
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

YEŞİL BİNA KRİTERLERİ KAPSAMINDA HAVALANDIRMALI PENCERELER İLE İÇ HAVA KALİTESİNİN KONTROLÜ VE ISIL PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİ

İldar FATHI AJIRLOU

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İldar FATHI AJIRLOU

25/01/2022

YEŞİL BİNA KRİTERLERİ KAPSAMINDA HAVALANDIRMALI PENCERELER İLE İÇ HAVA KALİTESİNİN KONTROLÜ VE ISIL PERFORMANS ÜZERİNE ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Ildar FATHI AJIRLOU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Binalarda çevreyi koruyan ve enerji tasarrufu sağlayan uygulamaların artması sonucunda, yeşil binalar ile ilgili standartlaşma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.Bu nedenlerle iç ortamlarda uygun bir hava kalitesi sağlayan çözümlerin uygulanması tasarımcıların önde gelen sorumluluklarından biri olmaktadır. Bu kapsamda, temel ölçü ve niteliklerin belirlenmesi amacıyla sertifika verilmesi gündeme gelmiş, dolayısıyla bunu sağlayan kurumlar ortaya çıkmıştır. Böylece, yeşil bina standartları oluşturulmuş, değerlendirme, derecelendirme ve sertifikalandırma sistemleri kurulmuştur. Bu çalışmada, hava akışlı pencerelerin; hacimden hava kirletici maddeleri ve partikülleri uzaklaştırmasının yanı sıra ofis ve odalardaki kullanıcılara termal konfor sağlamadaki performansı incelenmiştir. ofis odalarında doğal ve karışık havalandırma yöntemleri çalışılırken, ısıtma yükü ve kirletici kaynaklar dikkate alınmıştır. Yöntem olarak, küçük, orta ve büyük oda olarak adlandırılan farklı döşeme boyutlarına sahip üç ofis odası ve farklı hava akımı pencere kalınlıkları (10cm-40cm) dikkate alınmıştır. Ofis kabinleri içindeki akış ve ısı transferi, hesaplamalı akışkan dinamiği yöntemi kullanılarak simüle edilmiş ve simülasyon sonuçlarından elde edilen ortalama sıcaklık, bağıl nem, hız, CO_2 ve Toz konsantrasyonu uluslararası havalandırma standartlarındaki kriterlerle karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Ofis odalarındaki termal konfor durumunu değerlendirmede, incelenen her durum için PMV hesaplanmıştır. Orta ve küçük boyuttaki odalarda "Hava Akışlı Pencere"sinin doğal havalandırmasının, ASHRAE hariç uluslararası havalandırma standardındaki termal ve RH koşullarını karşılaya bileceği bulunmuştur. Önerilen hava akışı penceresinin, doğal havalandırma modunda çalışırken, ofislerdeki CO_2 (pencere kalınlığı 30 ve 40 cm) ve toz seviyesini(küçük oda 10,20,30 ve 40 kalınlıkta olan pencereler, uluslararası standartta kabul edilebilir düzeye başarılı bir şekilde düşürebildiği görülmüştür. Karma modda (doğal+yapay) Hava Akışı çalışması incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, enerji tüketimi ekonomisi açısından döşeme altı hava dağıtım sistemi ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar, küçük, orta ve büyük ofis boyutlarında kurulan hava akışı havalandırma sisteminin, doğal veya karma çalışma modunda, karşılık gelen geleneksel HVAC sisteminden daha az enerji tüketen havalandırma standardında iç mekan koşulu sağlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca hava akış sistemi sadece büyük ofiste ısıl konfor koşulunu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda uygulaması ekonomik olarak da uygun değildir.

Bilim Kodu : 80103
Anahtar Kelimeler : Yeşil mimari, doğal havalandırma, hava akış penceresi, iç mekan hava kalitesi, termal konfor.
Sayfa Adedi : 106
Danışman : Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

CONTROL OF INDOOR AIR QUALITY WITH VENTILATED WINDOWS WITHIN THE SCOPE OF GREEN BUILDING CRITERIA AND ITS EFFECT ON THERMAL PERFORMANCE

(Ph. D. Thesis)

İldar FATHI AJIRLOU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

As a result of the increase in applications that protect the environment and save energy in buildings, the need for standardization has emerged regarding green buildings. For these reasons, it is one of the leading responsibilities of designers to implement solutions that provide a suitable air quality in indoor environments. In this context, certificate issuance has come to the agenda in order to determine the basic criteria and qualifications, so institutions that provide this have emerged. Thus, green building standards have been established, evaluation, rating and certification systems have been established. In the present study performance of an Airflow window in removing contaminants and particles as well as providing thermal comfort for the occupants in the office and rooms is investigated. Both natural and mixed ventilation methods were studied and the full heating load and contaminant sources in the office rooms were considered. Three offices rooms having different flooring sizes respectively called small, medium and big rooms, and different airflow window height(10,20,30,40cm) were taken into account. The flow and heat transfer inside the office cubicles were simulated using the computational fluid dynamic method and the results were validated against the published data in the literature. Then, the local and average temperature, relative humidity, velocity as well as CO_2 and Dust concentration are extracted from simulation results and compared to criteria in international ventilation standards. In order to evaluate thermal comfort condition in the office rooms, PMV was calculated for each studied case as well. It's found that except in the big room having 8x6 flooring size, natural ventilation from the Airflow Window can satisfy the thermal and RH conditions in the international ventilation standard except for ASHRAE. Moreover, it's found that the suggested airflow window, when operating in the natural ventilation mode, can successfully reduce CO_2 and dust level in the offices to the acceptable level in the international standard. Finally, the Airflow operation in the mixed-mode is studied and the obtained results are compared to the underfloor air distribution system in terms of energy consumption economy. Results indicate that the airflow ventilation system installed in small, medium and big offices operation can provide indoor condition in the ventilation standard either in natural or mixed operation mode consuming less energy than the corresponding traditional HVAC system. Besides, the airflow system is not able to provide thermal comfort condition in the big office but also its application is not economically feasible.

Science Code : 80103
Key Words : Green architecture, natural ventilation, airflow window, ındoor air quality, thermal comfort,
Page Number : 106
Supervisor : Prof. Dr. Cüneyt KURTAY

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, zengin bilgi birikimini paylaşmaktan asla vazgeçmeyen ve her zaman doğru yolu gösterip desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Cüneyt KURTAY'a teşekkürlerimi sunarım. Tezimin savunma sınavında yer alan Prof. Dr. Aslı ÖZÇEVİK BİLEN'e Prof. Dr. İdil AYÇAM'a, Doç. Dr. Gülsu ULUKAVAK HARPUTLUGİL'e ve Doç. Dr. Arzuhan BURCU GÜLTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında devamlı maddi ve manevi desteğini gördüğüm fedakar ve değerli aileme, özellikle babam Mohammad Fathi, annem Ziba Azarmi ke onların çocuğu olduğum için gurur duyduğum ve tüm hayatım boyunca bana verdikleri emeğe layık olmak için çabaladığım yaşam kaynağım, sevmekten hiç vazgeçmeyeceğim insanlara, Ayrıca koşulsuz sevgileri ve sonsuz hoşgörüleriyle hayatıma anlam katan İran ve Türkiye'nin iyi, asil ve sevgi dolu insanlarına sonsuz teşekkürler. Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi hocalarına, Parsabad mughan Mühendisler Odaları Birliği, çok sevdiğim dostlarım ve her türlü katkısı olan herkese teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. İÇ HAVA KALİTESİ 7

2.1. İç Hava Kalitesi Kavramı 8

2.2. İç Hava Kalitesinin Önemi 9

2.3. İç Hava Kalitesinin İnsanlar Üzerindeki Etkileri 10

2.4. Uluslararası İç Hava Kalitesi Kriter ve Standartları 11

2.4.1. ASHRAE 62.1-2007 standardı 11

2.4.2. BREEAM iç hava kalitesi kriterleri 12

2.4.3. LEED iç hava kalitesi kriterleri 13

2.4.4. GREEN STAR iç hava kalitesi kriterleri 15

2.4.5. CASBEE iç hava kalitesi kriterleri 15

2.4.6. WHO iç hava kalitesi kriterleri 16

2.4.7. OSHA iç hava kalitesi standartları kriterleri 16

2.4.8. EPA ve ACGIH iç hava kalitesi kriterleri 17

2.5. İç Hava Kalitesinin Kriterleri 17

2.5.1. Havanın izafi nem oranı 17

2.5.2. İç sıcaklık ve bağıl nem 18

Sayfa

2.5.3. İç hava kirleticileri 19
2.6. İç Ortam Hava Kirliliği Kontrolü 20
2.6.1. Sıcaklık ve nem kontrolü (ASHRAE) 21
2.6.2. Sigara dumanı kontrolü 22
2.6.3. Toz kontrolü 22
3. HAVALANDIRMA 23
3.1. Havalandırma Yöntemleri 23
3.2. Doğal Havalandırma 23
3.2.1. Doğal çevre – doğal havalandırma ilişkisi 27
3.2.2. Yönlenmenin doğal havalandırmaya etkisi 27
3.2.3. Hava hareketlerinin doğal havalandırmaya etkisi 28
3.2.4. Havalandırma miktarları 30
3.2.5. Havalandırmanın kontrolü 31
3.3. Havalandırmalı Pencere Kavramı 32
3.3.1. Havalandırmalı pencerelerin gelişimi 34
3.3.2. Havalandırmalı pencere tipleri 35
4. ÖRNEK ÇALIŞMANIN CFD SİMÜLASYONU İLE HAVALANDIRMA HESABI 43
4.1. CFD Simülasyon Programı Tanıtım 43
4.2. Örnek Çalışma 44
4.3. Matematiksel Model 48
4.3.1. Kodlama 49
4.3.2. Kabuller 50
4.3.3. Çalışma yöntemi 50
4.3.4. Çözüm yöntemi 54
4.3.5. Termal konfor iç hava kalitesi 55

