Oranı (THDO)

THDO, portatif hava temizleme cihazı tarafından, tanımlanan partikül boyutu aralığında, kirletici içermeyen hava dağıtım ölçümü olarak tanımlanır ve m^3/dk olarak ifade edilir (AHAM, 2015). Hava temizleme cihazlarının etkinliğini ölçmek için, temiz hava dağıtım oranı çoğunlukla uluslararası bir parametre olarak kullanılır (Küpper ve diğerleri, 2019). THDO değeri ne kadar yüksek olursa, ortam havasındaki kirleticilerin azalması da o derece yüksek olur. Temiz hava dağıtım oranını hesaplama yöntemi aşağıdaki denklemdeki gibidir (AHAM, 2015):

$$\mathrm{C}_t = \mathrm{C_i} e^{-\mathrm{k_e} t} \tag{3.8}$$

Burada t zaman (dk), C_t herhangi bir t anındaki konsantrasyon, C_i ise başlangıç (t=0) anındaki konsantrasyon ve k_e partikül azalma oranıdır.

$$\mathrm{THDO} = \mathrm{V}(\mathrm{k_e} - \mathrm{k_n}) \tag{3.9}$$

Burada THDO temiz hava dağıtım oranıdır (m^3/dk), V test odasının hacmidir (m^3), k_e hava temizleme cihazının çalışması sırasındaki partikül azalma oranıdır ve k_n doğal partikül azalma oranıdır.

THDO hesaplanırken ilk olarak modelin momentum ve enerji denklemlerinin çözülümü yapıldıktan sonra partiküller rastgele oda içine dağıtılmıştır. Buradaki partikül hareketleri için DPM (Dicrete Phase Model) modeli kullanılmıştır. Partiküllerin çapı $1x10^{-5}$ m, kütlesel debisi $7x10^{-12}$ kg/s ve sıcaklığı ise 295 K'dir. Partikülleri etkileyen kaldırma, sürüklenme kuvvetleri Denklem 3.10'da, termoforetik kuvvetler Denklem 3.11'de, Brownian kuvveti Denklem 3.12'de ve kesmeden kaynaklanan Saffman kaldırma kuvveti Denklem 3.13'de gösterilmektedir. Son olarak partiküller üzerindeki genel kuvvet dengesi Denklem 3.14' de gösterilmektedir. DPM modelinde, her 50 s'de bir oda içindeki partikül konsantrasyonu belirlemiş ve t=0 anındaki partikül konsantrasyonu C_i olarak alınmıştır. İncelenmek istenen dokuz durum için (üç farklı açı, üç farklı hız ve üç farklı konum) t=3000 s sonraki partikül konsantrasyonları için C_t alınmış ve Denklem 3.8 kullanılarak k_e hesaplanmıştır. k_n değeri için ise Küpper ve ark. (Küpper ve diğerleri, 2019) 70 m^3 hacmindeki odada 15 farklı ölçüm yapmış ve bu ölçümler çerçevesinde k_n değeri ortalama 0,00531 l/dk olarak alınmışlardır. Son olarak da Denklem 3.9 kullanılarak THDO değeri hesaplanmıştır.

$$F_D = \frac{18\mu_a}{d_P^2 \rho_P C_c} \tag{3.10}$$

$$F_t = \frac{6\pi d_p \mu^2 C_s (K + C_t Kn)}{\rho(1 + 3C_m Kn)(1 + 2K + 2C_t Kn)} \frac{1}{m_p T} \frac{\partial T}{\partial x} \tag{3.11}$$

$$F_b = \zeta \sqrt{\frac{216 v k_B T}{\pi \rho (d_p^5)^2 C_c \Delta t}} \tag{3.12}$$

$$F_s = \frac{2K v^{\frac{1}{2}} \rho d_{ij}}{\rho_P d_P (d_{lk} d_{kl})^{\frac{1}{4}}} (u - u_P) \tag{3.13}$$

Burada K=2,594 olarak alınmıştır ve d_{ij} deformasyon tensörüdür (Denklem 3.12).

$$\frac{du_p}{d_t} = F_D(u - u_P) + \frac{g(\rho_P - \rho)}{\rho_P} + F_t + F_b + F_s \tag{3.14}$$

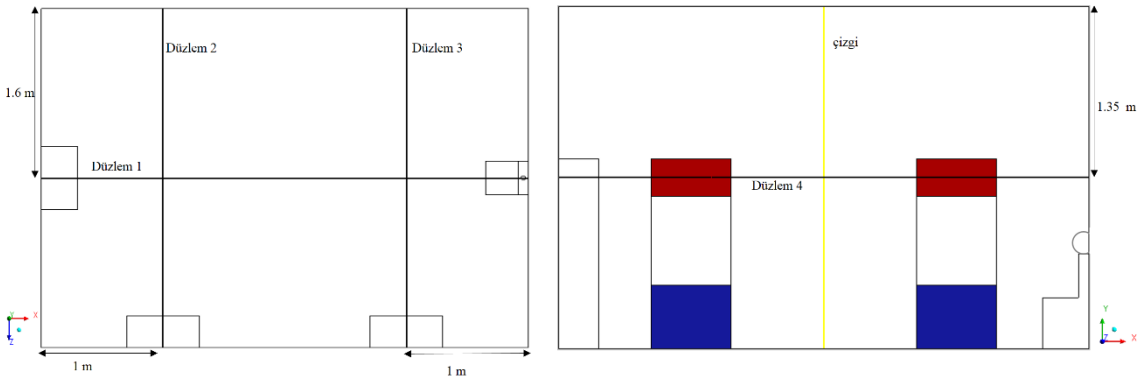
Bu denklemlerde u akışkan hızını (m/s), u_P partikül hızını (m/s), ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3), ρ_P partikül yoğunluğunu (kg/m^3), g yerçekimi ivmesini (m/s^2), Kn Knudsen sayısını ($2\lambda_a/d_P$) ve λ_a akışkanın ortalama serbest yolunu (m), ζ sıfır ortalamalı Gaussian rastgele sayılarını, C_c Cunningham düzeltme faktörünü, k_B boltzman sabitini K sıvı iletkenliğinin partikül iletkenliğine oranını (k/k_p), m_p partikül kütlesini (kg), T akışkanın sıcaklığını ve μ_a akışkanın viskozitesini (Pa.s) temsil etmektedir. C_s, C_t ve C_m katsayıları sırasıyla 1,17, 2,18 ve 1,14 olarak alınmıştır (ANSYS, 2013).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu kısımda portatif hava temizleme cihazı çalışma koşulu olarak çizge 4.1'deki girdiler kullanılmıştır. Bu durumlar çerçevesinde portatif hava temizleme cihazının performansı THDO ve hava yaşı parametreleri açısından karşılaştırılmış ve hava hızı, hava yaşı ve sıcaklık dağılımları değerlendirilmiştir. Değerlendirilmeleri iyi bir şekilde yapılası için de dört adet düzlem belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. Had analizlerinde kullanılan çalışma parametreleri

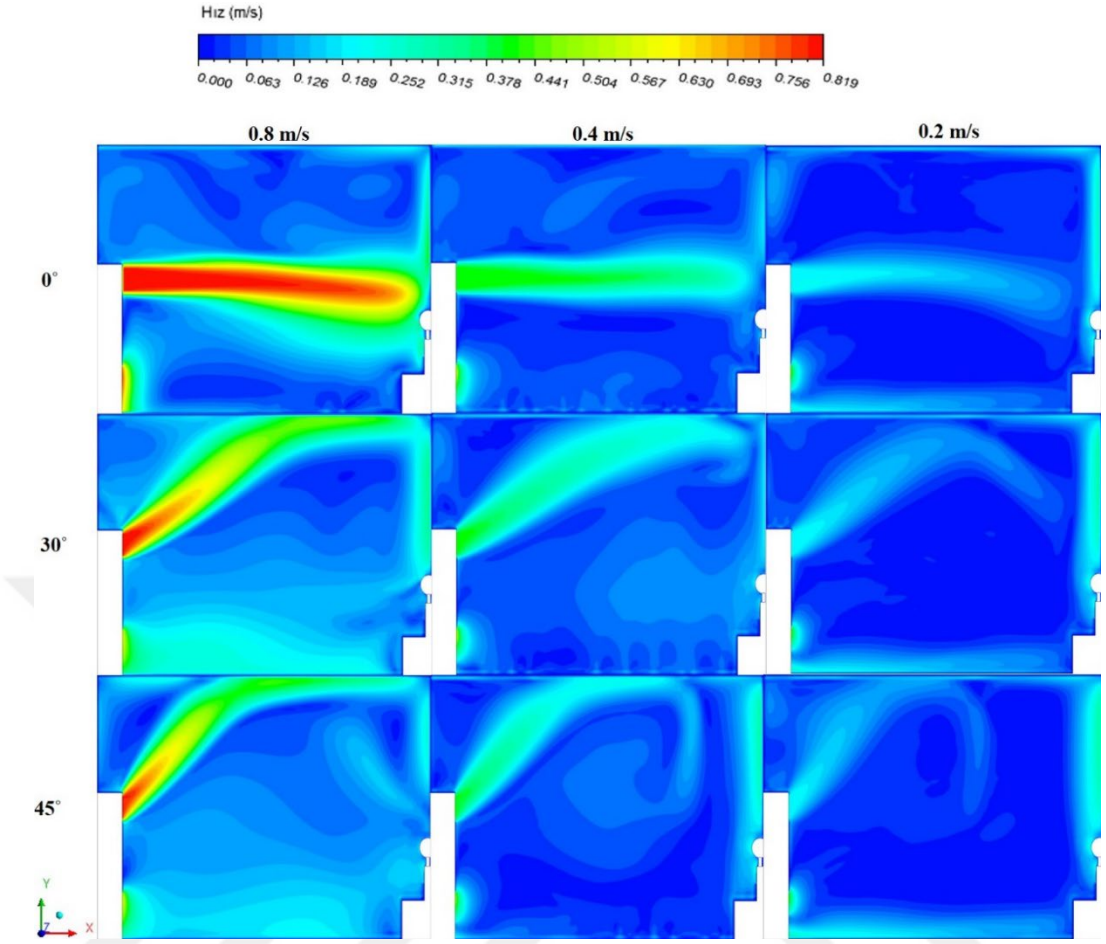
Girdiler	**Adet veya Değerler**
Konum	Konum 1/Konum 2/ Konum 3
Hız	0,2/0,4/0,8 (m/s)
Kütlesel debi	130/260/520 (m^3/sa)
Açı	0˚/30˚/45˚
Havanın yoğunluğu	1,221 (kg/m^3)
Türbülans modeli	RNG k-ε türbülans modeli
İnsanın sıcaklığı	308 (K)
Oda duvarlarının sıcaklığı	298 (K)
Diğer yüzeyler	Adyabatik sınır şartı



Şekil 4.1. Analizler için kullanılan düzlemler

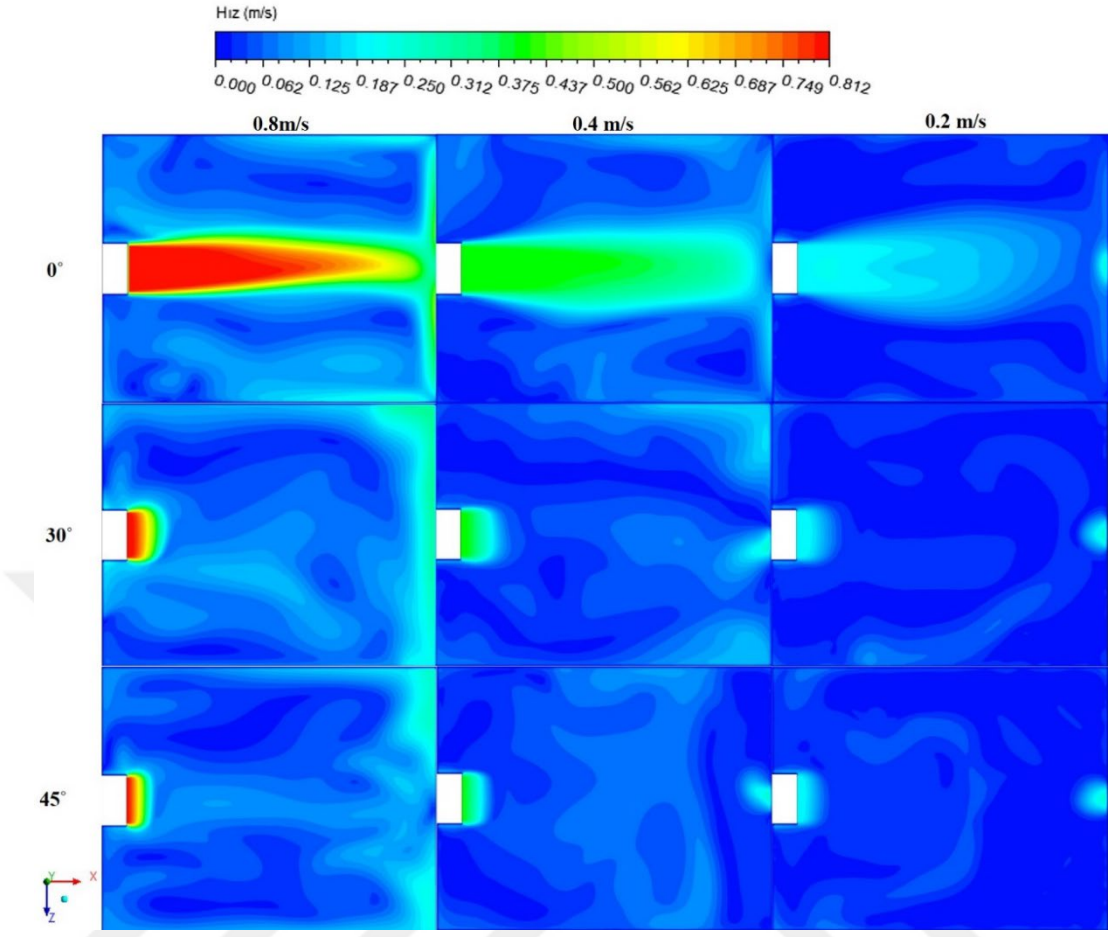
4.1. Konum 1'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları

Şekil 4.2'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hava hızı dağılımları gösterilmektedir. Cihaz üfleme hızının oda içindeki hava sirkülasyonunu değiştirdiği açık bir şekilde görülmektedir. 0,8 m/s hız ve 0˚ ile havanın püskürtüldüğü durum hava hızının en fazla olduğu dağılımdır. Ortalama hava hızları da bunu göstermekte ve 0˚'de ortalama hava hızı 0,2 m/s, 30˚'de 0,18 m/s ve 45˚'de ise 0,15 m/s olarak hesaplanmıştır. Üfleme açısı 0˚ olduğunda yani hava çıkışı yatay durumda iken temizlenmiş hava insan modelinin bulunduğu ortama rahat bir şekilde ulaşmaktadır. Ancak yüksek hızlarda yatay olarak ilerleyen temizlenmiş havanın doğrudan insan modeline temas etmesi ısıl konfor açısından olumsuz bir durum teşkil edebilir. Bundan dolayı ısıl konfor açısından incelenen oda için insanın bulunduğu bölgedeki temiz hava hızı 0,13 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu da ısıl konfor açısından istenilen durumdur (Kaynakli ve Kilic, 2005). Açı arttığında ise hava temizleme cihazından çıkan havanın doğrudan insan modeline ulaşmadığı görülmektedir. 30˚ de (0,8 m/s için) püskürtülen hava hızının yüksek olan bölümü, insanın olduğu bölgeye hem oda zemininden hem de odanın tavanından gelmektedir. 45˚ için de durum aynıdır ancak buradaki hava hızı biraz daha düşüktür. Bu durum hava hızının 0,2 m/s olduğunda da aynıdır.