Sayfa

5. DEĞERLENDİRME 59
5.1. Doğal Havalandırma 59
5.2. Zorlamalı Havalandırma 66
5.3. Karışık Havalandırma 67
5.4. Sonuçların Karşılaştırması 75
5.4.1. Doğal havalandırma 81
5.4.2. Karışık havalandırmada 87
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 91
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 105

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. ASHRAE standartlarına göre bazı iç mekan değerleri ve gereksinimleri .. 10

Çizelge 2.2. İç hava kalitesi ile ilgili standartlar ve önerdikleri sınır değerler. 11

Çizelge 2.3. İç hava kalitesi kriterleri kredi analizi. 13

Çizelge 2.4. Uluslararası iç hava kalitesi / iş sağlığı pm2.5 standartları ve rehber sınır değerleri. 17

Çizelge 3.1. Beaufort ölçegine göre rüzgâr hızları. 29

Çizelge 3.2. Ticari tesisler için (spor tesisleri,oteller, ofisler, dükkanlar, depolar) dış hava miktar tavsiyeleri 30

Çizelge 3.3. ASHRAE 62-1999‟ye göre dış hava konsantrasyonu. 31

Çizelge 4.1. Çalışılan ofislerin boyutları (mm) 45

Çizelge 4.2. Odadaki nesnelerin konumu ve boyutları 46

Çizelge 4.3. Kodlama 49

Çizelge 5.1. Farklı miktarlardaki PMV ve PPD için bireylerin ısı duyumlarının dağılımı. 75

Çizelge 5.2. Küçük oda CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 76

Çizelge 5.3. Orta oda CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 78

Çizelge 5.4. Büyük oda CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 80

Çizelge 5.5. Doğal havalandırma iç hava sıcaklığa göre CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 81

Çizelge 5.6. Doğal havalandırma iç hava hızına göre CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 82

Çizelge 5.7. Doğal havalandırma iç bağıl neme göre CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 83

Çizelge 5.8. Doğal havalandırma PMV'ye göre CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 84

Çizelge 5.9. Doğal havalandırma toz’a göre CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 85

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.10. Doğal havalandırma karbondioksite (CO_2) göre CFD sonuçlarn İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 86

Çizelge 5.11. Karışık havalandırmada iç hava sıcaklığa göre CFD sonuçlarn İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 87

Çizelge 5.12. Karışık havalandırmada iç hava hızına göre CFD sonuçlarn İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 88

Çizelge 5.13. Karışık havalandırmada iç bağıl neme göre CFD sonuçlarınınn İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 88

Çizelge 5.14. Karışık havalandırmada PMV'ye göre CFD sonuçlarn İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi 89

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Günümüz çağında insanlar zamanlarının çoğunu kapalı mekanlarda geçirirler..... 8

Şekil 2.2. İç hava kalitesi kriterleriyle alınabilen kredi grafiği..... 13

Şekil 2.3. Sıcaklık-nem oranları..... 19

Şekil.3.1. Doğal havalandırma örnekleri 24

Şekil 3.2. Isıl kuvvet etkisiyle doğal havalandırma. 25

Sekil 3.3. Tek yönlü etkiyle dogal havalandırma. 26

Sekil 3.4. Rüzgar etkisiyle dogal havalandırma..... 27

Şekil 3.5 Yönlere göre güneşlenme yüzdeleri 28

Şekil 3.6. Hava akımlarının türleri..... 29

Şekil 3.7. İç ve dış hava akımı pencere tipleri: (a) besleme modu, (b) dış hava perdesi. (c) iç hava perdesi ve (d) egzoz modu 36

Şekil 3.8. Güneş enerjisi ile çalışma pencere modu..... 37

Şekil 3.9. Hava akımı pencere tiplerinen Besleme modu 37

Şekil 3.10. Besleme modu pencerenin iki farklı yapısı 38

Şekil 3.11. DWCS'nin kavramsal geometrisi..... 39

Şekil 3.12. DWCS'nin çalışması..... 40

Şekil 3.13. Çift kanallı hava akımlı pencere iki çalışma modu: (a) besleme ve (b) egzoz; TFA = temperlenen temiz hava, IA = iç mekan havası, OA = dış mekan havası ve EA = egzoz havası 41

Şekil 3.14 Hava akımı penceresi (mekanik havalandırma) 42

Şekil 3.15. Fan ile havalandırma..... 42

Şekil 4.1. İncelenen farklı büyüklükteki ofis odalarının ana hatları ve boyutlar..... 45

Şekil 4.2. Hava akışı penceresinin büyütülmüş görünümü..... 46

Şekil 4.3. Hava akış penceresinin şeması a) besleme modu b) egzoz modu 48

Şekil 4.4. Pencerenin odadaki konumu ve boyutu..... 48

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Mesh oluşturma 51

Şekil 4.6. Şebekeden bağımsız çalışması 52

Şekil 4.7. CBE termal konfor aracı 56

Şekil 4.8. Sıcaklıkta havalandırma standardı ve konfor bölgesi - RH çizelgesi 57

Şekil 5.1. D-K-4-S0-H0-b0 durumu için A) Akış çizgileri B) Sıcaklık konturları (3D) C) Hız D) Sıcaklık E) Bağıl nem (RH) F) PMVe G) CO_2 (PPM) H) Orta düzlemde toz dağılımı 59

Şekil 5.2. A) Akış çizgileri D-K-4-S0-H0-b0 durumu 60

Şekil 5.3. B) Sıcaklık konturları (3D) D-K-4-S0-H0-b0 durumu 60

Şekil 5.4. C) Hız D-K-4-S0-H0-b0 durumu 61

Şekil 5.5. Bağıl nem D-K-4-S0-H0-b0 durumu 61

Şekil 5.6. G) CO_2 (PPM) (D-K-4-S0-H0-B0 durumu) 61

Şekil 5.7. H) $_{Orta}$ düzlemdeki toz dağılımı (D-K-4-S0-H0-B0 durumu) 62

Şekil 5.9. C) Hız D-O-4-S1-H1-B1 durumu 63

Şekil 5.10. A) Akış çizgileri (D-O-4-S1-H1-B1 durumu) 64

Şekil 5.11. B) Sıcaklık konturları (3D) -(D-O-4-S1-H1-B1 durumu) 64

Şekil 5.12. A) Havalandırma standardı ve termal konforun de ğerlendirilmesi B) Kirletici (ler) Doğal Havalandırma durumları için Konsantrasyon 65

Şekil 5.13. UFAD sistemleri için toz konsantrasyonu (PPM) A) Küçük B) Orta C) Büyük ofis odaları 66

Şekil 5.14. UFAD sistemi için havalandırma standardı ve termal konforun değerlendirilmesi 67

Şekil 5.15. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 10 cm.) 69

Şekil 5.16. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 20 cm) 69

Şekil 5.17. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 30 cm) 70

Şekil 5.18. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (Pencere kalınlığı 10 cm.) 71

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.19. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 20 cm) 71

Şekil 5.20. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 30 cm.) 72

Şekil 5.21. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 40 cm) 72

Şekil 5.22. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 10 cm) 73

Şekil 5.23. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 20 cm) 73

Şekil 5.24. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 30 cm) 74

Şekil 5.25. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi. (pencere kalınlığı 40 cm) 74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
m^3	Açıklamalar bir satırdan uzun olmamalıdır
db	Desibel
hz	Hertz
m^2	Metrekare

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ACGIH	American Council of Governmental Industrial Hygienist
ASHRAE	American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BRE	Building Research Establishment Environmental Assessment
BREEAM	Method Assessment Method
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
CBE	The Center for the Built Environment
CFD	Computational Fluid Dynamics
CO_2	Carbon dioxide
EPA	Environmental Protection Agency
HC	Health Canada
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
IAQ	Indoor Air Quality
K	Kelvin
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MRT	Mean Radiant Temperature
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards Design
OSHA	Occupational Safety And Health Administration
PMV	Predicted Mean Vote

Kısaltmalar	Açıklamalar
PPD	Predicted Percentage Of Dissatisfied
PPM	Parts Per Million
UFAD	Underfloor air distribution
WHO	World health organizatio

1. GİRİŞ

Günümüzde yapılardaki uygun fiziksel çevre koşullarının sağlanmasında fosil kaynakların kullanımı; çevre kirliliği yaratması, mevcut enerji kaynaklarının tükeniyor olması ve ekonomik nedenlerle en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Yeşil binalar, enerji konusunda değişim içinde olan dünyada bu değişimin beraberinde getirdiği ve insan yaşamını doğrudan etkileyen çevresel, sosyal ekonomik dönüşüme uyum sağlamak üzere tasarlanan yapılardır. Günümüzde önemi gittikçe artan sürdürülebilir özellikler, pek çok alanda olduğu gibi yaşam alanlarının yaratılmasında da yeni bina sistemlerinin geliştirilmesine imkan tanımaktadır. Yeşil bina olarak tanımlanan yeni nesil yapılar, enerji verimliliğine ve çevresel etkilere önem verirken, aynı zamanda maliyet açısından da yarar sağlamaktadırlar. Bu amaçla çalışmada ; Havalandırmalı Pencereler İle İç Hava Kalitesinin Kontrolü ele alınarak, havalandırmalı pencerelerin kontrol edilebilir özellikleri sanal ortamda denenerek, değişik büyüklükteki mekanlar üzerindeki konfor şartları araştırılmış ve sonuçlara bağlı tavsiyelerde bulunulmuştur.

Araştırma konusu

İç hava kalitesi kriterlerinin ve standartlarının incelenmesi, havalandırmalı pencereler ile iç hava kalitesini sağlama prensiplerinin ve kriterlerinin belirlenmesi, sağlanan iç hava kalitesi koşullarının ısıl performansa ve insan konfor üzerine etkisinin bilgisayar ortamında modellenerek irdelenmesidir.

Araştırmanın amacı

Çalışmanın amacı, iç hava kalitesi standartlarındaki kriterleri karşılamada kullanılan mevcut doğal havalandırma sistemine bir alternatif olarak doğal akışlı veya zorlamalı, havalandırmalı pencerelerin insan konforu üzerindeki performansını değerlendirmektir.

Araştırmanın önemi

Enerji kayanaklarini dikkatli harcamamız gereken günümüzde, insan yaşamina uygun yapilar oluştururken, ayni zamanda enerji kullaniminida dikkate almamiz ve çevreyi minimum duzeyde kirletmemiz gerekmektedir. Tez bu amacla oluşturulmuş yeşil bina

kriterleri programlarinin ana başliklarinden biri olan iç hava kalitesi kriterine katkida bulunacaktir.

Varsayımlar / Sayıltılar

Simülasyonlarda akış ve ısı transferi modelinin sabit, üç boyutlu ve sıkıştırılamaz olduğu varsayılmıştır. Sıvı, sabit özelliklere sahip Newtoniyendir. İncelenen problem çalkantılı olduğundan, problem için geçerli denklemler Reynolds ortalamalı Naiver-Stokes denklemlerini ve Enerji konuşma denklemini içerir. Kaldırma kuvvetlerinin hız alanı üzerindeki etkisi, akışkan yoğunluğunun kaldırma kuvveti teriminde beklenen sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayımına dayanan Boussinesq yaklaşımı aracılığıyla momentum koruma denklemine eklenir. Ayrıca, havadaki buhar ve kirletici madde taşınması, literatürden uyarlanan difüzyon katsayıları ile konveksiyon-difüzyon denklemi kullanılarak modellenmiştir. Odadaki akışın doğası gereği, bahsedilen tüm denklemler türbülans taşınması için denklemlerle birleştirilmelidir.

Literatür taraması

Giedrius Domarkas ve Jonas Taminskas (2011) “Güneş perdeli havalandırma penceresi” başlıklı araştırma raporunda, havalandırmalı pencerelerin enerji etkin pencere analizi ve bunun yılın sıcak ve soğuk dönemlerindeki performansını analiz etmiştir. Sonuç bölümünde yıl boyunca enerji dengesi açısından en uygun seçeneği tespit ederek mevcut binaya uygulanan basit hesaplama yöntemi sunulmaktadır.

David Appelfeld (2012) “İleri pencere sistemlerinde ürün geliştirme için performans modelleme” adli doktora tezinde; pencere sistemlerinin enerji etkinliğini geliştirmek için bilgisayar temelli analizleri kullanarak, bilgisayar performans modellemeleri yardımıyla her KPS’ nin (Karmaşık Pencere Sistemlerinin) geliştirilerek en iyileştirilmesine çalışmıştır.

Gosselin ve Chen (2008.) “binalarda enerji muhafazası ve kapalı alan hava kalitesini artırma için çift hava akışlı pencere” adlı makalesinde; Hacim içinde kullanılan kirli havayı dışarıdaki temiz hava ile dengeleyen, konutlarda kullanım amaçlı, yeni çift hava akışlı pencere incelenerek, pencere tasarımını en iyileştirmek için simülasyon programları kullanılmıştır. Sonuçlar, 10 L/s akış oranı ve 9 mm küçük bir oluğun en iyi pencere

performansı sonucunu verdiğini göstermiştir. Pencerenin etkin ısı kazanımı, bu çalışmada ele alnına koşullar altında %20 ila 56 arasında değiştiğini saptanmışlardır.

Jorge S. Carlosa ve Helena Corvacho (2013) "Ön Isıtma için Havalandırmalı Çift Pencere Havalandırma Havasının Performansının Karşılaştırılması Kuzey ve Güney Avrupa İklimi" adlı makalelerinde deneysel ve analitik prosedürlerle havalandırmalı çift pencere termal performans indeksini değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonucunda havalandırmalı çift pencerenin termal performansının tam özelliklerinin yalnızca solar ışınım ve solar kazanımla ilgili sonuçların tam olarak analiz edilmesiyle elde edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Ningning Zhang, Wufeng Jina, Junwei He (2015) "Havalandırmalı pencerenin içerideki hava kalitesine ve enerji tüketimine etkisine dair deneysel çalışma" adlı makalelerinde, havalandırmalı pencere sistemlerinin farklı çalışma türlerinin içerideki PM2.5 ve CO_2 konsantrasyonlarına ve toplam enerji tüketimine etkisini ele alır. Havalandırmalı pencere 3 değişik fazda çalışırken PM2.5 konsantrasyonlarının %9 ile %16 arasında düştüğü dolayısı ile havalandırmalı pencere kullanımının avantajlı olduğunu belirtmektedirler.

K.A.R. Ismail , J.R. Henríquez, (2005) "Çift camlı doğal havalandırmalı pencere için iki boyutlu model" adlı makalelerinde, çift kat havalandırmalı cam pencerenin sayısal simülasyonlarının sonuçlarını ve matematik modelini sundukları bu çalışmada; Cam tabakaların arasındaki kanaldaki ısı alanı sonuçları, cam katları arasında farklı boşluklar ve gelen ışıma sonuçları elde edilmiştir.

Michael Cain Skaff, Louis Gosselin,2014, "Emici ya da akıllı camlı havalandırmalı pencerelerin yaz performansı" adlı makalelerinde, U-katsayısı ve SHGC gibi ölçütlerle gökdelenlerde ve ticari binalardaki havalandırmalı pencerelerin analizleriyle havalandırmalı pencerelerin enerji performansını araştırmışlardır. Bir ölçek analizi de önerilen çalışma sonunda, pencerede kullanılan camın niteliğinin yapı içindeki ısıl performans üzerinde büyük etkisi olduğu vurgulanmıştır.

SamBorgeson ve Gail Brager (2008) "Pencerelerin Kullanıcı Kontrolü: Bina Simülasyonlarında İnsan Davranışını Hesaba Katma" adlı makalelerinde; kullanıcının pencere kontrolünü öngören modelleri CBE kitlesinin dikkatine sunmak ve akademik yazında uygulama, köken, işlerlik durumlarının bir özetini sunmak amaçlanmıştır.

K.A.R. Ismail , J.R. Henríquez (2006) “Kuvvetli hava akışı durumunda havalandırmalı cam pencere için basit model“ adlı makalelerinde, havanın akışının zorlandığı bir boşluğun bulunduğu iki kat camdan oluşan havalandırmalı pencere ele alınmıştır. Sonuçlar, artan kütle akış oranının ortalama solar ısı kazanımını ve perdeleme katsayısını azalttığını gösterirken, hava giriş ısısı artışının pencere termal performansını saptırdığına işaret etmişlerdir.

Gail S.Brager, Gwelen Paliaga (2004) “Pencereler, kişisel kontrol ve kullanıcı konforu“ adlı makalelerinde ASHRAE RP-1161’in ofis ortamında kullanılan pencerelerin bireysel kontrolünün, yerel termal koşulları ve kullanıcı konforunu nasıl etkilediğini araştırmışlardır.

Veriler, değişen düzeylerde kişisel kontrol düzeyine sahip kullanıcıların; aynı termal ortamda, sabit giyim ve etkinlik düzeyinde olmalarına karşın farklı yanıtlar verdiklerini ortaya koymuştur. Bulguları , termal konforun uyarlanabilir modelinde artan beklentilerin rolüne dair daha fazla deneysel desteğin sunulması gerektiğine işaret etmektedir.