Şekil 4.2. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları

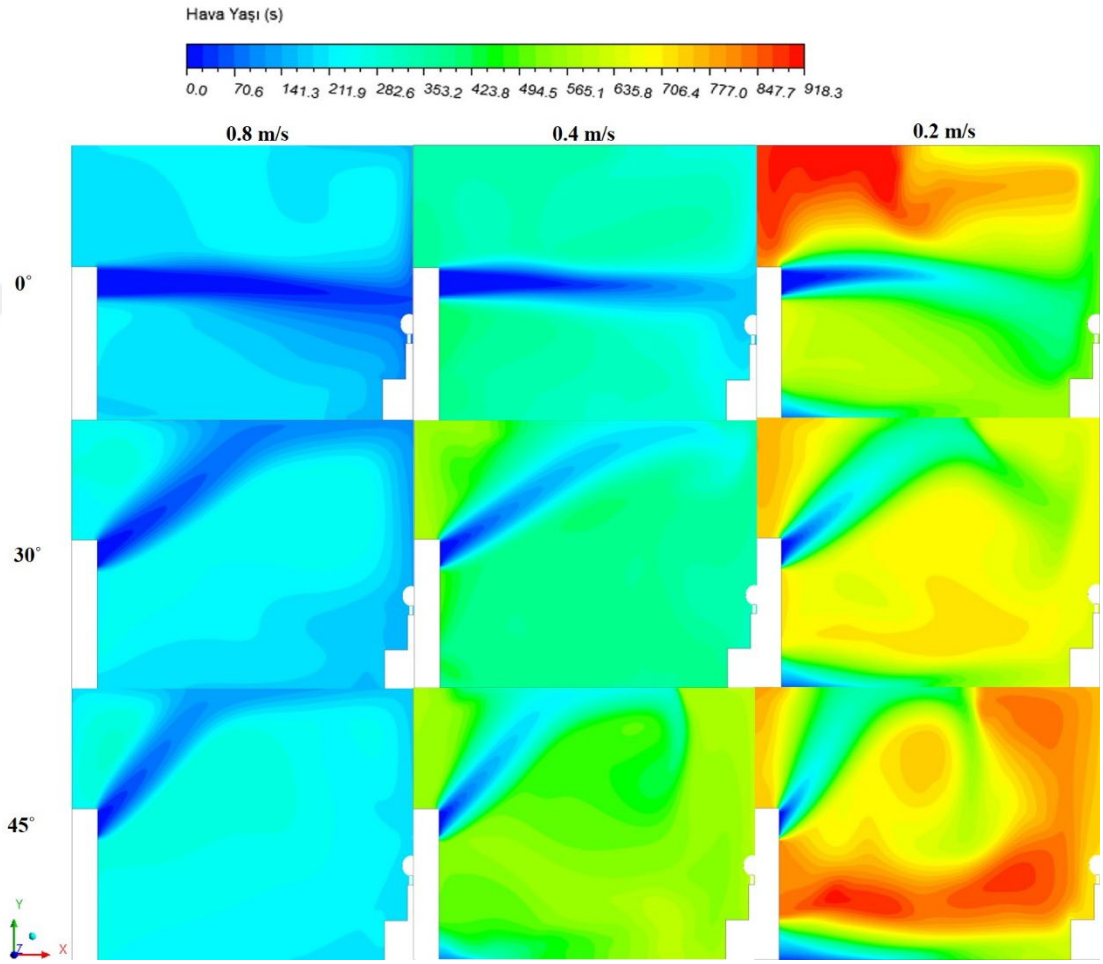
Şekil 4.3'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hava hızı dağılımları gösterilmektedir. Üfleme açısının 0˚ olduğu durumdaki maksimum hız diğer açılara göre daha belirgin ve fazladır. 0,2 m/s'deki hızın 30˚ ve 45˚ açılarındaki dağılımları benzerlik göstermektedir. Ancak 45˚'deki eğim daha fazla olduğundan dolayı tavana çarpan hızın bir bölümü hava temizleme cihazının ön kısmına düşmektedir ve bu bölgede hız 30˚'ye göre bir miktar fazladır. 0˚'de 0,8 m/s hızda üflenen temiz havanın alt ve üst kısmında hava girdapları olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yüksek hızdır ve 0˚ için hız azaldıkça girdaplar görünmeyecek derecede azalmaktadır.



Şekil 4.3. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları

Şekil 4.4'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. Her durum için hava yaşı, hava temizleme cihazının temiz hava üfleme noktalarında minimumdur. Bu noktalarda hava yaşı düşük olduğu için kirletici yoğunluğu daha azdır. Temiz hava püskürtülen bölgelerin alt ve üst kısmı temiz havanın en geç ulaştığı bölgelerdir. Çünkü temiz havanın belli bir hızda ilerlemesi bu bölgeleri transit geçmesine neden olmaktadır. Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi temizlenmiş havanın oda tavanına çarpmasından veya hızını düşmesinden sonra bu bölgelere ulaştığı görülmektedir. Açı arttıkça ve hızda azaldıkça insan modelinin bulunduğu bölgelere temiz havanın geç ulaştığı görülmektedir. Bu yüzden istenilen mutlak olarak odanın geneline ulaşabildiği kadar temiz havanın ulaşmasıdır. Temizlenmiş hava düzlem geneline en erken 0,8 m/s hızda ve 0° açıda iletilir. Bu durumu ortalama hava yaşı sonuçları da desteklemektedir. 0°'de 172,8 s, 30°'de 197,2 s ve 45°'de 225,2 s olarak

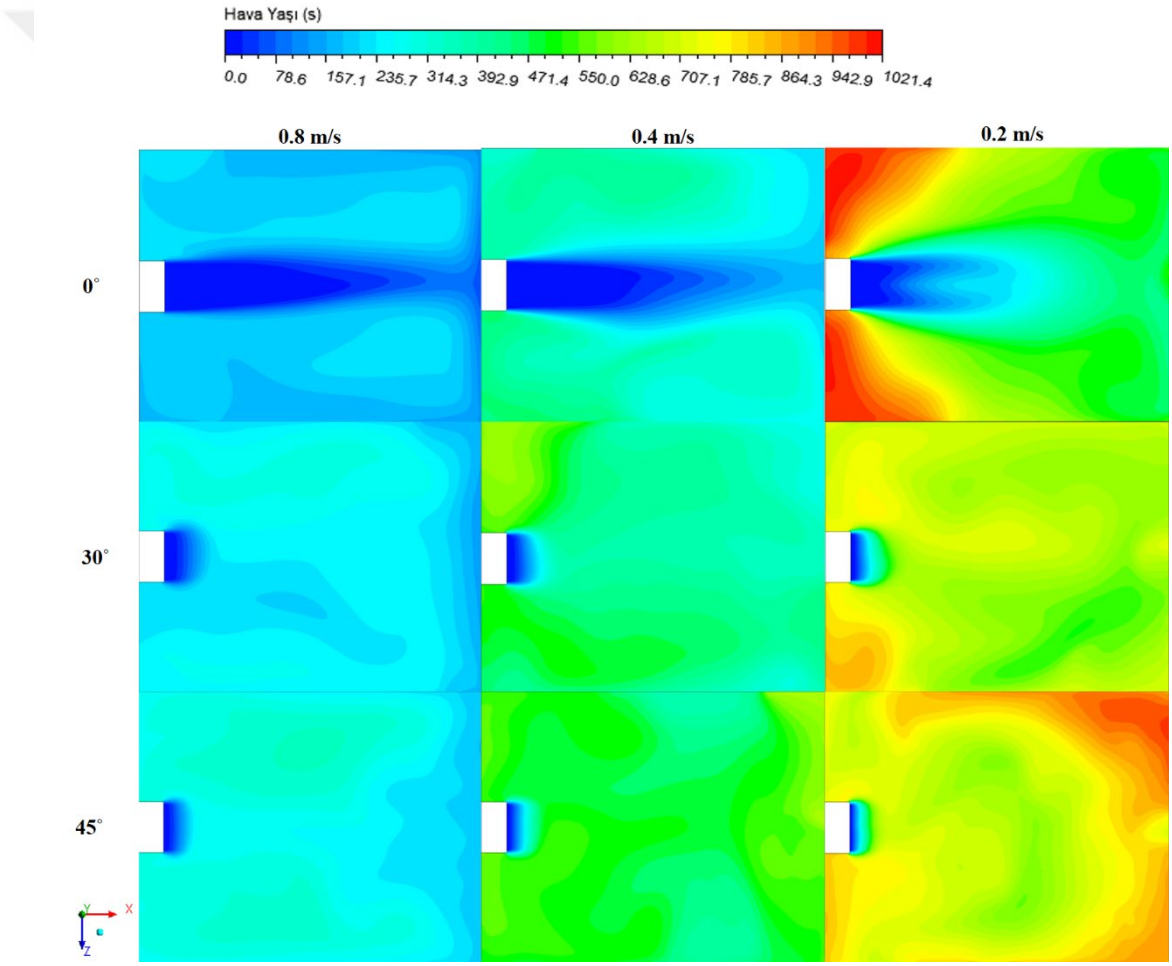
hesaplanmıştır. 0°'de temizlenmiş hava insan modeline yaklaşık olarak 0-1 dakika arasında ulaşmaktadır. Ancak açı arttıkça bu değer 3-5 dakika arasında değişmektedir. Üfleme açısının artması temiz havanın istenilen bölgeye ulaşmasını yaklaşık olarak 3-5 Ancak hız azaldığında ise bu değer 5-7 dakika arasında değişmektedir.



Şekil 4.4. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları

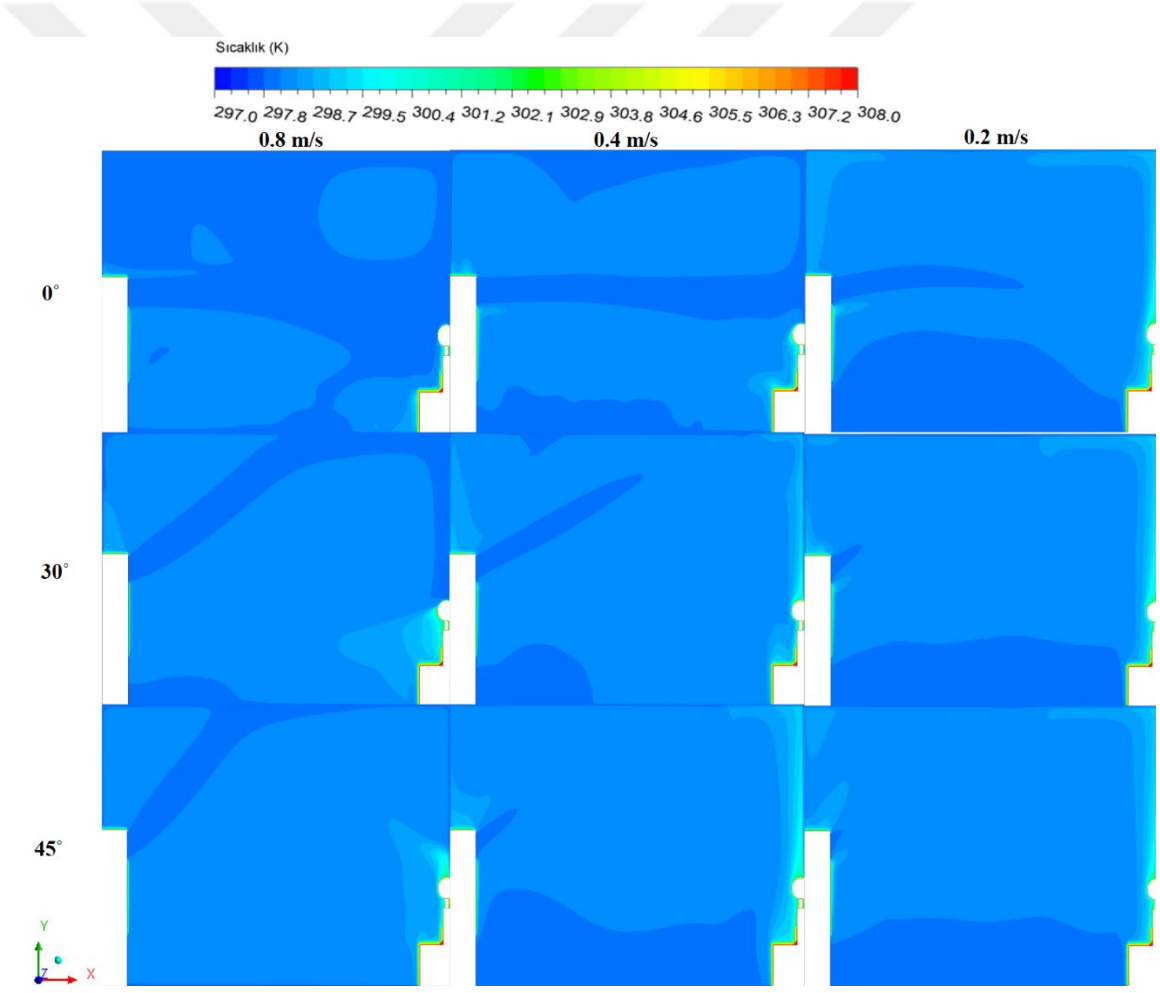
Şekil 4.5'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. 0°'de 0,2 m/s hızda üflenen temiz hava, diğer dağılımlara göre hava temizleme cihazının üst ve alt bölgelerine daha geç ulaşmaktadır. Çünkü 0,2 m/s'deki hız temiz havaya odanın her bölgesine ulaştırmada yetersiz olduğu için hava temizleme cihazının etrafına yaklaşık olarak 17 dakikada ulaşmaktadır. Ancak şekil 4.5'de de görüldüğü gibi 0,8 m/s ve 0,4 m/s hızları için temiz havanın bu bölgeye ulaşma zamanı

4-7 dakika arasındadır. Yani hız faktörü buradaki sonucu yaklaşık olarak 3 katlık bir oranda etkilemektedir. 45°'deki 0,2 m/s hız durumu 0°'ye göre tam tersi etki göstermektedir. Burada insan modelinin olduğu kısımda (Portatif hava temizleme cihazının tam karşısı) hava yaşı 0˚deki dağılıma göre daha fazladır. Bunun sebebi 45°'de belli bir açı ile çıkan temiz hava oda tavanına çarptığı için temiz havanın çoğu hava temizleme cihazının olduğu bölgeye düşmektedir. Hızı kesilen temiz hava ancak 15 dakika sonra insan modelinin olduğu bölgeye ulaşmaktadır. Bu durum 0°'de yaklaşık olarak 7 dakikadır. Sabit hızda üfleme açısındaki değişim, insan modelinin olduğu bölgeye ulaşan temiz hava süresini 7-8 dakika etkilemektedir.



Şekil 4.5. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları

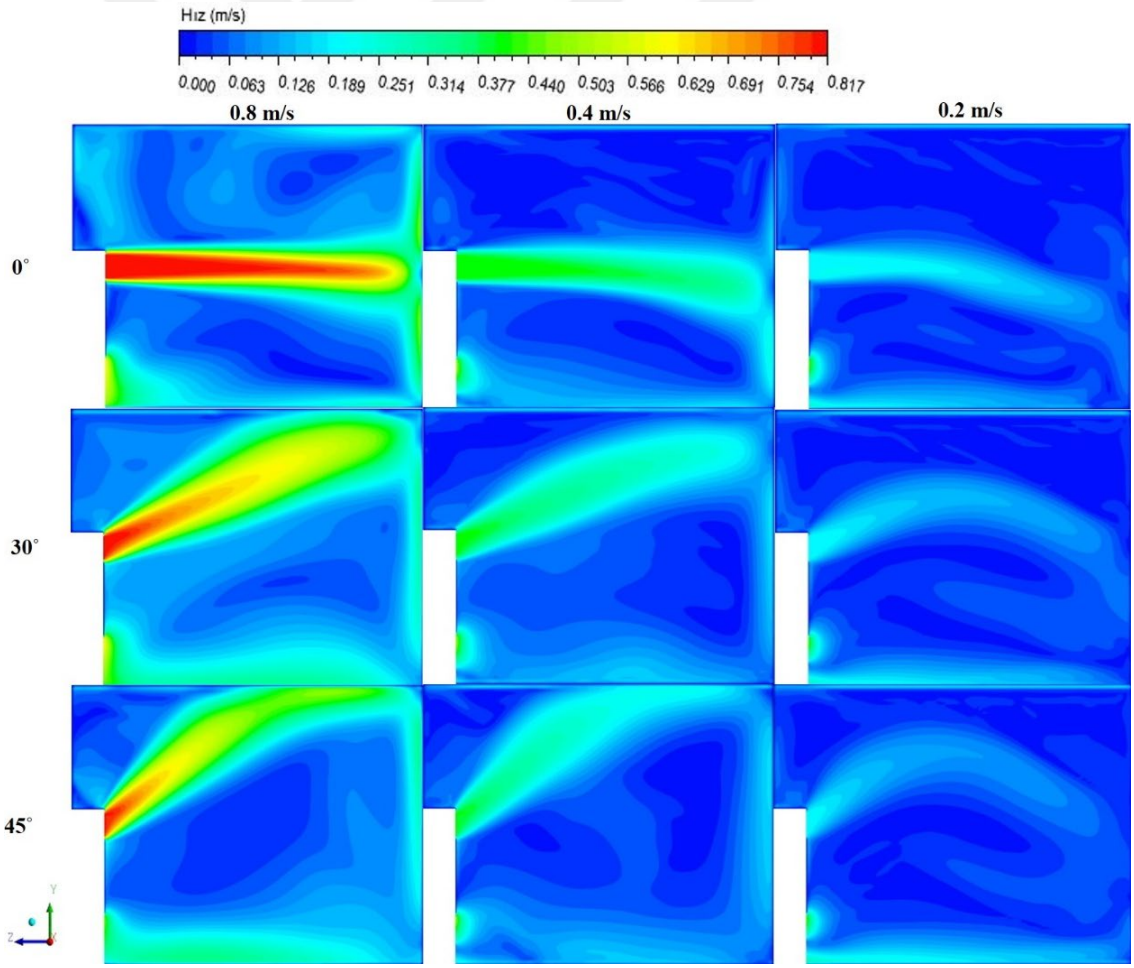
Şekil 4.6'da portatif hava temizleme cihazının konum 1'deki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. İnsanın olduğu kısım sıcaklığın en yüksek olduğu bölgedir. Portatif hava temizleme cihazı havayı 298 K'de püskürtmektedir. Temizlenmiş havanın hızı azaldığında insanın olduğu bölgedeki sıcaklık artmaktadır. Üfleme açsının arttığında da insanın olduğu bölgedeki sıcaklık artmaktadır. Çünkü açının artması temizlenmiş havanın tavana çarpmasına neden olmaktadır. Sıcaklığın en yüksek olduğu dağılım üfleme açısının 45˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durum iken sıcaklığın en düşük olduğu dağılım ise üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumdur. Buradaki ortalama sıcaklılar sırasıyla 298,27 K ve 298,13 K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. Konum 1'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları

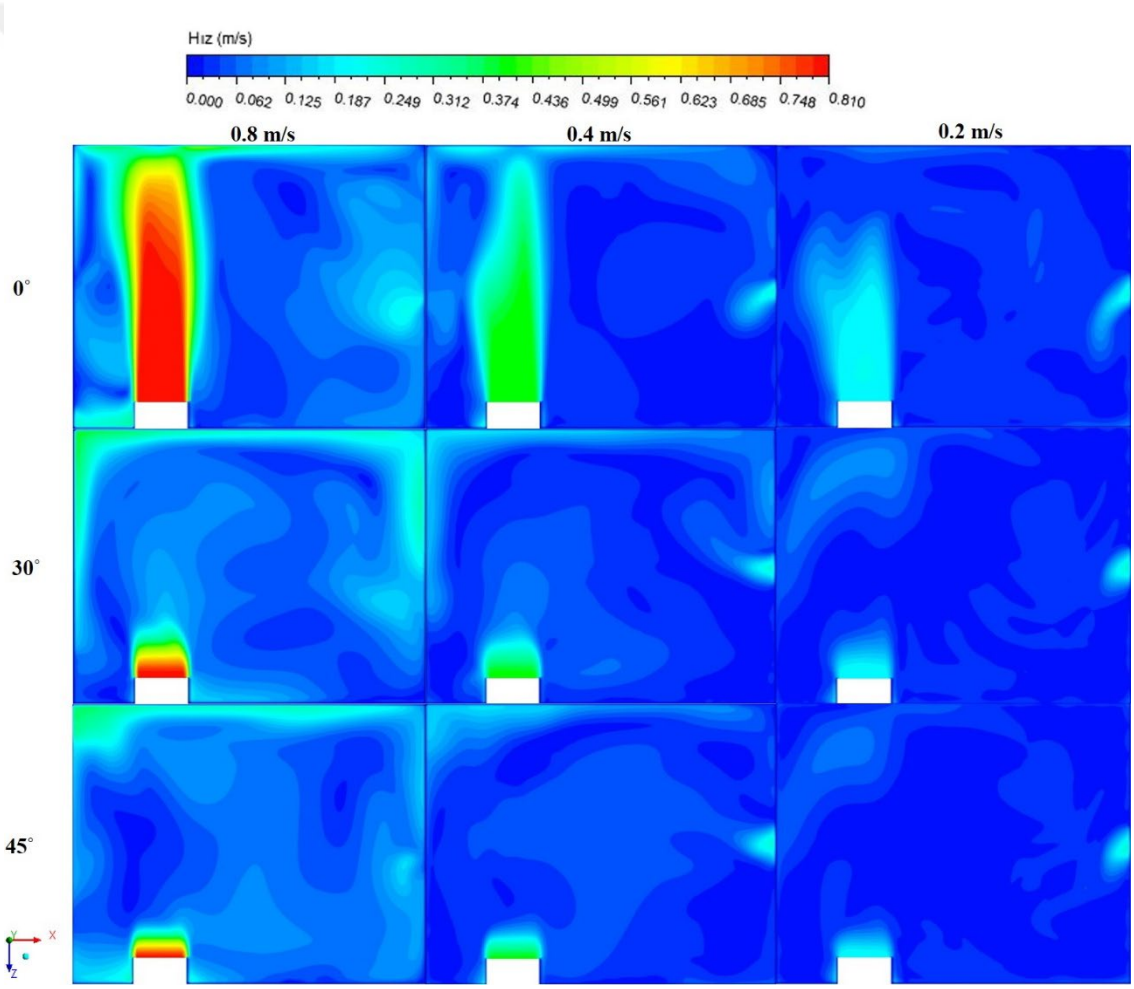
4.2. Konum 2'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları

Şekil 4.7'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 2'deki hız dağılımları gösterilmektedir. 0,8 m/s hızla oda içine püskürtülen temiz hava 30°'de, oda içene daha düzenli bir şekilde dağıldığı görsellerde görülmektedir. Ayrıca yapılan hesaplamalarda da 0°, 30° ve 45°'deki ortalama hava hızları sırasıyla 0,19 m/s, 0,22 m/s ve 0,17 m/s olarak bulunmuştur. Bunun diğer bir sebebi de 30°'de püskürtülen temiz havanın diğer açılara göre odayı iki eşit bölgeye ayıracak şekilde ilerlemesidir. Bu durum diğer hızlar için de aynı sonucu vermekte ancak 0,2 m/s hızla 30° ve 45°'de püskürtülen temiz havanın hız dağılımları birbirine çok yakındır. Çünkü bu iki açının 0,2 m/s hızdaki ortalama hızları sırasıyla 0,0603 m/s ve 0,0606 m/s olarak hesaplanmıştır.



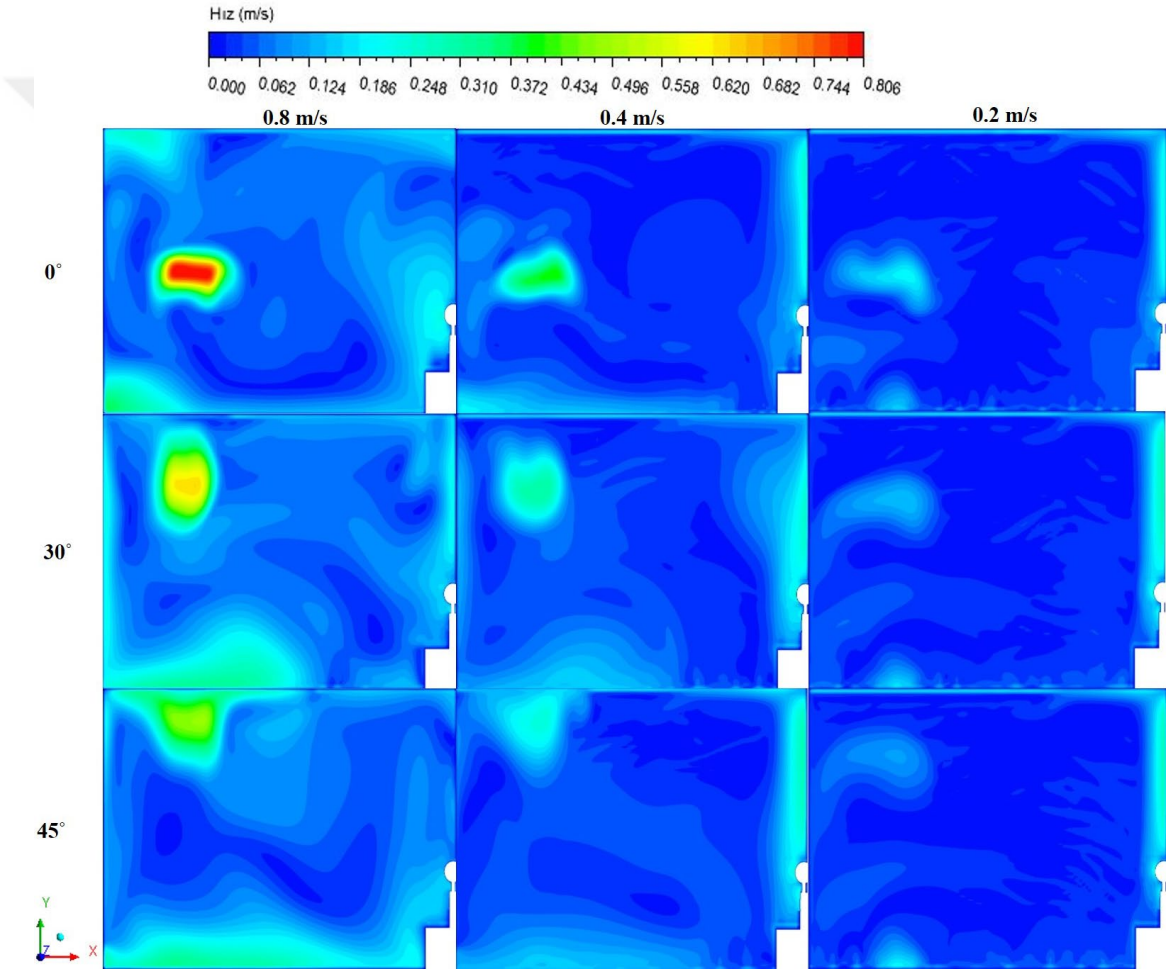
Şekil 4.7. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 2 üzerinde hız dağılımları

Şekil 4.8'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hız dağılımları gösterilmektedir. Üfleme açısının 0˚ ve üfleme hızının 0,8 m/s olduğu görselde, insanın bulunduğu bölgedeki hava hızı yaklaşık olarak 0,2 m/s'dir ve diğer görsellere göre en fazladır. 0,8 m/s ve 0˚'deki odanın, orta bölgesinin hava hızı, diğer açılara göre daha azdır. Çünkü belli bir açı ile üflenen hava tavana çarpıp odanın ortasına doğru ilerlerken, yatay olarak üflenen hava direk karşıya doğru ilerlemekte ve duvara çarparak dışarıdan odaya yayılmaktadır. 0.2 m/s hızda oda içine üflenen hava 30˚ ve 45˚'de, hız dağılımı olarak benzerlik göstermektir.