Betül BEKTAŞ ve Teoman AKSOY (2005) “Soğuk İklimlerdeki Binalarda Pencere Sistemlerinin Enerji Performansı” adlı makalelerinde, farklı cam ünitelerinin kullanıldığı konutlarda değişik pencere yönlerinin ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışma, soğuk iklim bölgesinde yer alan Elazığ’da örnek bir konut için TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardındaki hesaplama yöntemiyle yüürütülmüştür. Sonuçta; uygun yönlenme ve cam ünitelerinin kullanıldığı durumlarda; ısıtma enerjisi ihtiyaçlarında ve maliyetinde % 20 ile % 30 arasında fayda sağlanabildiği saptanmıştır

Gan (2000)’de “Bir pencere açıklığı ile tek yönlü doğal olarak havalandırılan bir odadaki taze hava dağılımının incelendiği” adlı makalesinde, tek pencereli bir odada, pencere boyutlarını değiştirilerek, sadece bouyancy etkileri ile taze havanın oda içine yayılma derinliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanda “k-ε” türbülans modeli kullanılmıştır. Etkin derinliğin, oda ısı kazançları ile birlikte mekanın boyutlarından ve dış ortam sıcaklığından etkilendiği saptanmıştır.

Ji ve ark. (2005) “CFD ile bir atrium ile bağlantılı tek odalı bir alandaki doğal havalandırmanın incelenmesi” adlı makalede, gerçekleştirilen deney sonuçları analitik model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. CFD modeli ile hava akışı, sıcaklık dağılımı,

ventilasyon akış oranları tahmin edilmiş, bulunan sonuçların analitik ve deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Phaff ve Gids, (1980) “Bir odanın doğal havalandırılması analizi” adlı makalelerinde, sıcaklık ve rüzgar etkilerini analiz etmek için izli gaz tekniğini kullanılmış, geniş bir pencerenin içinden geçen havalandırma debisini etkileyen, rüzgâr ve yükselme etkileri (buoyancy) incelenmiştir. Sonuçta ampirik bir model geliştirilmiştir ve rüzgârın, sıcaklığın ve türbülansın, tek taraflı havalandırma üzerindeki etkileri formülize edilmiştir.

Bu çalışmalarda ;

Genelde araştırmalarda tek pencere veya tek yönlü havalandırmalı pencereler kullanılarak, hacimlerin ısıl performansları tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunu yaparken pencere boyutları değiştirilerek, mekanın ısıl performansı, solar enerji kazancı veya hava değişim miktarları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bir grup çalışmada ise tek taraflı havalandırmalı pencereler ile havalandırılan mekanlardaki CO_2 ve toz kirleticilerin miktarları hesaplanmıştır.

Çalışmaların genelinde ise normal pencereler kullanılarak, bazı yazılım programları yardımı ile odaların ısıl performans, taze hava, hava akışı veya CO_2 gibi kriterlerinin değişimi incelenmiştir. Bu çalışmalar yapılırken farklı iklim koşulları, farklı boyutlar ve faaliyet konuları ele alınmıştır.

Bu tez çalışmasında ise ilk defa çift yönlü havalandırmalı pencere ve fan destekli pencere kullanılarak, (tek ve birlikte ayrı ayrı ele alınarak) ofis yapılarında mekan içindeki insan ve makine verileri de dikkate alınmak sureti ile; ısı, nem, hava hızı, CO_2 ve toz kirleticileri dikkate alınarak, insan memnuniyeti ve iç hava kalitesi standartlarına göre değerlendirmesi yapılmıştır.

2. İÇ HAVA KALİTESİ

En önemli yaşam maddelerinden biri olan hava olmadan bir insan ancak üç beş dakika yaşayabilir. Ortalama yapıda olan bir insan normal şartlarda, 24 saatte 10-25 kg arasında havayı teneffüs etmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle içinde bulunulan kapalı ortamdaki havanın kaliteli olması önem kazanmaktadır. İnsanlar günümüzde geçerli olan iş yaşantısı ve sosyal etkinlikleri nedeniyle günün %80-90'nı gibi büyük bölümünü kapalı ortamlarda geçirmektedirler(Özcan, 2008).

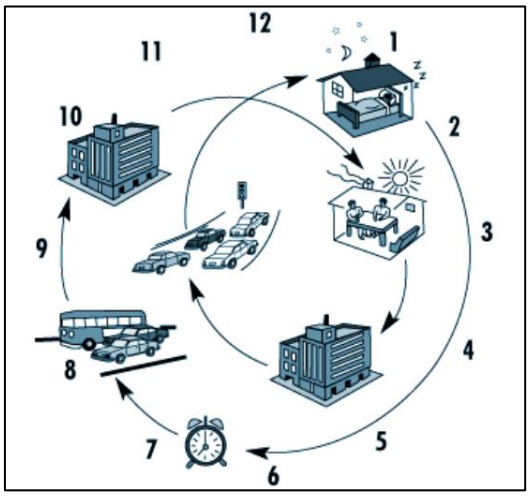
İnsanların yaşadıkları ortamdaki teneffüs ettikleri havanın; yeteri kadar taze, temiz ve sağlığını olumsuz etkilemeyecek nitelikte olması gerekmektedir. İç ortam hava kalitesi; rahat, konforlu ve sağlık sorunlarına neden olmayan havanın niteliği olarak açıklanmaktadır. İç ortam hava kalitesi ve hasta bina sendromu kavramı ilk olarak 1890'li yıllarda, petrol krizi ile ifade edilmeye başlamıştır. İç ortam hava kalitesinin ölçütü olarak standartlarda en çok kullanılan kriter, taze hava miktarı veya hava değişim katsayısıdır. Bu kriter genellikle iç ortamdaki kirlilik kaynaklarını dikkate almadığı için zayıf bir gösterge olarak kabul edilebilir (Alan ve Tercan, 2013).

Gunumuzde doğal çevreden gittikçe kopan insanlar, kentlerde, yapılar ve kapalı mekanlarla sınırlanan yapay çevrede hayatlarını sürdürmeye ağırlık verdikleri oranda sağlık sorunları yaşamaya başlamışlardır. Bunun sonucunda, yapay çevreyi ve bu çevrenin insan sağlığına olan etkilerini araştıran ve hedefi bu bilgileri yapıya aktarmak olan ‘‘yapı biyolojisi’’ bir bilim dalı olarak önem kazanmaya başlamıştır (Akman, 2005).

Günümüzde yapı içinde yaşamaktan kaynaklanan rahatsızlıklarının büyük bir kısmı iç hava kalitesinden kaynaklanmakta ve bu sebeple HVAC endüstrisinin üzerinde çalıştığı konulardan biri olmaktadır. İç hava kalitesi ASHRAE 62–1989 standartlarına göre;

“İçinde bulunan kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konstrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve insanların %80 veya daha üzerindeki orandaki hava kalitesiyle ilgili olarak memnuniyetsizlik hissetmediği havadır.” şeklinde açıklanmaktadır.

İnsanlar, barınma, eğitim, çalışma ve çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yaşantılarının %90 gibi büyük bir kısmını yapılar içerisinde geçirdiklerinden binalardaki hava kalitesi sağlığımız üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir.



Şekil 2.1. Günümüz çağında insanlar zamanlarının çoğunu kapalı mekanlarda geçirirler

2.1. İç Hava Kalitesi Kavramı

İç ortam kalitesi insanların vakitlerinin büyük bölüümünü geçirdikleri iç mekanda kendini sağlıklı ve rahat hissettiği ortamların sağlanması olarak tanımlanabilir. İç ortam hava kalitesinin amacı ise; yapı içindeki havayı kirletici etkileri azaltmak, ısı konforunu oluşturmak, sağlıklı ve temiz bir hava elde etmek ve bunların sağlanması için kontrol sistemleri geliştirmektir. Yapı içinde iç hava kalitesi dolayısıyla bireylerin sağlıklarını ve psikolojilerini maksimum seviyede tutup bireylerin aktivitelerini rahatlıkla yerine getirmelerini sağlamaktır.

Karbondioksit, renksiz, kokusuz ve zehirli olmayan ve vücudumuzun ürettiği bir gazdır. Soluğumuzda 38.000 ppm karbondioksit mevcuttur. Karbondioksitin iç mekânlardaki kaynağını solunum veya açık ateş oluşturmaktadır.

Ortalama bir İnsan bir saniyede yaklaşık 0,005 litre karbondioksit üretmektedir. Bu nedenle karbondioksit, mekan içindeki insan sayısının sınırlandırılması için bir kriter olarak kullanılabilir. İnsanlar için gerekli olan taze hava miktarının saptanabilmesi amacı ile 1836'da Tredgold, maden işçileri üzerinde yaptığı deneylerde, insanın metabolik olarak ihtiyacı olan taze hava miktarını kişi başına 2,5 L/s olarak saptamıştır. 20. yüzyıl başlarında

yapılan kapalı oda deneylerinde, insanların 10.000 ppm gibi karbondioksit oranlarını tolere edebildiklerini saptamıştır.