Şekil 4.8. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları

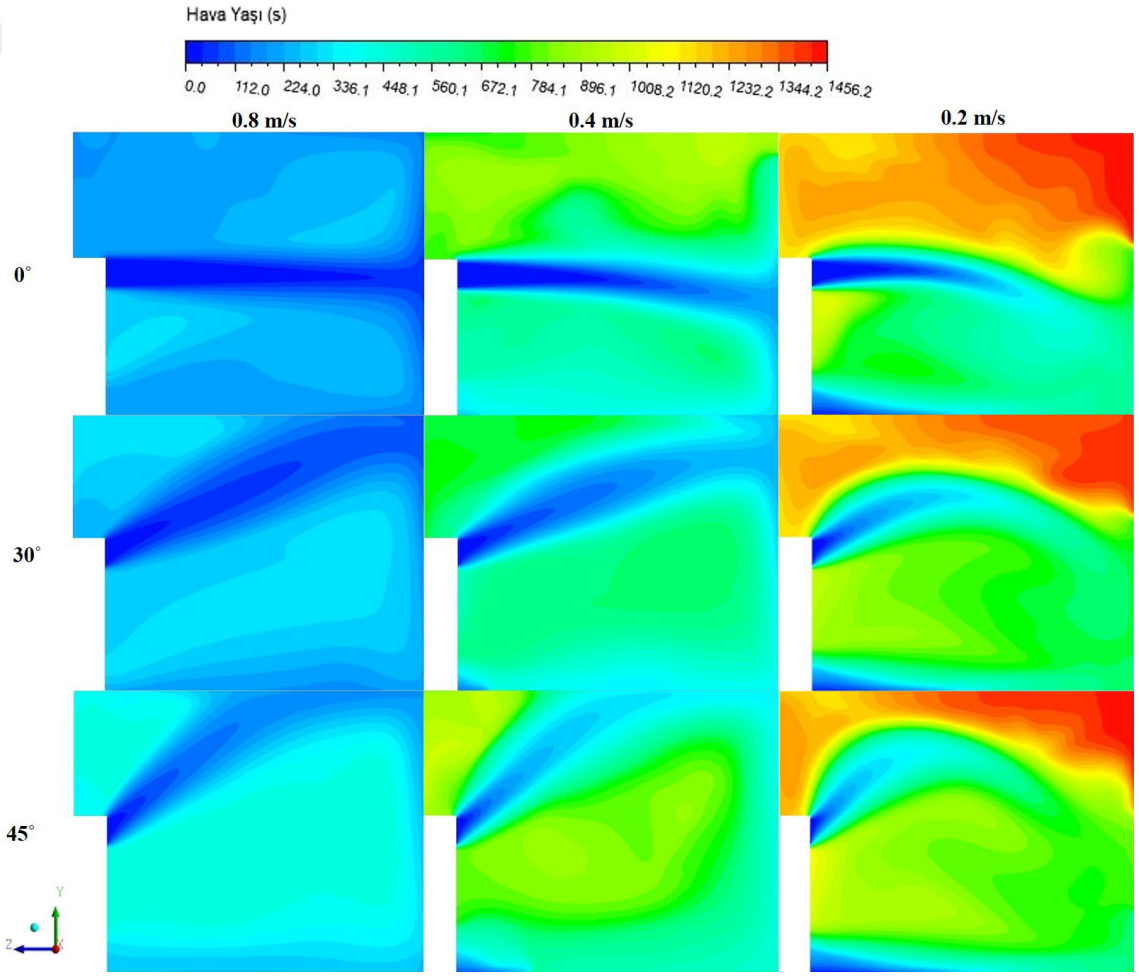
Şekil 4.9'da portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hız dağılımları gösterilmektedir. 0,8 m/s hızla 0°'de püskürtülen hava genel olarak oda zemininden insana doğru ilerlemektedir. 0,4 m/s'de ise zeminden ilerleyen hava, çok düşük hızlarda insana ulaşmaktadır. 30°'de 0,4 m/s ve 0,2 m/s hızla püskürtülen hava, genel olarak insana, odanın tavanından ulaşmaktadır. 0,8 m/s'lik hava hızı, 45°'lik açı ile püskürtüldüğünde, hava insana oda zemininden daha yüksek hızlarda ilerlemektedir. Ancak hız düştükçe hava, insana yüksek hızlarda daha çok oda tavanından ilerlemektedir. 0,2 m/s'deki hız dağılımları her açı için benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.9. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları

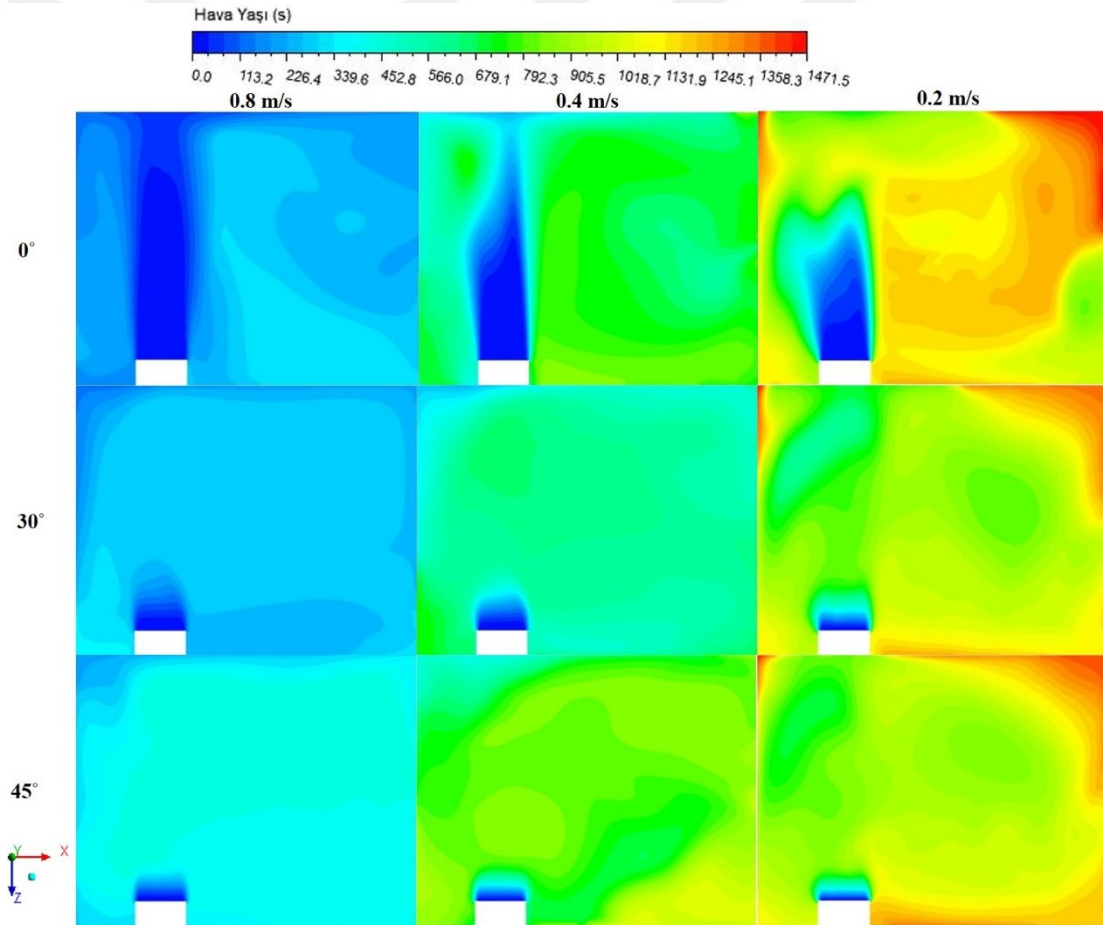
Şekil 4.10'da portatif hava temizleme cihazının düzlem 2'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. 0.8 m/s hız 0° ile cihazdan çıktığı zaman diğer açılara göre hava yaşı en

düşük ortalamaya sahiptir. Aynı hızdaki 0˚, 30˚ ve 45˚ açıları için ortalama hava yaşı değerleri sırasıyla 200,8 s, 233,7 s ve 350,8 s olarak hesaplanmıştır. 0.4 m/s hız 30˚ ile cihazdan çıktığında ise hava yaşı 575,4 s ile en düşük ortalamaya sahiptir. Aynı hızdaki 30˚ ve 45˚ açıları için ortalama hava yaşı değerleri sırasıyla 493,3 s ve 642,1 s olarak hesaplanmıştır. 0,4 m/s 0˚ ile püskürtülen temizlenmiş, hava odanın üst bölgelerine diğer bölgelere nazaran daha geç ulaşmaktadır. 30˚'de ise hem cihazın hemen üstüne hem de odanın orta bölgelerine, diğer bölgelere nazaran daha geç ulaşmaktadır. Temiz hava 0,2 m/s ile püskürtülürse, tüm açılarda hava temizleme cihazının üst bölgelerine temizlenmiş hava geç ulaşmaktadır.



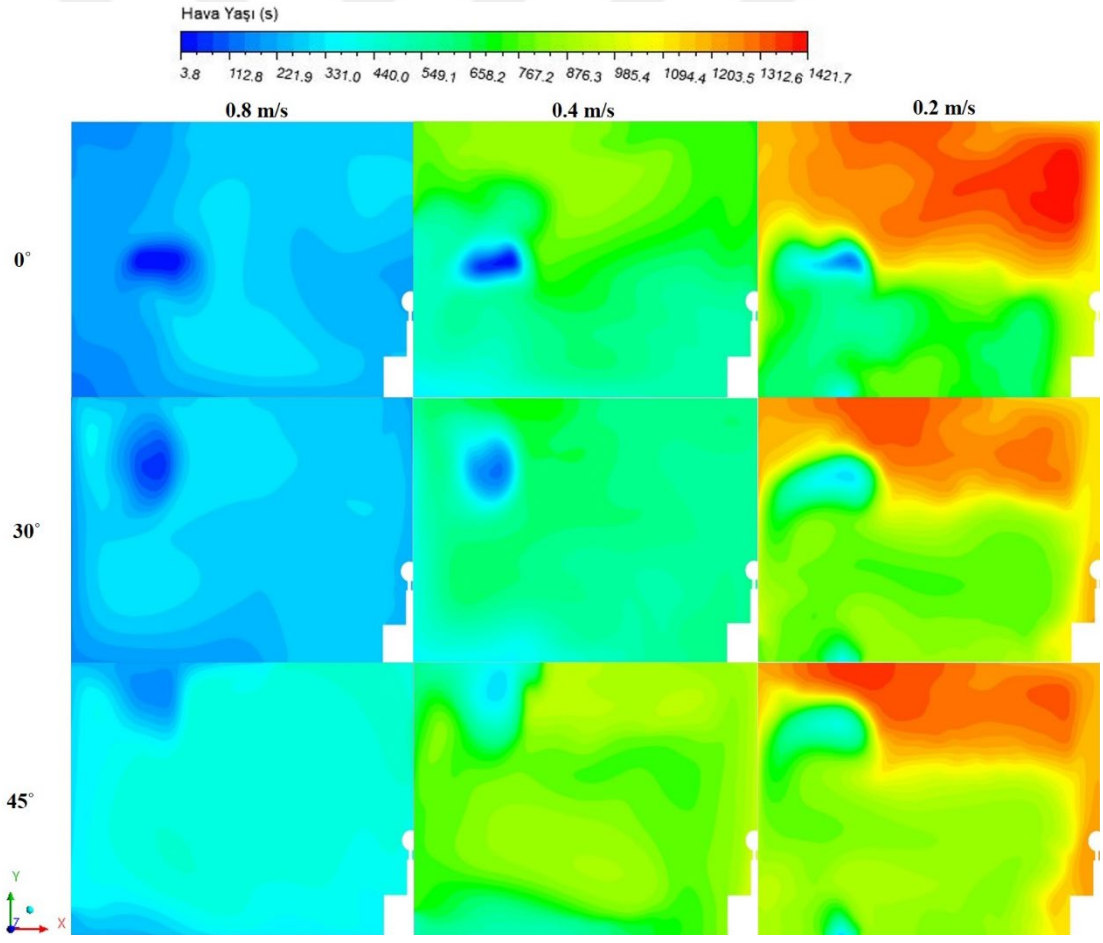
Şekil 4.10. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 2 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.11'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hava yaşı dağılımlarını gösterilmektedir. 0,8 m/s hız ile püskürtülen temiz hava, tüm açılarda en verimli dağılımı göstermektedir. Ortalama hava yaşı 0°'de 212,6 s, 30°'de 270,2 s, 45°'de ise 395 s olarak hesaplanmıştır. 0,4 m/s hız 30° ile cihazdan çıktığında ise hava yaşı 560,4 s ile en düşük ortalamaya sahiptir ve aynı hızda püskürtülen temiz hava diğer açılara göre oda içine daha erken yayılmaktadır. 0,4 m/s ile püskürtülen temiz havanın 0° ve 45° açıları için ortalama hava yaşı değerleri sırasıyla 604,1 s ve 796,4 s olarak hesaplanmıştır. Temizlenmiş havanın insanın olduğu bölgeye en erken ulaştığı durum 0,8 m/s hız ve 0°'dir ve yaklaşık olarak 3-4 dakikada ulaşmaktadır. Temizlenmiş havanın insanın olduğu bölgeye en geç ulaştığı durum ise 0,2 m/s hız ve 45°dir ve yaklaşık olarak 18-20 dakikada ulaşmaktadır.



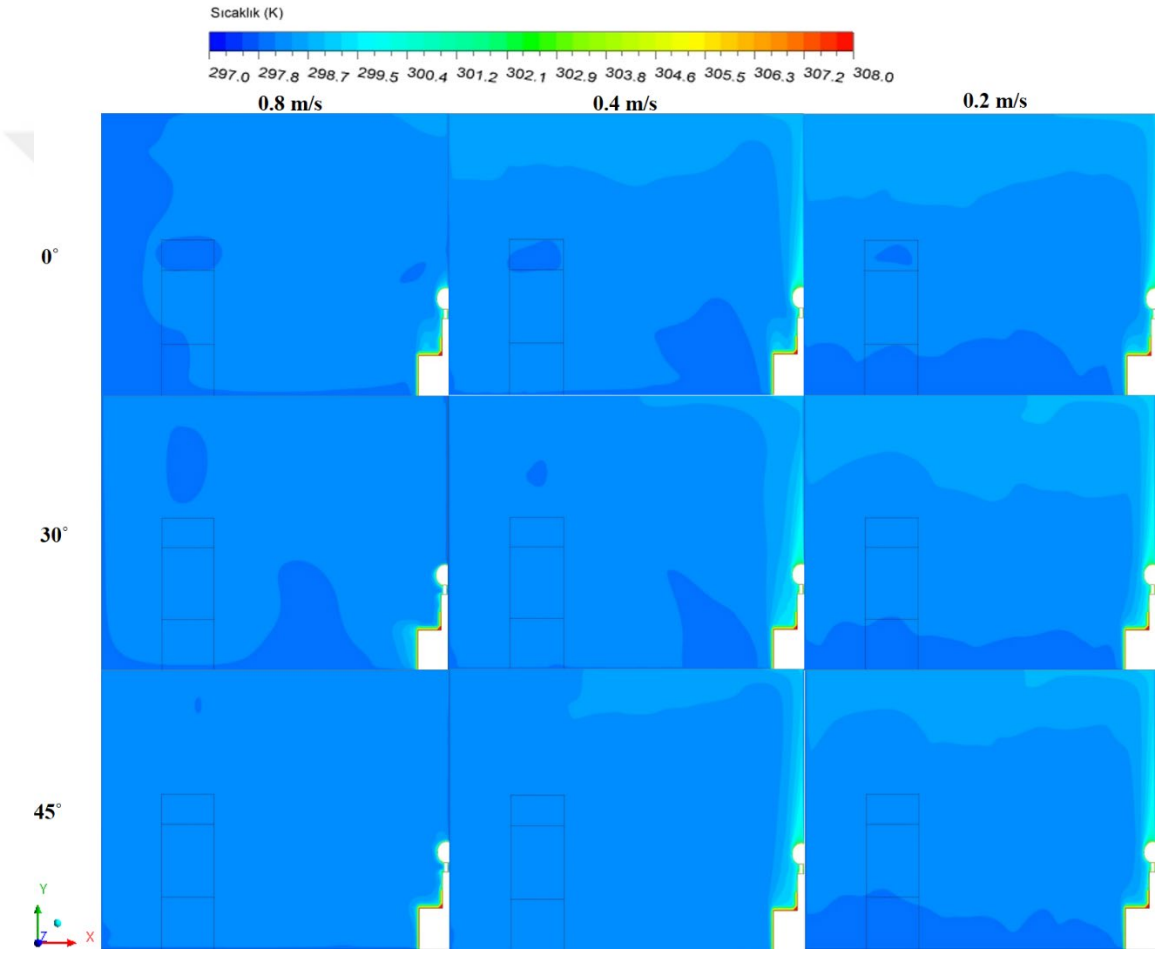
Şekil 4.11. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.12'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hava yaşı dağılımlarını göstermektedir. Hava yaşı dağılımlarında da görüldüğü üzere temizlenmiş havanın en kısa sürede dağıldığı durum hızın 0,8 m/s ve açının da 0˚ olduğu durumdur. Buradaki ortalama hava yaşı değeri 247,3 s 30˚'de 267,8 s ve 45˚'de ise 391,7 s olarak hesaplanmıştır. 0,2 m/s hızda her açı durumu için temizlenmiş hava oda tavanına geç ulaşmaktadır. 0,4 m/s hız ve 30˚'de temizlenmiş hava, diğer açılara göre oda içine daha erken yayılmaktadır. 30˚ için ortalama hava yaşı 563,3 s, 0˚ ve 45˚ derece için sırasıyla 648,3 s ve 780,1 s olarak hesaplanmıştır. Temizlenmiş havanın insanın olduğu bölgeye en erken ulaştığı durum 0,8 m/s ve 0˚'dir ve yaklaşık olarak 3-4 dakikada ulaşmaktadır. Temizlenmiş havanın insanın olduğu bölgeye en geç ulaştığı durum ise 0,2 m/s hız ve 45˚'dir ve yaklaşık olarak 20-22 dakikada ulaşmaktadır.