2.2. İç Hava Kalitesinin Önemi

Yetişkin bir insanın yaşamını normal sürdürebilmesi için 24 saatte yaklaşık 15 kg sağlıklı ve temiz havaya ihtiyacı olduğu araştırmalarla tespit edilmiştir (Bulgurcu, 2018).

Yapılarda yürütülen bazı faaliyet veya maddelerden oluşabilen kimyasallar birçok hastalığa neden olubilirken, diğer yandan öksürük, baş ağrısı, baş dönmesi gibi rahatsızlıklara sebep olabilmektedir. Konutlarda; soba, şofben gibi ısıtma sistemlerinin neden olduğu zehirlenme ve ölüm olaylarıyla sık sık karşılaşılmaktadır.

Hava kirlenmesi sorunu, birçok gaz kirletici için aynı zamanda koku kaynağı olma anlamına da gelmektedir. Bu kirleticiler İç ortamda, formaldehit gibi koku eşik seviyesi yüksek olan (61,2 mg/m3) maddeler de üretebilmektedirler.

Diğer kirleticiler; yapı malzemeleri, sigara ve benzeri maddeler, ev eşyaları, klimalar gibi iç hava kalitesini etkileyen kaynaklardır. İç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesi ve çevresel olumsuz etkilerin azaltılması; insanların sağlığını, çalışma verimini doğrudan etkilemektedir.

Isıtma Havalandırma ve Soğutma Sistemleri (HVAC-Heating Ventilating and Air Conditioning)'nin üzerinde çalıştığı iç hava kalitesi, aynı zamanda yapıların sürdürülebilirlik kalitesi ve kullanımıyla ilgili kriterleri ile ilgilidir. HVAC enerji tüketiminin belirlenmesinde etkili faktörler aşağıdakiler gibidir.

A. En uygun iç hava kalitesi ve ısıl kalite
B. Çeşitli ekipmanlarla mekânda üretilen ısı
C. Yapının konum ve niteliği

İç mekanda hava kalitesini sağlayabilmek için ASHRAE 62.1-2010 Standartı bazı kriterler ortaya koymaktadır. İç mekan için belirlenen bu kriter ve değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. ASHRAE standartlarına göre bazı iç mekan değerleri ve gereksinimleri

Mekanı ısıtmada	20-22 °C
Mekanı soğutmada	24-26 °C
İç yüzey sıcaklığı	17-19 °C
Döşeme sıcaklığı	18-20 °C
Tavan sıcaklığı	18-20 °C
Hava hızı	≤ 0.2 m/s
Bağıl hava nem oranı	% 40-60
Düşeyde sıcaklık farkı	≤ 3 °C

Tabloya ek olarak iç hava kalitesi sağlamak için aşağıdaki kriterlerin ele alınması önemlidir.

A. Kullanıcılara uygun hava debisinin belirlenmesi,
B. CO_2 seviyesinin belirlenmesi ve kontrolaltına alınması,
C. Dış havanın filtrelenmesi ve temizlenmesi,
D. Havalandırma sistemi verimliliği,
E. Kişiselleştirilmiş havalandırmanın sağlanması.

2.3. İç Hava Kalitesinin İnsanlar Üzerindeki Etkileri

İç hava kalitesi mekan içinde dolanan havadaki, insanın rahatlık ve sağlığını etkileyen tüm krıterleri kapsar. Farklı ve düzeyleri sürekli değişen bir takım etkenlerin etkileşimi sonucu oluşmasından dolayı tam olarak tanımlanamayan iç hava kalitesi genel olarak "Normal koşullarda belli karışımlara sahip olan ve içinde insan sağlığı için zararlı madde içermeyen hava" olarak tanımlanmaktadır.

İnsanlar iç mekanda çeşitli kirleticilere maruz kaldıklarında, çeşitli rahatsızlıklara sahip olmaktadırlar. Bunlardan başlıcaları Hasta Bina Sendromu, Kawasaki Sendromu ve Kötü Koku Sendromu'dur. Bu tüğr hastalıklar insanlarda çalışma verimi düşüklüğüne veya uzun süreli hastalıklara hatta ölümlere neden olmaktadır.

Hasta Bina Sendromu belirtisi olan başlıca rahatsızlıklar; baş dönmesi baş ağrısı, , burunda olusan akıntılar, midede bulantı, solunum ve konsantrasyon bozukluğu, gözlerde, yüzde ve ciltte meydana gelen kaşıntı ve yanma olarak sıralanmaktadır (Alptekin, 2007).

Çizelge 2.2. İç hava kalitesi ile ilgili standartlar ve önerdikleri sınır değerler

Uluslararası standart	CO_2	Partikül madde	Bağıl nem	Sıcaklık	Hava Hiz
ABD ASHRAE	800 ppm	PM10<150 µg/m3 24 saat	%30-60	20-25°C	≤ 0.20 m/s
ALMANYA German Environment Agency	1000 ppm	PM10<100 µg/m3 24 saat	%30-70	20-26°C	
EPA	1000 ppm	PM10<150 µg/m3 24 saat	30~60	22.77~26.66	-
Çin- Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardı	623 ppm	PM10<150 µg/m3 24 saat	40~80	22~26 C	<0.30
WHO		PM10<50 µg/m3 24 saat	≤60	18–24	-
Avrupa Birliği	< 830 ppm	PM10<50 µg/m3 24 saat	%30-70	19 ~ 24	0.15 to 0.30 m/s
Hong Kong Environmental Protection Department	800ppm (1. Düzey) 1000ppm (2.düzey)	PM10<100 µg/m3 24 saat	%40-70	20-25.5˚C	-

2.4. Uluslararası İç Hava Kalitesi Kriter ve Standartları

2.4.1. ASHRAE 62.1-2007 standardı

ASHRAE 62.1-2007 standardı 189.1, 62.1 Standardının tanımlkadığı minimum gereksinimleri kabul edip, ek olarak iç mekana alınana dış hava oranının standartta belirtilen oranları aşması durumunda, nem ve filtreleme açısından ilave kriterler getirmiştir. Ayrıca, kullanım yoğunluğunun farklılık gösterdiği mekanlardaki minimum dış hava gereksinimlerinde ek kriter olarak debi ayarları ve şartlandırma konularını getirmiştir.

Standart 189.1 Standardı içerdiği kriterler ile enerjinin yanı sıra, bina yerleşim yeri, tasarımı, inşaat eylem planları, çevre sorumluluk bilincini oluşturma, kaynak verimliliği, kullanıcı konforu, toplum duyarlılığı, sürdürülebilir gelişme gibi konularda iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

Bir mekanda ihtiyaç duyulan taze hava miktarı ASHRAE Standardı 62.1-2010 ‘a göre aşağıdaki bağıntılar ile tarişflenmektedir.;

$Vbz=Rp\times Pz+Ra\times Az$

Vbz: Taze Hava Miktarı

Rp: Kişi başı dış hava gereksinimi

Pz: Mahaldeki kişi sayısı

Ra: Birim alan için dış hava gereksinimi

Az: Mahal taban alanı

$Voz=VbzEz$

Voz: Mahal dış hava miktarı

Ez: Mahal hava dağılım verimliliği

İhtiyaç duyulan taze hava miktarı Vbz: 172,2 ls

Eğer tavan ya da tavana yakın yerden ılık hava üflemesi, tavandan emiş yapılırsa Ez=0,8alınır. Bu yüzden;

Mahal dış hava miktarı Voz: 215 ls

Birim çevrimi sonucunda Voz: 774 $m3h$≅800 $m3saat$

Üretim Alanlarında saatte hava değişim miktarı 15 olmalıdır.

2.4.2. BREEAM iç hava kalitesi kriterleri

BREEAM Yeşil Bina Değerlendirme Sistemleri Kapsamında İç Hava Kalitesi önemli bir ana başlık olarak yer almakta olup bu konuyu üç ayrı grupta incelemektedir. Bunlar ;

1) Hava kirliliği kaynaklarının en aza indirilmesi (3 puan)
2) Doğal havalandırma kapasitesi (1 puan)
3) Laboratuvarta kullanılan çeker ocakları ve kapsadıkları alanlar (2 puan)

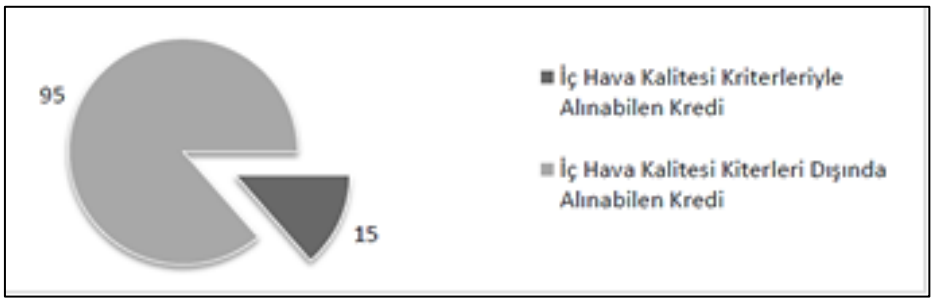
Bu başlıklar altında yer alan konulardan puan alma zorunluluğu olmayıp, kriterin amacı, doğal olarak havalandırmadaki hava akımı ile klima ile/mekanik havalandırmanın doğal havalandırma ile desteklenmesi konuusunda farkındalık yaratmadır. Binaların doğal havalandırma stratejisi ile taze hava alması iki yolla sağlanır;

A.İlk yol havalandırmanın sağlandığı pencere alanının iç döşeme alanının % 5'i kadar olmasıdır.