Şekil 4.12. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.13'te portatif hava temizleme cihazının konum 2'deki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. İnsanın olduğu kısım sıcaklığın en yüksek olduğu bölgedir. Portatif hava temizleme cihazı havayı 298 K'de püskürtmektedir. Temiz hava hızı azaldıkça ve üfleme açısı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Sıcaklığın en yüksek olduğu dağılım üfleme açısının 45˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durum iken sıcaklığın en düşük olduğu dağılım ise üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumdur. Buradaki ortalama sıcaklılar sırasıyla 298.35 K ve 298.19 K olarak hesaplanmıştır.

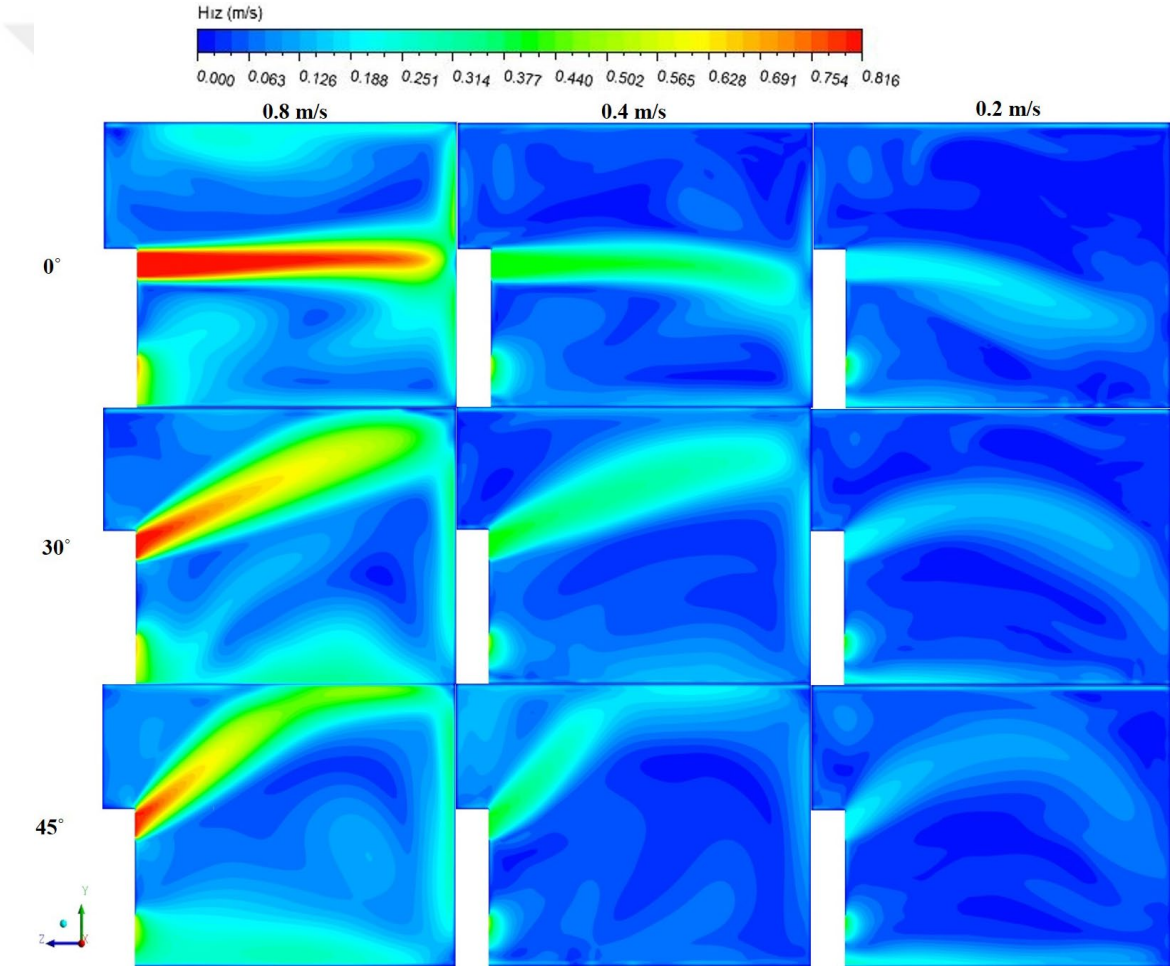


Şekil 4.13. Konum 2'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları

4.3. Konum 3'deki Hız, Hava Yaşı ve Sıcaklık Dağılımları

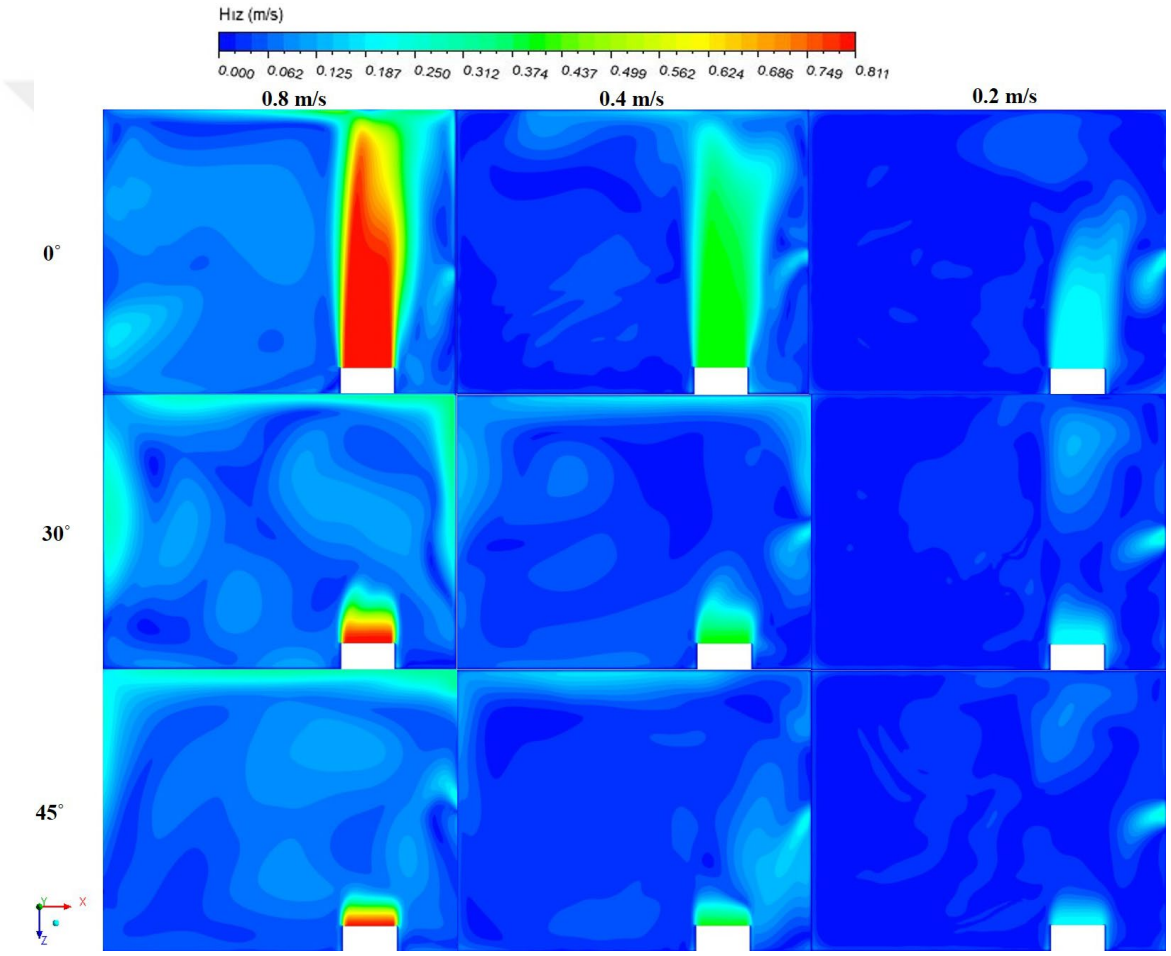
Şekil 4.14'te portatif hava temizleme cihazının düzlem 3'deki hız dağılımları gösterilmektedir. Her açı için 0,8 m/s ve 0,4 m/s olan hava hızlarının, karşı duvara

yaklaşık olarak 0,18-0,22 m/s hızla çarptığı görülmektedir. Ancak 0,2 m/s'deki hava hızının karşı duvara çarpma hızı yaklaşık olarak 0,06 m/s olarak görülmektedir. 0,2 m/s'deki hava hızının yüksek değerleri, genel olarak odanın orta kısmındadır. 0,8 m/s'deki hava hızının 0˚ ve 30˚'deki açıları için ortalama hızları birbirine yakın ve 45˚'den fazladır. 0˚, 30˚ ve 45˚ açıları ile 0,8 m/s hızla püskürtülen havanın ortalama hızları sırasıyla 0,210 m/s, 0,212 m/s ve 0,18 m/s olarak hesaplanmıştır. 0,2 m/s olan temiz hava hızı 30˚ ve 45˚'deki üfleme açıları ile püskürtüldüğünde hız dağılımları benzerlik göstermektedir ve buradaki ortalama hızlar sırasıyla 0,0659 m/s ve 0,0667 m/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 3 üzerinde hız dağılımları

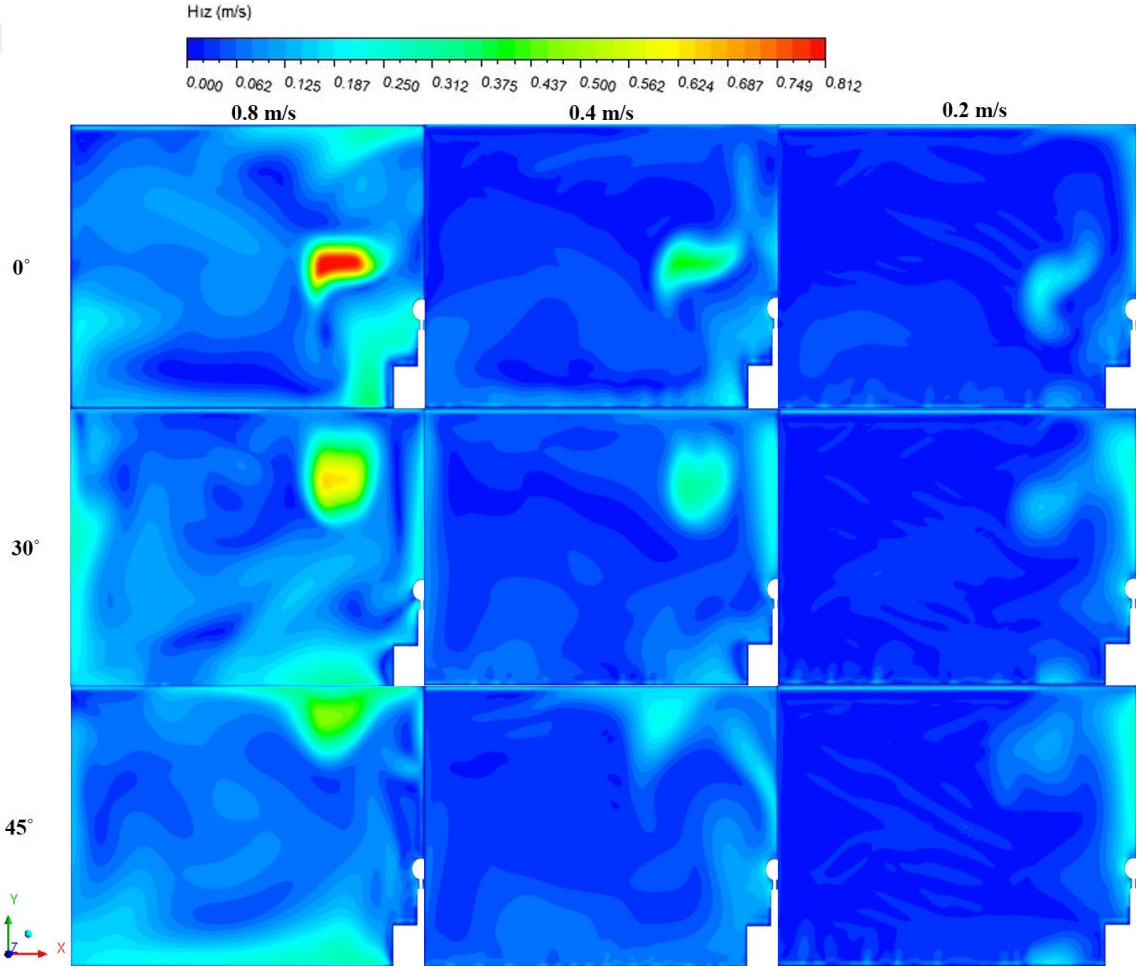
Şekil 4.15'te portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hız dağılımları gösterilmektedir. 30°'de 0,8 m/s hız ile püskürtülen temiz hava diğer durumlara göre insanın olduğu bölgeye, daha yüksek hızlarda ilerlemektedir. Çünkü belli bir eğim ile cihazdan çıkan temiz hava duvara çarptıktan sonra insanın olduğu bölgeye ulaşmaktadır. 45°de içinde bir eğim söz konusudur ancak buradaki eğim 30°'ye göre fazla olduğu için temiz hava doğrudan oda zeminine ulaşmaktadır. 0,4 m/s ve 0,2 m/s hızları ile temiz hava püskürtüldüğü zaman, hava daha düşük hızlarda hava temizleme cihazının sol tarafına ulaşmaktadır.