B.İkinci yol ise havalandırmanın araç kullanılarak sağlanmasıdır. Bu sayede doğal havalandırma yöntemi ile sağlanan ısıl konfor koşulları ve havalandırma oranları, araç kullanarak sağlanan çapraz hava akımı ile sağlanabilmektedir. Burada kullanılan havalandırma aracının CIBSE Applications Manual 10: 2005, Natural Ventilation in Non-domestic Buildings ile uyumlu olması gerekmektedir.

2.4.3. LEED iç hava kalitesi kriterleri

LEED sertifika sisteminde; İç hava kalitesi başlığı altında öncelikle 2 önşartın sağlanması gerekmekte, daha sonra 15 ana başlık altında (Çizelge 2.3) toplam 15 kredi verilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. İç hava kalitesi kriterleriyle alınabilen kredi grafiği

Çizelge 2.3. İç hava kalitesi kriterleri kredi analizi

Önşart	Zorunlu	İç Ortam Hava Kalitesi Performansının Optimize Edilmesi Havalandırma sisteminde ASHRAE 62.1-2007 standartlarının 4.,5.,6.,7. bölümlerindeki minimum şartlara uyulması ve doğal havalandırma yapılıyorsa ASHRAE 62.1-2007 standardının 5.1. bölümündeki şartlara uyulması gerekmektedir.
Önşart	Zorunlu	Sigara Dumanı Kontrolü Bina kullanıcılarını, havalandırma sistemlerini ve iç mekânları sigara dumanı etkisinden uzak tutmak amacıyla bina girişlerine en az 25ft (8m) uzakta sigara içilmesine izin verilmesi veya bina içinde özel havalandırma sistemi kullanılan sigara odaları oluşturulması gerekmektedir.
EQc1	1 Kredi	Dış Ortamdan Giren Havanın İzlenmesi Bina kullanıcı veya çalışan konforunu ve memnuniyetini sağlamak amacıyla iç ortamdaki CO_2 ve hava akımını ASHRAE 62.1-*2007* standardına uygun ölçen ve acil durumlarda uyaran sistem kurulmalıdır.
EQc2	1 Kredi	Arttırılmış Havalandırma İç ortam hava kalitesini, bina kullanıcı ve çalışanlarının sağlığını, konforunu ve verimliliği arttırmak amacıyla ASHRAE 62.1-2007 standardında belirtilen değerden %30 daha fazla taze hava girişi sağlanmalıdır.

Çizelge 2.3. (devam) İç hava kalitesi kriterleri kredi analizi

EQc3.1	1 Kredi	İç Ortam Hava Kalitesi- İnşaat Sürecinde İnşaatta çalışanların ve bina kullanıcılarının inşaat sırasında oluşan hava kirliliğinden etkilenmemeleri için, SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) prensiplerine uygun olarak "İç Hava Kalitesi Planı" oluşturulmalıdır.
EQc3.2	1 Kredi	İç Ortam Hava Kalitesi- Kullanım Öncesi İnşaat sürecinin bitiminden sonra binaya kullanıcılar yerleşmeden önce binanın tamamen temizlenmesi gerekmektedir. Yerleşmeden önce havadan alınan numunelerdeki formaldehit, partikül, VOC (Uçucu Organik Madde), 4-Phenylcyclohexene, karbonmonoksit değerlerlerinin maksimum değerin altında çıkmasıyla 1 kredi alınabilmektedir.
EQc4.1	1 Kredi	Düşük Salımlı Malzemeler- Yapıştırıcılar İç ortamda kullanılan yapıştırıcı ve dolgu malzemelerinin içindeki VOC değerleri belirtilen limiti aşmamalıdır.
EQc4.2	1 Kredi	Düşük Salımlı Malzemeler- Boya ve Kaplamalar İç ortamda kullanılan boya ve kaplamaların içeriklerindeki VOC değerleri belirtilen limiti aşmamalıdır.
EQc4.3	1 Kredi	Düşük Salımlı Malzemeler- Yer Kaplamaları İç ortamda kullanılan yer kaplamalarının içeriklerindeki VOC değerleri belirtilen limiti aşmamalıdır.
EQc4.4	1 Kredi	Düşük Salımlı Malzemeler- Kompozit Ahşap İç ortamda kullanılan kompozit ahşap ve lifli malzemelerin kullanıldığı ahşap ürünlerde yapıştırıcıların forma dehit içermemesi gerekmektedir.
EQc5	1 Kredi	İç Ortam Kirletici Kaynağı Kontrolü Sağlığa zararlı kimyasal maddelerine partiküllerin bulunduğu temizlik odası, fotokopi odası, çamaşırhane, garaj, tamirhane gibi mekânlara uygun havalandırma sistemi ve filtreler kullanılmalıdır.
EQc6.1	1 Kredi	Sistemlerin Kontrolü- Aydınlatma Çok sayıda kullanıcısı olan mekânlarda kullanıcı verimi ve konfor düzeyini arttırmak için kullanıcıların %90'ının kendi tercihleri ile aydınlatmayı kontrol edebilir olması gerekmektedir.
EQc6.2	1 Kredi	Sistemlerin Kontrolü- Termal Konfor Çoklu kullanıcıların bulunduğu mekânlarda kullanıcıların en az %50'sinin sıcaklık, hava sirkülasyonu, taze hava miktarı gibi konularda ayarlama yapılabilir olmalıdır.
EQc7.1	1 Kredi	Termal Konfor- Tasarım İç mekân hava termal konforunun (ısıtma, soğutma, havalandırma) ASHRAE 55 standartlarına uygun olması gerekmektedir.
EQc7.2	1 Kredi	Termal Konfor- Doğrulama Bina kullanılmaya başlandıktan sonra 6-18 ay içinde termal konforun sağlandığının doğrulanması, eğer kullanıcılardan %20'si memnun değilse gerekli önlemlerin alınması halinde 1 kredi alınabilmektedir.
EQc8.1	1 Kredi	Günışığı
EQc8.2	1 Kredi	-
Toplam	15 Kredi	-

İç hava kalitesinin performansı kriterinin amacı; binalardaki iç mekân hava kalitesinin ulaşılması için minimum performansın saptanmasıdır. Bu amaçla ASHRAE 62.1-2007 standardını baz alır ve Kullanım Kılavuzu'na yönlendirir.

2.4.4. GREEN STAR iç hava kalitesi kriterleri

Green Star SA derecelendirme araçlarının İç Mekan Çevresel Kalite Kategorisi, bina sakinlerinin refahını hedefleyen Kredilerden oluşur. Krediler, ısıtma ve soğutma sistemlerinin, aydınlatmanın, iç mekan hava kirleticilerinin ve bazı bina özelliklerinin daha sağlıklı bir iç ortam kalitesine nasıl katkıda bulunduğunu ele alıyor. İç mekanda uçucu organik bileşiklerin, asbest ve formaldehit emisyonlarının en aza indirilmesi ve havalandırma gibi sağlık sorunları bu kategoride ele alınmaktadır.

2.4.5. CASBEE iç hava kalitesi kriterleri

İç ortam ile ilgili standartların karşılanıp karşılanmadığını belirlemek için değerlendirme yapılır**.** Örneğin, gün ışığı, doğal havalandırma ve dış görünümün işlevselliği değerlendirilir.

1. Sağlık kontrol standartları, sağlık standartları ve sigara içme alanı ayrı etki değerlendirme standartları (ön koşul) Sağlık kontrol standartlarının yapılıp yapılmadığı,
2. Gün ışığı kullanılması: Bir tablo kullanarak basitleştirilmiş hesaplama ile gün ışığı faktörünü belirleyin ve sonuçları değerlendirin (mevcut CASBEE standardı).
3. Doğal havalandırma: Değerlendirme taban alanı ile ilişkili olarak, olası açılış hacmine göre yürütülür. (mevcut CASBEE standartları).
4. Algılanan alan ve görünüme erişim: Değerlendirme, tüm işçilerin dışarıyı görebileceği pencereler olup olmadığına göre yapılır (mevcut CASBEE standartları). Çevresel Yük ve Çevresel Kalitenin Değerlendirilmesi Düşük karbonlu bir toplum oluşturmak ve bu topluma ulaşmak için, şehrin faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan Çevresel Yükün değerlendirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, kentteki Çevre Kalitesi de sosyoekonomik faaliyetler olarak değerlendirilmeli ve Çevresel Yükün azalması sonucunda vatandaşların yaşam kalitesi zarar görmemelidir. Çevresel Yük ve Çevresel Kalitenin her biri üç ana değerlendirme kategorisinden oluşur.

2.4.6. WHO iç hava kalitesi kriterleri

İnsanlar iş yerinde veya evde önemli miktarda zaman geçirdiklerinden, iç mekan hava kalitesi genel sağlık durumlarında önemli bir rol oynar. Bu özellikle çocuklar, yaşlılar ve diğer savunmasız gruplar için geçerlidir.WHO/ Avrupa koordinasyonu altında geliştirilen WHO iç mekan hava kalitesi kılavuzları, halk sağlığı ile en çok ilgili olan üç grup konuyu ele almaktadır:

1) Biyolojik iç mekan hava kirleticileri (nem ve küf)
2) Kirletici maddeye özel yönergeler (kimyasal kirlilik)
3) Yakıtların iç mekanda yanmasından kaynaklanan kirleticiler (WHO, 1989).

2.4.7. OSHA iç hava kalitesi standartları kriterleri

OSHA 3430 standardı iç hava kalitesini aşağıdaki başlıklarda ele almıştır.

1. Binanın yerleşim bölgesi ve kötü dış hava kalitesi: Binanın yerleşim yeri iç hava kirleticileri üzerinde etkili olabilir. Otoyollara veya endüstriyel bölgelere yakın binalardaki tanecik ve kimyasal sorunları gibi.
2. Binanın dizaynı ve yapımı: Çatılar, cepheler ve pencere ve kapı açıklıkları gibi yapı elemanları kirleticilerin iç mekana giriş noktalarıdır. Dış hava alma menfez ağızları eğer kirletici kaynaklarına yakın açılmışlarsa, kirleticileri yapı içine girişine veya egzozla dışarı atılan pis havanın tekrar içeri alınmasına neden olurlar.
3. Kabul işleminin eksikliği: Projeye uygun üretilmeyen veya kabul işlemlerinde tespit edilmeyen sistemler iç hava kalitesinden ödün verimesine neden olmaktadır.
4. Bina içinde nem: Nem sorununun büyük bir kısmı bina kabuğundan kaynaklanır. Bina içi nem hareketlerinin iyi anlaşılması ve bina tasarım buna göre yapılması önemlidir.
5. Bina sistemleri dizayn ve bakımı: HVAC sistemleri uygun çalışmadıkları zaman bina negatif basınca düşebilir. Bu durumda bina dışı kirleticiler bina içine sızarlar. HVAC sistemleri ihtiyacı karşılayacak şekilde seçilmelidir.
6. Havalandırma sistemlerindeki nem ve kir: Havalandırma sistemlerinde kirlilik suyunun filtrasyonun iyi yapılamaması ve atıkların uygun yöntemle tahliye edilememesi soruna neden olmaktadır.

7. Etkisiz filtreleme ve hava temizleme: Dış hava kalitesinin iyi olmadığı durumlarda Filtreleme ve hava temizleme önem kazanmaktadır. Filtreleme ve hava temizlemenin yetersiz kaldığı durumlarda sorunlar yaşanmaktadır.
8. Yetersiz havalandırma miktarları: Yetersiz havalandırmanın başlıca nedenleri; standartlara uymama, yapım ve işletim problemleri, hacimlerin düşünülenden farklı işlevde kullanımı olabilmektedir. Bu konuda hava dengelemesinin dikkatlice ele alınması gereklidir.
9. Yenileme aktiviteleri: Boyama ve diğer yenileme çalışmalarında kullanılan yapı malzemelerinin toz veya diğer yan ürünlerinin kirletici olabileceği dikkate alınmalıdır.

2.4.8. EPA ve ACGIH iç hava kalitesi kriterleri

İç Hava Kalitesi Uluslararası Standart değerleri Çizelge 2.4'de verilmektedir. (PM2.5 için yayınlanmış olan (EPA, ACGIH, Health Canada) ve İş sağlığı Standart değerleri (OSHA)

Çizelge 2.4. Uluslararası iç hava kalitesi / iş sağlığı pm2.5 standartları ve rehber sınır değerleri

İç hava Kalitesi Parametresi	Limit Değerler (µg/m3)	Ortalama Zaman	Kaynak
PM2.5	65	24 saat	EPA
	5000	8 saat	OSHA
	3000	8 saat	ACGIH
	100	1 saat	HC

2.5. İç Hava Kalitesinin Kriterleri

2.5.1. Havanın izafi nem oranı

Düşük izafi nem burun mukozasında ve boğazda, deri ve saçlarda kurumaya sebebiyet verirken, istenmeyen zararlı zerrelerin vücuda girmesine neden olabilmekte, yüksek izafi nem oranı ise patojenik ve alerjik organizmaların üremesine neden olurlar.

Bu nedenden dolayı izafi nemi %40 ile %60 arasında tutmak, nemlendirme ile nem alma sistemlerinin mantar ve bakteri üremesini önlemek için temiz tutulmasıu önemlidir.

ASHRAE havanın izafi nem oranı

ASHRAE'e göre, hastanelerin içerisindeki birçok alanın 20 °C ve 25 °C (70 °F ile 75 °F arasında) arasındaki sıcaklıklarda % 30 ile % 60 bağıl nemde tutulması gerekmektedir.

BREEM'de havanın izafi nem oranı

Yüksek bağıl nem, küf oluşumuna ve solunum yolu hastalıklarına ve alerjilere yol açabilir. Düşük nem, boğaz ve gözlerin kurumasına neden olabilir. Bu konuda CIBSE,2006'ya referans verilmektedir.

2.5.2. İç sıcaklık ve bağıl nem

Çalısma ortamının ısıl sartları, insanların zihinsel ve bedensel üretim hızı üzerinde etkili olmaktadır. Soğutma mevsimi şartlarında iç hava sıcaklığı daha çok dış sıcaklığa göre seçilirken, ısıtma mevsiminde iç ortam sıcaklığı mekandaki aktiviteye göre belirlenmektedir.

İç ortam sıcaklığı dolaylı olarak bağıl ne üzerinde de etkili olmakta ve birlikte düşünülmeleri gerekmektedir.

ASHRAE Standartlarına göre iç ortamdaki bağıl nem

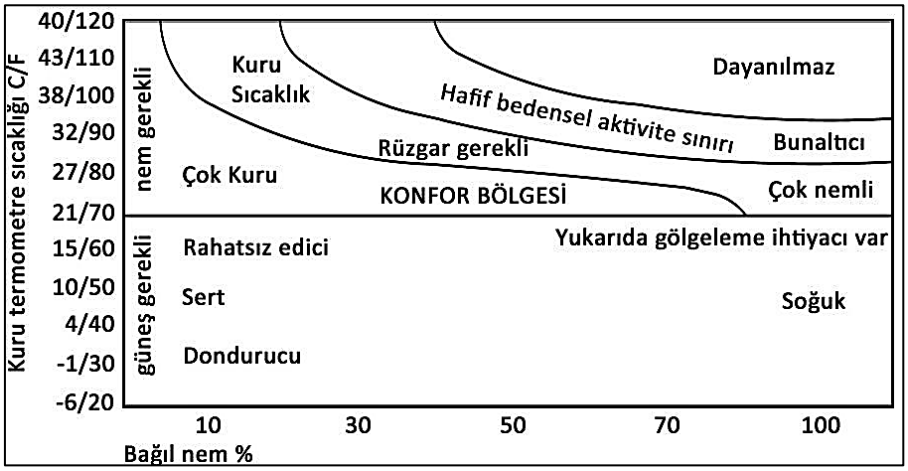
ASHRAE 55-1962 Standartına göre iç ortamdaki bağıl nem miktarı %30 ile %60 arasında olmalıdır. %45 civarında olması ise sağlık için en uygun oran olarak verilmektedir.

Nem seviyesi %35'in altına indiğinde göz, cilt ve solunum sorunları başlarken, tersine nem seviyesi yükseldikçe hissedilen sıcaklık da artmaktadır. Nem seviyesinin sürekli yüksek olması mantar ve bakterilerin çoğalmasına ve alerjik tozların üremesine sebep olmaktadır.

Ashrae'nin sıcaklık kriteri

ASHRAE, konutlarda oturma odası için iç hava sıcaklığı (salon) 22 oC, banyolar için 26 oC belirlenmistir. Diğer taraftan toplantı salonları için iç hava sıçaklığı 20 oC, okullarda ise (derslik ortamları için) 22 oC uygun değerler olarak verilmektedir. İç ortamdaki nem miktarı

ısıl konforun üzerinde etkili olmaktadır. Uygun sıcaklık-nem oranları şekil 2.3 de verilmektedir.



Şekil 2.3. Sıcaklık-nem oranları

2.5.3. İç hava kirleticileri

İç hava kirleticileri kapalı ofis ortamında kullanılan elektrikli aletlerden; yazıcılar, fotokopi makinesi, bilgisayar vb. gibi ya da döşem malzemeleri ve mobilyalar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kirleticilerin mekan içindeki oranları ve kullanıcıların bu havayı soluma süreleri çeşitli hastalıkların görülme oranını ile ilişkilidir.

Günlük çalışma süresi dikkate alındığında sözü geçen kirleticilere maruziyet büyük ölçüde solunum, sindirim ve termal yolla gerçekleşmektedir. Bir mekanda bulunabileçek başlıca kirleticiler aşağıda sıralanmıştır.