Şekil 4.15. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hız dağılımları

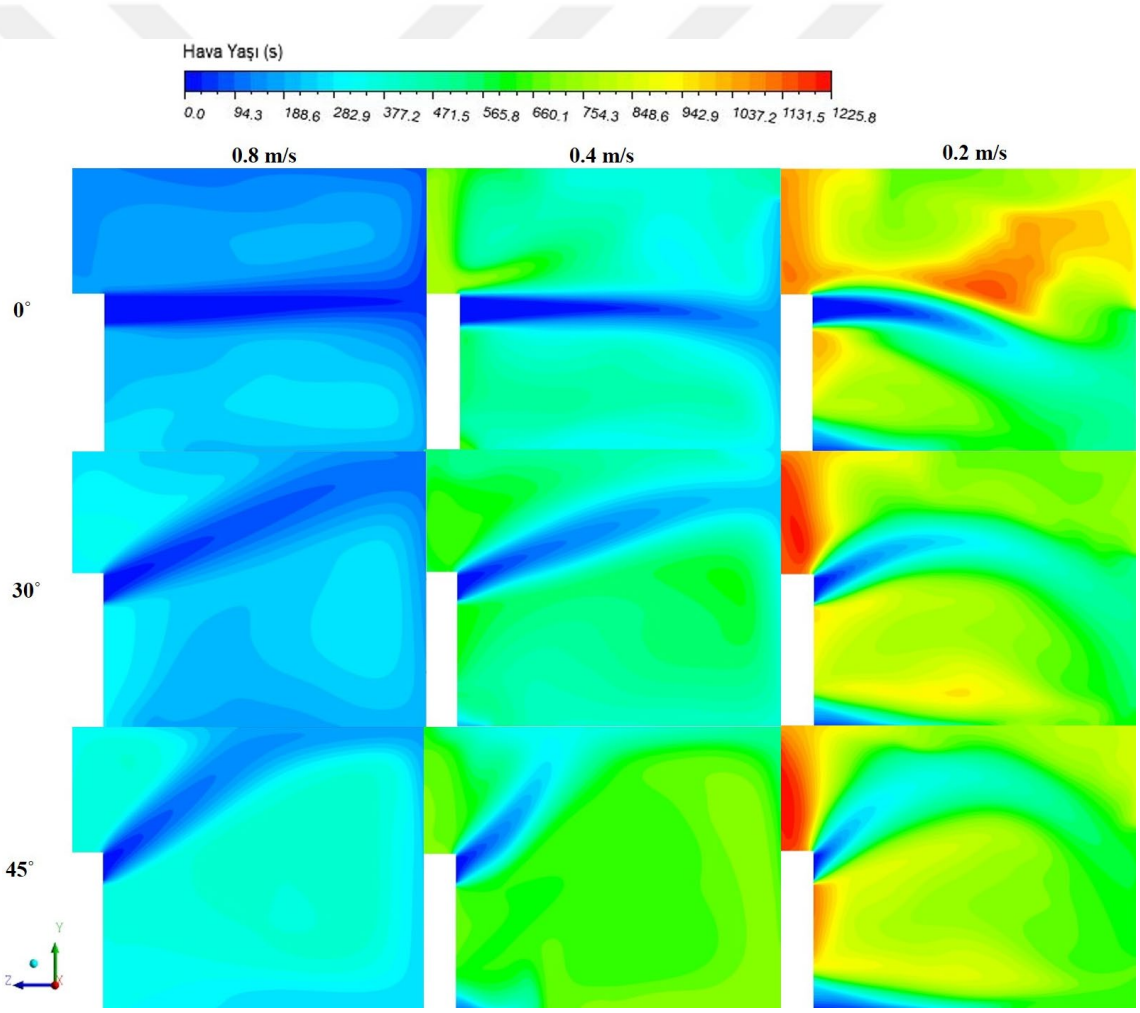
Şekil 4.16'da portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hız dağılımları gösterilmektedir. 0,8 m/s olan hava hızı 0° ile püskürtüldüğünde, hava hızının yüksek olan kısmı genel olarak oturan insanın hemen önünde, bir kısmı da oda tavanında

yoğunlaşmaktadır. 30°'de (0,8 m/s için) temiz hava, insanın olduğu bölgeye hem tavandan hem de zeminde, yaklaşık olarak 0,2 m/s hızında ilerlemekte ancak püskürtülen hava hızının düşmesiyle, hızın yüksek olan kısmı tavandan insanın olduğu bölgeye ilerlemektedir. 45° ise (0,8 m/s için) hava insanın olduğu bölgeye genel olarak oda zemininde yaklaşık olarak 0,2 m/s hızında ilerlemekte ancak püskürtülen hava hızının 0,4 m/s olduğunda ise genel olarak tavandan insanın olduğu bölgeye ilerlemektedir. Cihazdan çıkan hava 0,2 m/s ile püskürtüldüğünde tüm açılar için hız dağılımı benzerlik göstermektedir. 0°, 30° ve 45° için ortama hava hızları sırasıyla 0,041 m/s, 0,043 m/s ve 0,044 m/s olarak hesaplanmıştır.



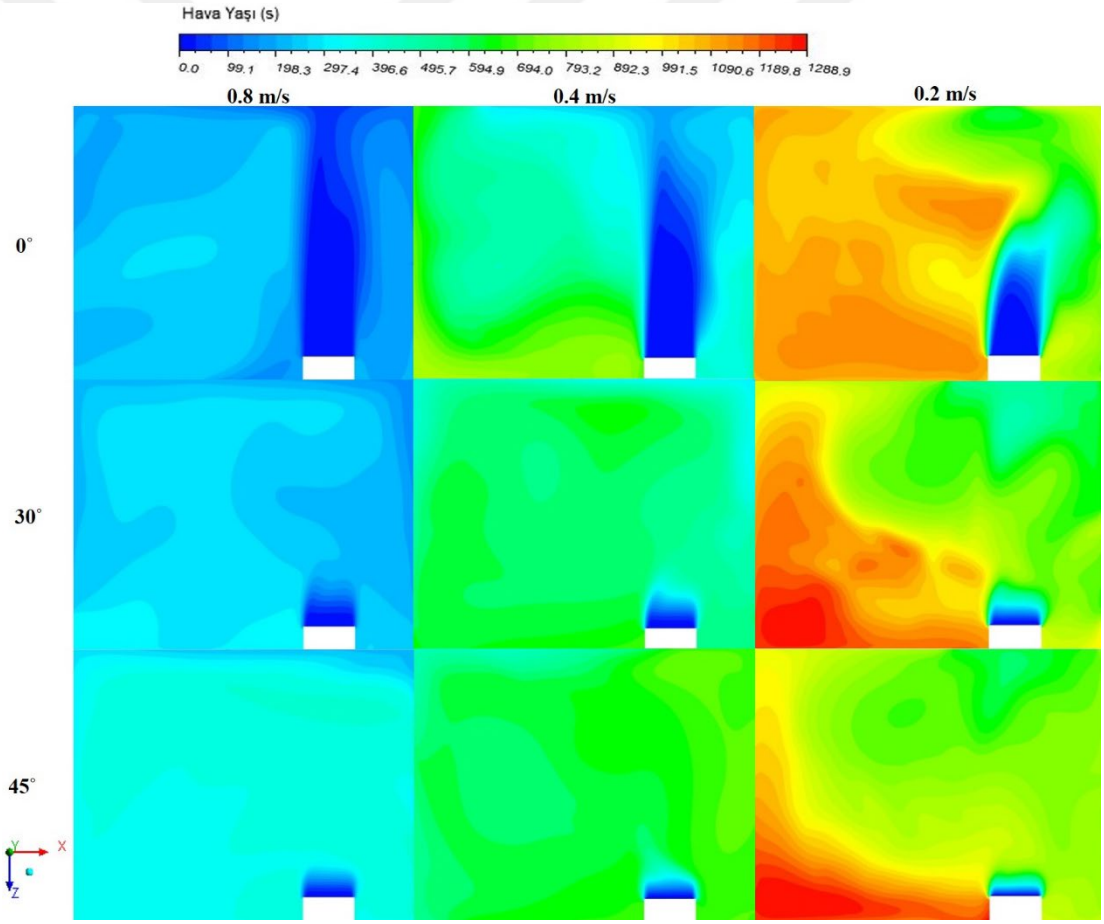
Şekil 4.16. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hız dağılımları

Şekil 4.17'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 3'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. Temizlenmiş havanın 0,8 m/s hız ve 0˚ açı ile püskürtüldüğü durum, hava yaşının en iyi olduğu dağılımdır. 206,8 s ile en düşük ortalama hava yaşı, bu dağılımda meydana gelmiştir. 0,8 m/s için 30˚'deki hava yaşı dağılımı 45˚ ye göre daha iyidir. Çünkü 30˚'deki düşük hava yaşı dağılımları 45˚'ye göre daha fazladır. Bu durumların ortalama hava yaşları sırasıyla 528,7 s ve 604,7 s olarak hesaplanmıştır. 0,4 m/s olan hava hızı 0˚ ile püskürtüldüğünde hava yaşı diğer açılara göre en iyi dağılımı göstermektedir. Buradaki ortalama hava yaşı 835,3 s'dir ve diğer açılara göre daha küçüktür. 0,4 m/s ve 0,2 m/s hızları için (Tüm açılar için) hava yaşı dağılımı en yüksek olan bölge hava temizleme cihazlarının hemen üst kısmı olduğu görülmektedir.



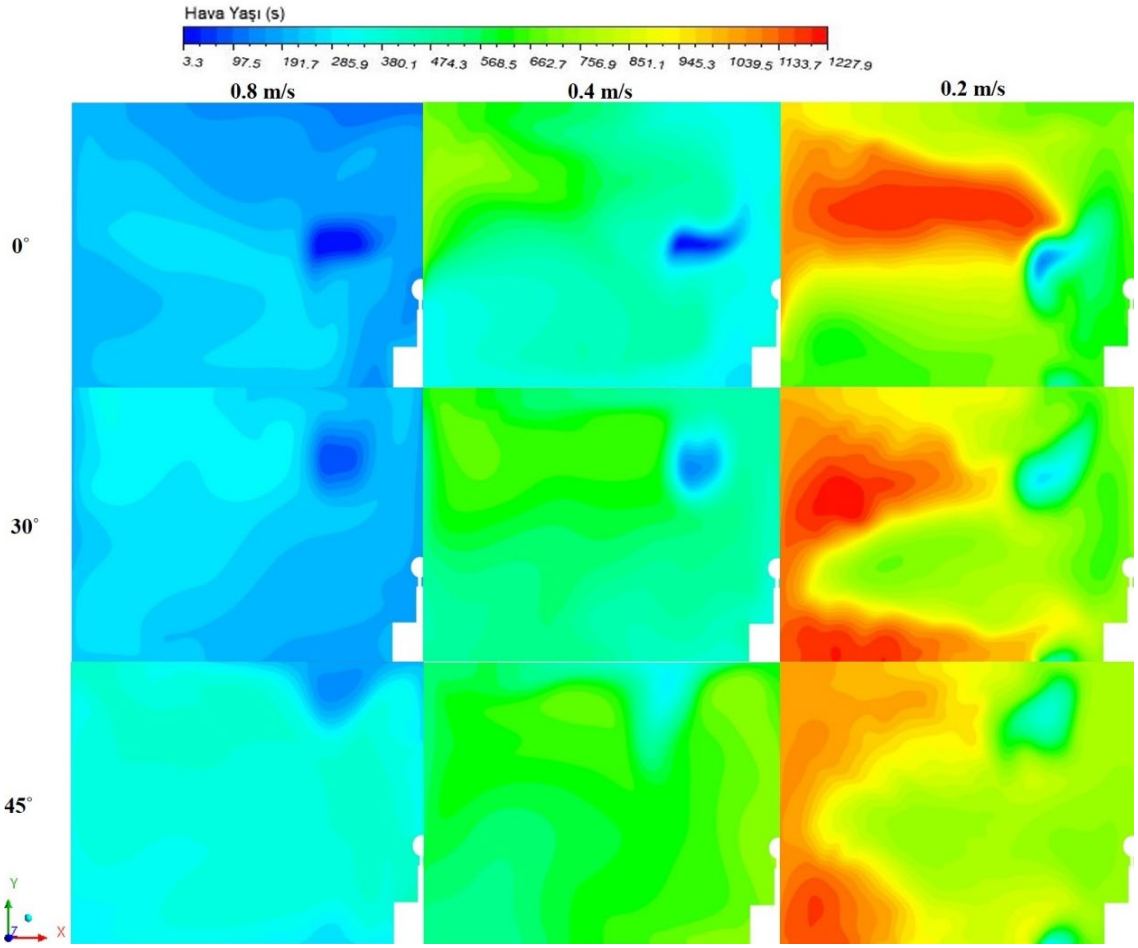
Şekil 4.17. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 3 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.18'de portatif hava temizleme cihazının düzlem 4'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. 0,8 m/s olan hava hızı 0˚ ile püskürtüldüğünde hava yaşı en iyi dağılımı göstermektedir. Buradaki ortalama hava yaşı 186,8 s, 30˚'de 251,1 s ve 45˚'de ise 359,3 s olarak hesaplanmıştır. Gene aynı hızda (0,8 m/s) 45˚ ile püskürtülen temiz hava odanın geneline aynı sürede ulaşmaktadır. 0,4 m/s ve 0˚ açı ile püskürtülen temizlenmiş hava, insanın olduğu bölgeye yaklaşık olarak 6-7 dakikada ulaşmaktadır. Ancak aynı hızda açı arttıkça insanın olduğu bölgeye ulaşan temizlenmiş havanında süresi artmaktadır. Hava 0,2 m/s hız ile püskürtüldüğü zaman temizlenmiş hava, odanı sol kısmına diğer bölgelere göre daha geç ulaşmaktadır. Bu da odanın sol tarafında olanlar için iyi bir durum değildir. Tüm dağılımlar içinde en iyi hava yaşı dağılımı 0˚'de olduğu görülmektedir.



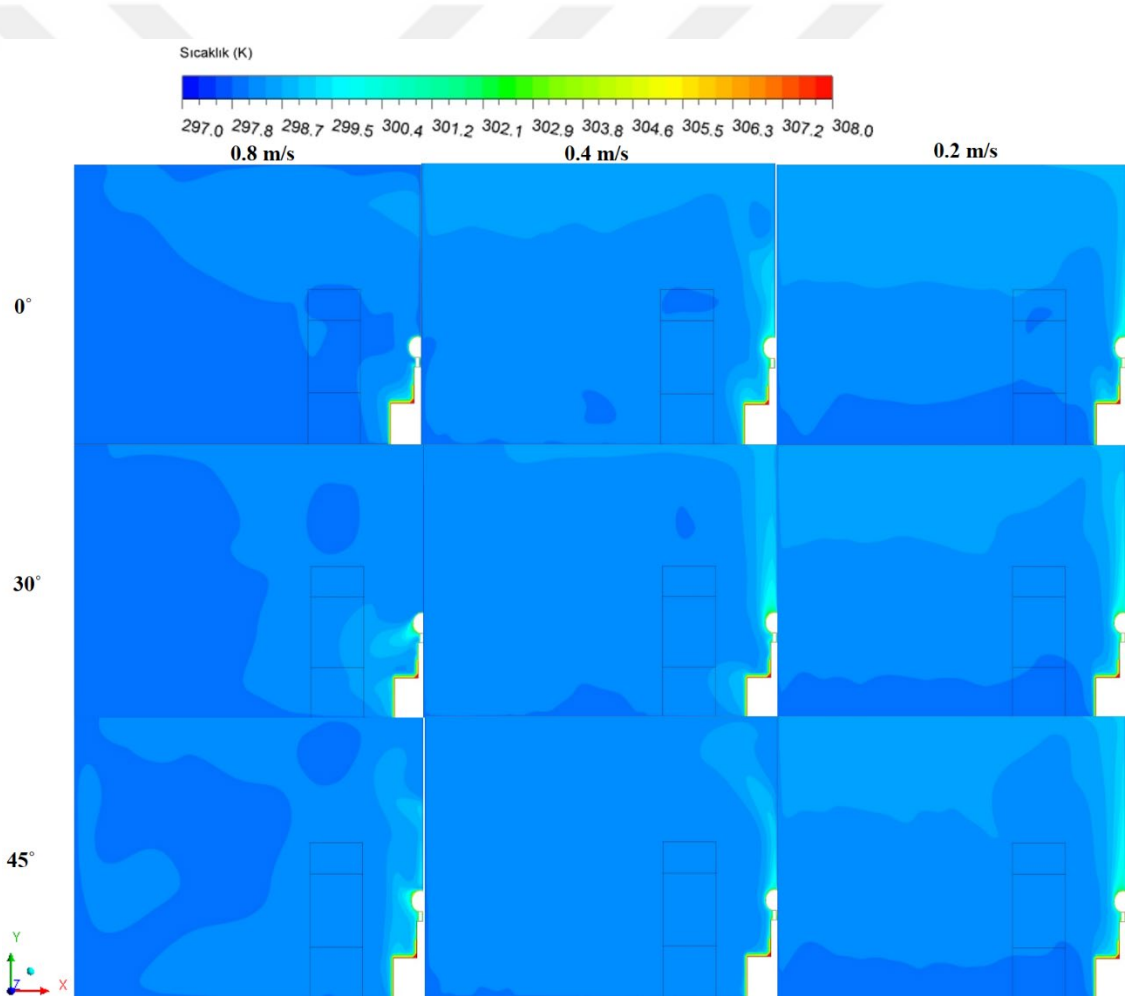
Şekil 4.18. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 4 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.19'da portatif hava temizleme cihazının düzlem 1'deki hava yaşı dağılımları gösterilmektedir. 0,8 m/s olan hava hızı 0˚ ile püskürtüldüğünde hava yaşı en iyi dağılımı göstermektedir. Aynı hızın 0˚, 30˚ ve 45˚ derecedeki ortalama hava yaşı sonuçları sırasıyla 206,8 s, 240,7 s ve 350,8 s olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar çerçevesinde de 0˚'deki hava yaşı dağılımının en iyi olduğu görülmektedir. 0,8 m/s olan hava hızı 0˚ ile püskürtüldüğünde, temizlenmiş hava insanın olduğu bölgeye yaklaşık olarak 1-2 dakikada, 30˚'de yaklaşık olarak 2-3 dakikada ve 45˚'de ise yaklaşık olarak 4-5 dakikada ulaşmaktadır. 0,4 m/s olan hava hızı 0˚ ve 30˚ ile püskürtüldüğü zaman, temiz hava düzlemin diğer bölgelerine göre sol üst köşeye daha geç ulaşmaktadır. Aynı hız için 45˚ de sadece düzlemin üst kısmına temiz hava daha erken ulaşmaktadır. 0,2 m/s ile püskürtüldüğünde tüm açı durumları için düzlemlerin sol kısmına daha geç temiz hava ulaşmaktadır.



Şekil 4.19. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde hava yaşı dağılımları

Şekil 4.20'de portatif hava temizleme cihazının konum 3'deki sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. Portatif hava temizleme cihazı havayı 298 K'de püskürtmektedir. İnsanın olduğu kısım sıcaklığın en yüksek olduğu bölgedir. Sabit hızda üfleme açısı arttıkça düzlemdeki sıcaklık değerlerinde artma meydana gelmektedir. Sabit üfleme açısında temiz hava hızı arttıkça düzlemdeki sıcaklık değerlerinde azalma görülmektedir. Sıcaklığın en yüksek olduğu dağılım üfleme açısının 45˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durum iken sıcaklığın en düşük olduğu dağılım ise üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumdur. Buradaki ortalama sıcaklılar sırasıyla 298.36 K ve 298.16 K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.20. Konum 3'deki farklı temiz hava besleme hızları için oda içinde Düzlem 1 üzerinde sıcaklık dağılımları

4.4. THDO ve Hava Yaşı Değerlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.2'de 9 farklı durum için hesaplanmış THDO değerleri gösterilmektedir. Farklı hız ve açılardaki THDO değerleri değişiklik göstermektedir.

Konum 1'de üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda THDO değeri 10,04 m^3/dk ile en yüksek değere sahip iken en düşük değer 2,53 m^3/dk ile hava hızının 0,2 m/s üfleme açısının 45˚ olduğu durumdur. Hız arttıkça THDO'da yaklaşık olarak 2 kat artmaktadır. Açı azaldığında ise THDO yaklaşık olarak 2 kat azalmaktadır.

Konum 2 'de üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda THDO değeri 12,97 m^3/dk ile en yüksek değere sahiptir. Gene bu değerin, temiz hava hızının 0,2 m/s ve üfleme açısının 45˚ olduğu durumda, 4,19 m^3/dk ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir.

Konum 3 'de THDO, üfleme açısının 0˚ ve hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda 10,58 m^3/dk ile en yüksek, üfleme açısının 45˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durumda ise 4,94 m^3/dk ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. THDO değerleri

		THDO (m^3/dk)		
		0,2 (m/s)	**0,4 (m/s)**	**0,8 (m/s)**
Konum 1	**0˚**	3,81	6,84	10,04
	30˚	2,92	5,68	7,59
	45˚	2,53	3,15	6,21
Konum 2	**0˚**	4,81	6,57	12,97
	30˚	5,09	7,02	10,62
	45˚	4,19	5,95	9,38
Konum 3	**0˚**	6,01	9,03	10,58
	30˚	5,32	7,93	8,59
	45˚	4,94	6,90	7,64

Çizelge 4.3‘de tüm konumların farklı açı ve hızlardaki ortalama hava yaşı ve maksimum hava yaşı değerleri gösterilmektedir. Farklı hız ve açılardaki ortalama hava yaşı ve maksimum hava yaşı sonuçları değişiklik göstermektedir.

Konum 1’de üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda ortalama hava yaşı 186,7 s ile en düşük değer sahiptir. 769,25 s ile en yüksek değer üfleme açısının 45˚ ve hava hızının 0,2 m/s olduğu durum olarak görülmektedir. En düşük ve en yüksek maksimum hava yaşı değeri ise üfleme açısının 0˚ olduğu durumda meydana gelmiştir. Sırasıyla maksimum hava yaşı değerleri 245,14 s (0,8 m/s) ve 1023,85 s (0,2 m/s) olarak hesaplanmıştır.

Konum 2 ‘de ortalama hava yaşı üfleme açısının 0˚ ve hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda 243,17 s ile en düşük, üfleme açısının 45˚ ve hava hızının 0,2 m/s olduğu durum 1044,78 s ise en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. En düşük maksimum hava yaşı değeri 350,52 s üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,8 m/s olduğu durumdur. En yüksek maksimum hava yaşının olduğu değer 1494,81 s ile üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durumdur. Temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu tüm durumlarda maksimum hava yaşı değerleri, yaklaşık olarak %4’lük fark ile birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

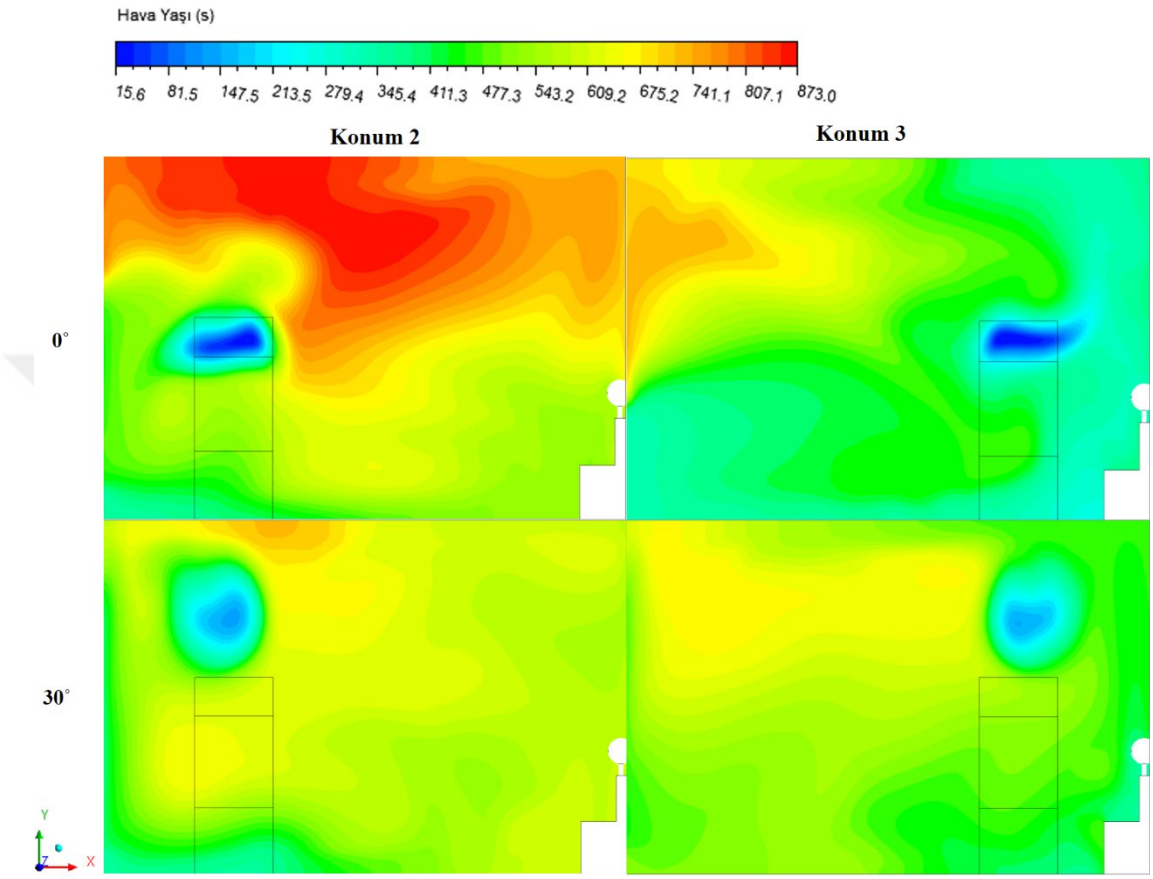
Konum 3 ‘de üfleme açısının 0˚ ve hava hızının 0,8 m/s olduğu durumda ortalama hava yaşı 205,33 s ile en düşük değer sahiptir. 896,28 s ile en yüksek ortalama hava yaşı değeri üfleme açısının 45˚ ve hava hızının 0,2 m/s olduğu durum olarak görülmektedir. En düşük maksimum hava yaşı değeri 302,77 s ile üfleme açısının 0˚ ve temiz hava hızının 0.8 m/s olduğu durumdur. En yüksek maksimum hava yaşı değeri 1361,38 s ile üfleme açısının 45˚ ve temiz hava hızının 0,2 m/s olduğu durumdur. 0,2 m/s olan hava hızının 30˚ ve 45˚’deki maksimum hava yaşı değerleri %2’lik fark ile birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Ortalama hava yaşı ve maksimum hava yaşı değerleri

		Ortalama Hava Yaşı (s)			Maksimum Hava Yaşı (s)		
		0,2 (m/s)	**0,4 (m/s)**	**0,8 (m/s)**	**0,2 (m/s)**	**0,4 (m/s)**	**0,8 (m/s)**
Konum 1	**0°**	659,43	331,72	186,71	1023,85	475,95	245,14
	30°	666,08	402,52	224,06	855,42	623,67	302,71
	45°	769,25	492,43	262,64	996,37	721,24	375,07
Konum 2	**0°**	1011,99	583,68	243,17	1494,81	944,88	350,52
	30°	1009,63	551,04	264,68	1436,09	747,48	371,12
	45°	1044,78	784,62	383,06	1439,22	1076,98	486,61
Konum 3	**0°**	865,50	472,80	205,33	1195,81	854,573	302,77
	30°	892,82	535,48	252,02	1331,19	710,93	353,27
	45°	896,28	603,07	346,07	1361,38	763,98	417,21

Konumları karşılaştırdığımızda genel olarak üfleme açısı arttıkça ve temiz hava hızı da azaldıkça ortalama hava yaşının arttığı görülmektedir. Bu durum konum 1'in tümünde görülmesine rağmen, konum 2 ve konum 3'ün bazı durumlarında görülmemektedir. Konum 2 ve konum 3'deki cihazlar aynı duvara yerleştirilmelerine rağmen açının 0°'den 30°'ye yükselmesi (0,4 m/s ve 0,2 m/s hızları için) iki konum için farklılık göstermektedir. Konum 2'de ortalama hava yaşı azalırken konum 3'de ortalama hava yaşı artmaktadır. Bunun sebebi konum 3 'deki cihazın, insana yakın olmasıdır. Çünkü insanın sahip olduğu vücut sıcaklığı cihazın üfleme bölgesinde doğal taşınıma sebep olmaktadır. Doğal taşınım sebebi ile meydana gelen sıcaklık farkı konum 3'deki durumun konum 2 ile benzerlik göstermemesinde neden olmaktadır. Bu durum Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Üfleme açısının 0° olduğu konum 2'de, hava yaşının dağılımlarının 30°'ye göre yüksek olduğu ve 0°'de temiz havanın cihazın üst kısımlarına geç ulaştığı görülmektedir. Çünkü burada temiz hava duvara çarpıp doğrudan portatif hava temizleme cihazının hava giriş kısmına ilerlemekte ve tekrar temizlenmiş hava olarak cihazdan çıkmaktadır. Bu durum tekrar düşmekte ve temiz hava oda içine iyi bir şekilde yayılamamaktadır. Konum 3'de aynı

durumun yaşanmamasının sebebi, yukarıda anlatıldığı gibi insanın cihaza yakın olması ve insanın vücut sıcaklığının püskürtülen temiz havayı etkilemesidir. Bu sayede temiz hava oda içinde daha iyi bir şekilde yayılmaktadır.



Şekil 4.21. Konum 2 ve konum 3'deki hava yaşı dağılımları (0,4 m/s için)

5. SONUÇ

Bu çalışmada içinde oturan bir insan olan oda modellenmiş ve hava temizle cihazı oda içerisinde üç farklı bölgeye konumlandırılmıştır. Oda içerisine yerleştirilmiş olan portatif hava temizleme cihazının performansı için baz alınan parametreler THDO ve hava yaşı olarak belirlenmiştir. Bu parametreler portatif hava temizleme cihazının farklı üfleme hızları, farklı üfleme açıları ve portatif hava temizleme cihazının farklı konumları çerçevesinde değerlendirilmiş ve sayısal olarak hesaplanmıştır. HAD kullanılarak hız, hava yaşı ve sıcaklık dağılımları yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır. Bu çerçevede yapılan analizler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yapılan analizler ve hesaplamalar çerçevesinde farklı üfleme hızlarının, farklı üfleme açılarının ve cihazın farklı konumlarının sonuçları etkilediği tespit edilmiştir.
- Portatif hava temizleme cihazının konumunun değişmesi cihazın performansını %10-30 oranında etkilemektedir.
- Cihazın yakınında bulunan ısı kaynakları (İnsan, televizyon, bilgisayar, lambalar vb.), cihazın performansını etkilemektedir.
- Üfleme açısının artması, portatif hava temizleme cihazının performansını yaklaşık olarak %10-20 oranında etkilemektedir.
- Üfleme hızı arttıkça temiz havanın dağıtım oranının arttığı, hava yaşının ise azaldığı belirlenmiştir.
- Üfleme hızı arttıkça oda içindeki sıcaklığın düştüğü tespit edilmiştir. Buna ek olarak üfleme açısının azalması da oda içindeki sıcaklığı düşürmektedir.
- Portatif hava temizleme cihazının insan modelinin tam karşısına yerleştirildiğinde, en iyi verimi gösterdiği tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması dışında, farklı türbülans modelleri, farklı oda hacimleri, farklı cihaz boyutları ve çeşitleri, oda içine havalandırma ünitesi eklenmesi, gene oda içine iç ortam havasını kirleten kaynak yerleştirilmesi, bunlara ek olarak portatif hava temizleme cihazının performansının uygulamalı olarak incelenmesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması, ileriki çalışmalar için konu olabilir.

KAYNAKLAR

Ağca, B. 2005. İç Hava Kalitesi ve Hasta Bina Sendromu. 15 Temmuz 2021 tarihinde https://www.mfa.gov.tr/ic-hava-kalitesi-ve-hasta-bina-sendromu.tr.mfa adresinden erişildi.

AHAM. 2015. Method for Measuring the Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners, 1–4.

Akal, D. 2013. İç Ortam Hava Kirliliği ve Çalışanlara Olumsuz Etkileri. *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi*, *1*(1), 112–119.

Akbari, V. ve Salmanzadeh, M. 2019. Numerical evaluation of the effect of air distribution system and location on performance of a portable air cleaner. *Science and Technology for the Built Environment*, *25*(1), 34–45. doi:10.1080/23744731.2018.1493310

Akıncı, B. 2016. *Adana'da bazı işletmelerde iç ortam hava kalitesi ve çalışanların sağlığına olan etkilerinin değerlendirilmesi*. Uzmanlık Tezi, Çukurova Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Adana.

Altun, A. F. ve Kilic, M. 2019. Utilization of electrostatic precipitators for healthy indoor environments. *E3S Web of Conferences*, *111*, 2020. doi:https://doi.org/10.1051/e3sconf/2019111020 20

ANSYS. 2013. *Ansys Fluent Theory Guide*. *ANSYS Inc., USA*.

Ardkapan, S. R., Afshari, A., Bergsøe, N. C. ve Nielsen, P. V. (2014). Evaluation of air cleaning technologies existing in the Danish market: Experiments in a duct and in a test room. *Indoor and Built Environment*, *23*(8), 1177–1186. doi:10.1177/1420326X13501097

ASHRAE. 2005. ASHRAE handbook-fundamentals: chapter 27 ventilation and infiltration.

ASHRAE. 2013. ASHRAE Standard 62.1-2013. Ventilation for acceptable indoor air quality: American Society of heating, refrigerating and air conditioning engineers.

Bayram, H. 2014. Hava kirliliği ve solunum sağlığına etkileri. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi*, 80–89.

Budak, F. ve Korkamaz, Ş. 2020. Covid-19 Pandemi Sürecine Yönelik Genel Bir Değerlendirme: Türkiye Örneği. *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, (1), 62–79.

doi:10.35375/sayod.738657

Cao, G., Awbi, H., Yao, R., Fan, Y., Sirén, K., Kosonen, R. ve Zhang, J. (Jensen). 2014. A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings. *Building and Environment*, *73*, 171–186. doi:10.1016/j.buildenv.2013.12.009

Chen, C., Zhao, B., Cui, W., Dong, L., An, N. ve Ouyang, X. 2010. The effectiveness of an air cleaner in controlling droplet/aerosol particle dispersion emitted from a patient's mouth in the indoor environment of dental clinics. *Journal of The Royal Society Interface*, *7*(48), 1105–1118. doi:10.1098/rsif.2009.0516

Chen, L., Jin, X., Yang, L., Du, X. ve Yang, Y. 2017. Particle transport characteristics in indoor environment with an air cleaner: The effect of nonuniform particle distributions. *Building Simulation*, *10*(1), 123–133. doi:10.1007/s12273-016-0310-7

Cheng, Y. S., Lu, J. C. ve Chen, T. R. 1998. Efficiency of a Portable Indoor Air Cleaner in Removing Pollens and Fungal Spores. *Aerosol Science and Technology*, *29*(2), 92–101. doi:10.1080/02786829808965554

Çilingiroğlu, S. 2010. İç Hava Kalitesi. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası*, 23–42.

EPA. 2001. Healthy Buildings, Healthy People, a Vision for the 21st Century; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA.

EPA. 2008. Guide to Air Cleaners in the Home.

Faulkner, W. B., Memarzadeh, F., Riskowski, G., Kalbasi, A. ve Ching-Zu Chang, A. 2015. Effects of air exchange rate, particle size and injection place on particle concentrations within a reduced-scale room. *Building and Environment*, *92*, 246–255. doi:10.1016/j.buildenv.2015.04.034

Gao, Z. ve Zhang, J. S. 2010. Numerical analysis for evaluating the "Exposure Reduction Effectiveness" of room air cleaners. *Building and Environment*, *45*(9), 1984–1992. doi:10.1016/j.buildenv.2010.02.004

Girman, J., Phillips, T. ve Levin, H. 2009. Critical review: How well do house plants perform as indoor air cleaners? *Proceedings of Healthy Buildings*, 667.

Griffee, N. 2016. The History of Respirator. 8 Temmuz 2021 tarihinde https://cambridgemask.com/blogs/news/history-of-respirators adresinden erişildi.

Güllü, G. 2017. İç ortam hava kalitesi iyileştirme cihazlari, performanslari, tarihsel gelişimi ve geleceği. *TMMOB 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*.

Güngör, E. 2013. *Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Kullanılarak Su Altı Araçları için Pervane Tasarımı ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Disiplinler Arası Programlar Anabilim Dalı.

Hacker, D. W. ve Sparrow, E. M. 2005. Use of air-cleaning devices to create airborne particle-free spaces intended to alleviate allergic rhinitis and asthma during sleep. *Indoor Air*, *15*(6), 420–431. doi:10.1111/j.1600-0668.2005.00387.x

Hubbard, H. F., Coleman, B. K., Sarwar, G. ve Corsi, R. L. 2005. Effects of an ozone-generating air purifier on indoor secondary particles in three residential dwellings. *Indoor Air*, *15*(6), 432–444. doi:10.1111/j.1600-0668.2005.00388.x

Hunnicutt, R. 2018. Let's Clear The Air: The Rıise Of The Domestic Air Purifier. 8 Temmuz 2021 tarihinde https://www.cooperhewitt.org/2018/12/13/lets-clear-the-air-the-rise-of-the-domestic-air-purifier/ adresinden erişildi.

Jin, X., Yang, L., Du, X. ve Yang, Y. 2016. Particle transport characteristics in indoor environment with an air cleaner. *Indoor and Built Environment*, *25*(6), 987–996. doi:10.1177/1420326X15592253

Kang, S. Y., Siegel, J. ve Novoselac, A. 2008. Effective positioning of portable air cleaning devices in multizone residential buildings. *In proceedings of Indoor Air conference*, (August), 17–22.

Kashkooli, F. M., Sefidgar, M., Soltani, M., Anbari, S., Shahandashti, S. A. ve Zargar, B. 2021. Numerical assessment of an air cleaner device under different working conditions in an indoor environment. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(1), 1–23. doi:10.3390/su13010369

Kaynakli, O. ve Kilic, M. 2005. Investigation of indoor thermal comfort under transient conditions. *Building and Environment*, *40*(2), 165–174. doi:10.1016/j.buildenv.2004.05.010

Kilic, M. ve Sevilgen, G. 2008. Modelling airflow, heat transfer and moisture transport around a standing human body by computational fluid dynamics. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *35*(9), 1159–1164. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S073519330800119X adresinden erişildi.

Kim, H.-J., Han, B., Kim, Y.-J., Yoon, Y.-H. ve Oda, T. 2012. Efficient test method for evaluating gas removal performance of room air cleaners using FTIR measurement and CADR calculation. *Building and Environment*, *47*(1), 385–393.

doi:10.1016/j.buildenv.2011.06.024

Kolarik, B., Wargocki, P., Skorek-Osikowska, A. ve Wisthaler, A. 2010. The effect of a photocatalytic air purifier on indoor air quality quantified using different measuring methods. *Building and Environment*, *45*(6), 1434–1440. doi:10.1016/j.buildenv.2009.12.006

Küpper, M., Asbach, C., Schneiderwind, U., Finger, H., Spiegelhoff, D. ve Schumacher, S. 2019. Testing of an Indoor Air Cleaner for Particulate Pollutants under Realistic Conditions in an Office Room. *Aerosol and Air Quality Research*, *19*(8), 1655–1665. doi:10.4209/aaqr.2019.01.0029

Memarzadeh, F. ve Xu, W. 2012. Role of air changes per hour (ACH) in possible transmission of airborne infections. *Building Simulation*, *5*(1), 15–28. doi:10.1007/s12273-011-0053-4

Mølgaard, B., Koivisto, A. J., Hussein, T. ve Hämeri, K. 2014. A New Clean Air Delivery Rate Test Applied to Five Portable Indoor Air Cleaners. *Aerosol Science and Technology*, *48*(4), 409–417. doi:10.1080/02786826.2014.883063

Moradi Kashkooli, F., Soltani, M., Zargar, B., Ijaz, M. K., Taatizadeh, E. ve Sattar, S. A. 2020. Analysis of an indoor air decontamination device inside an aerobiology chamber: a numerical-experimental study. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *13*(3), 281–288. doi:10.1007/s11869-019-00782-w

Noh, K.-C. ve Oh, M.-D. 2015. Variation of clean air delivery rate and effective air cleaning ratio of room air cleaning devices. *Building and Environment*, *84*, 44–49. doi:10.1016/j.buildenv.2014.10.031

Noh, K. C. ve Yook, S. J. 2016. Evaluation of clean air delivery rates and operating cost effectiveness for room air cleaner and ventilation system in a small lecture room. *Energy and Buildings*, *119*, 111–118. doi:10.1016/j.enbuild.2016.03.027

Novoselac, A. ve Siegel, J. A. 2009. Impact of placement of portable air cleaning devices in multizone residential environments. *Building and Environment*, *44*(12), 2348–2356. doi:10.1016/j.buildenv.2009.03.023

Ongwandee, M. ve Kruewan, A. 2013. Evaluation of Portable Household and In-Car Air Cleaners for Air Cleaning Potential and Ozone-Initiated Pollutants. *Indoor and Built Environment*, *22*(4), 659–668. doi:10.1177/1420326X12460254

Park, H., Park, S. ve Seo, J. 2020. Evaluation on air purifier's performance in reducing

the concentration of fine particulate matter for occupants according to its operation methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(15), 1–14. doi:10.3390/ijerph17155561

Parmaksız, K. 2017. *Bazı kamu kuruluşlarının iç ortam hava kalitelerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şanlı Urfa.

Sevilgen, G. ve Kilic, M. 2010. Transient numerical analysis of airflow and heat transfer in a vehicle cabin during heating period. *International Journal of Vehicle Design*, *52*(1/2/3/4), 144. doi:10.1504/IJVD.2010.029641

Sevilgen, G. ve Kilic, M. 2011. Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators. *Energy and Buildings*, *43*(1), 137–146. doi:10.1016/j.enbuild.2010.08.034

Sevilgen, G. ve Kilic, M. 2012. Three dimensional numerical analysis of temperature distribution in an automobile cabin. *Thermal Science*, *16*(1), 321–326. doi:10.2298/TSCI1201321S

Shaughnessy, R. J. ve Sextro, R. G. 2006. What Is an Effective Portable Air Cleaning Device? A Review. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, *3*(4), 169–181. doi:10.1080/15459620600580129

Shaughnessy, Richard J., Levetin, E., Blocker, J. ve Sublette, K. L. 1994. Effectiveness of Portable Indoor Air Cleaners: Sensory Testing Results. *Indoor Air*, *4*(3), 179–188. doi:10.1111/j.1600-0668.1994.t01-1-00006.x

Siegel, J. A. 2016. Primary and secondary consequences of indoor air cleaners. *Indoor Air*, *26*(1), 88–96. doi:10.1111/ina.12194

Sultan, Z. M., Nilsson, G. J. ve Magee, R. J. 2011. Removal of ultrafine particles in indoor air: Performance of various portable air cleaner technologies. *HVAC&R Research*, *17*(4), 513–525. doi:https://doi.org/10.1080/10789669.2011.579219

Tekin, Ö. F. 2019. *Öğrencilerde hasta bina sendromu prevalansı ile iç ortam hava kalitesinin değerlendirilmesi: kütahya okul örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Kütahya.

Ward, M., Siegel, J. A. ve Corsi, R. L. 2005. The effectiveness of stand alone air cleaners for shelter-in-place. *Indoor Air*, *15*(2), 127–134. doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00326.x

Waring, M. S. ve Siegel, J. A. 2011. The effect of an ion generator on indoor air quality in a residential room. *Indoor Air*, *21*(4), 267–276. doi:10.1111/j.1600-0668.2010.00696.x

Waring, Michael S., Siegel, J. A. ve Corsi, R. L. 2008. Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners. *Atmospheric Environment*, *42*(20), 5003–5014. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.02.011

Weschler, C. J. 2006. Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry. *Environmental Health Perspectives*, *114*(10), 1489–1496. doi:10.1289/ehp.9256

Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B. ve Speziale, C. G. 1992. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids A*, *4*(7), 1510–1520. doi:10.1063/1.858424

Zhang, T. (Tim), Wang, S., Sun, G., Xu, L. ve Takaoka, D. 2010. Flow impact of an air conditioner to portable air cleaning. *Building and Environment*, *45*(9), 2047–2056. doi:10.1016/j.buildenv.2009.11.006

Zuraimi, M. S., Nilsson, G. J. ve Magee, R. J. 2011. Removing indoor particles using portable air cleaners: Implications for residential infection transmission. *Building and Environment*, *46*(12), 2512–2519. doi:10.1016/j.buildenv.2011.06.008