A. Sigara kokusu
B. Mantar
C. Buharlaşabilir Organik Bileşikler.
D. Haşere İlaçları
E. Nitrojen Oksitler
F. Carbon Monoksit (CO)
G. Carbon Dioksit (CO_2)
H. Radon
İ. Kurşun (Pb)

J. Azot oksitleri Ozon (O_3)
K. Ozon
L. Kükürtdioksi
M. Pestisitler
N. Toz
O. Formaldehit
P. Cıva
Q. Uçucu Organik Bileşikler (UOB)
R. Evsel Ürünler
S. Biyolojik Kirleticiler
T. Asbest
U. Partikül Madde

2.6. İç Ortam Hava Kirliliği Kontrolü

İç ortam hava kirliliğini kontrol etmek amacı ile üç ana yönteme başvurulduğu görülmektedir.

1) Kaynakta kontrol
2) Havalandırma sistemlerinin geliştirilmesi,
3) Hava temizleyicilerin kullanımı.

Kirliliği kaynağında azaltmak ve yok etmek kontrol yöntemlerinde en etkili olan başlıca unsurdur. Kirlilik yaratan malzemeyi değiştirmek bu manada önemli derecede etkilidir. Buna ek olarak dış ortamdan iç ortama karışan hava miktarının arttırılması da iç ortamdaki hava kirleticilerinin etkilerinin azaltılmasını sağlayacaktır. Ayrıca pencere ve kapıları açmak, pencere veya çatı fanları işletmek, hava şartları izin veriyorsa, dış ortam havalandırma oranını yükselterek pencere tipi klimaları çalıştırmak, kontrol alternatifleri olarak düşünülebilir. Hava temizleyicileri pek çok tipte ve büyüklükte bulunmaktadır. Bir hava temizleyicisinin verimliliği kapalı ortamdaki partikülleri ne kadar iyi topladığına ve temizleyici elemandan ne kadar hava çektiğine bağlıdır.

İç ortamda, ısıtma sistemleri, sigara içilmesi vb. yanma kaynaklı, kimyasallar (temizleyici maddeler, böcek öldürücüler) ve bina yapım malzemelerinden kaynaklanan kirliliği

araştırmak, muhtemel sağlık etkilerinin tahmininde bir gerekliliktir. Binalarda enerjinin korunması amacıyla alınan bir takım önlemler aynı zamanda iç ortamda zararlı etkilere sahip olan kirletici unsurların miktarını da arttırmaktadır. Bu nedenle alınacak tedbirlerin dengeli bir şekilde olması gerekmektedir .

İç ortam hava kirletici konsantrasyonlarının azaltılması ve iyi hava kalitesi elde edilmesi amacıyla başvurulabilecek 7 temel kontrol metodu bulunmaktadır.

A. Sorunu kaynağında çözmeye çalışmak,
B. Sorunlu alanlar için bölgesel havalandırmalardan yararlanmak,
C. Kirlenmiş havanın seyreltilmesi ve değiştirilmesi amacıyla dış ortam havasını kullanmak,
D. Maruziyet derecesini zaman ve kullanılan ürünlerin miktarı ve yerleşimini ayarlayarak kontrol etmek,
E. Havayı filtre etmek,
F. Kişileri iç ortam hava kirliliği konusunda eğitmek,
G. Yerleşim, planlama, yapım ve operasyon için bir iç ortam hava kalitesi koordinatörü atamak/görevlendirmek

Birçok durumda, iyi iç ortam hava kalitesi (İOHK) elde etmek için bu önlemlerin kombinasyonu kullanılmalıdır .

2.6.1. Sıcaklık ve nem kontrolü (ASHRAE)

Yüksek bağıl nem, sıcaklıkları gerçekte olduğundan daha yüksek olarak algılanmasına ve konforsuzluk yaşanmasına sebebiyet verir. ASHRAE'nin bu konuda geliştirmiş olduğu standart, insanların bulunduğu bölgedeki termal çevre koşulları (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) başlığı altında standart-55 ile tanımlanmıştır. Yapılan son araştırmalar, hissedilen havanın kalitesi ile gerçek hava kalitesinin, sıcaklık ve nem artışı ile birlikte ters orantılı olarak azaldığını göstermektedir. Uygun sıcaklık ve nem dengesi için Şekil 3.1'de verilmektedir.

2.6.2. Sigara dumanı kontrolü

Sigara dumanı kontrolü (LEED)

LEED sertifika sistemi kullanıcıların sigara dumanından etkilenmelerini engellemek amacı ile sigara içme alanlarının, havalandırma sistemlerinden ve bina girişlerinden en az 25ft (8m) uzakta olması gerektiği şartını getirmiştir.

Sigara dumanı kontrolü (CASBEE)

CASBEE Sağlık kontrol standartları, sağlık standartları ve sigara içme alanı etki değerlendirme standartlarını ayrı ayrı değerlendirmektedir. (ön şart)

Bina sağlığı kontrol standartlarının, ofis sağlık standartlarının ve ayrı sigara içme alanı etkisine ilişkin değerlendirme standartlarının sağlanıp sağlanmadığı belirlenir.

Sigara dumanı kontrolü (ASHRAE)

ASHRAE Standartlarında Duman kontrolü (duman, doğal havalandırma yollarını takip edebileceğinden, yangın güvenliği stratejisinin entegrasyonu, doğal havalandırma tasarımı ile entegre edilmelidir); sağlık ve güvenlik (birçok doğal havalandırma açıklığı, zemin seviyesinin üzerinde önemli bir yükseklikte olacaktır, bu nedenle bu açıklıklara / kontrol cihazlarına güvenli / kolay erişim tasarımda dikkate alınmalıdır).

2.6.3. Toz kontrolü

Toz kontrolü genel olarak 4 grupta toplanır.

A. Tozun oluşumunu engellemek veya havada asılı vaziyette bulunan toz zerreciklerini toplamak için ıslak sistemlerden yararlanmak.
B. Tozu altında tutmak için kapalı sistemler oluşturmak.
C. Tozu yönlendirmek için havalandırma sistemleri kullanılması.
D. Belirtilen sistemlerin birlikte kullanılması.

3. HAVALANDIRMA

3.1. Havalandırma Yöntemleri

Havalandırma yöntemleri hava hareketini sağlayan kuvvetlere göre üçe ayrılır:

A. Doğal havalandırma:

Havanın hareketi mekan içindeki havanın yenilenmesi sebebi ile oluşan sıcaklık farklarına ve rüzgar etkisine bağlıdır. (Baca ve rüzgar etkisi)

B. Doğal–mekanik havalandırma:

Rüzgar etkisiyle çalışan baca aspiratörlerinin içerideki havayı çekmesi ile oluşan havalandırmadır.

C. Mekanik havalandırma**:**

Vantilatör yardımı ile sağlanan havalandırma olup üç değişik yöntemi bulunmaktadır. • Mekanik girişli doğal çıkışlı (vantilatörlü)

Doğal girişli mekanik çıkışlı (aspiratörlü)

Mekanik giriş ve çıkışlı (vantilatör ve aspiratörlü)

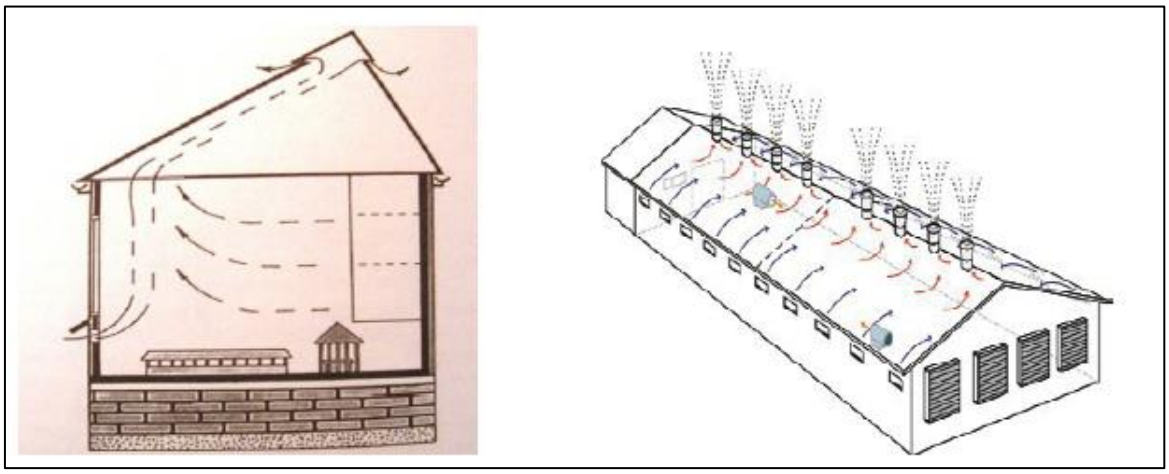
3.2. Doğal Havalandırma

Ortamda herhangi bir mekanik sisteme ihtiyaç duyulmadan, sıcaklık farkları ve rüzgar yönüne bağlı olarak havanın doğal olarak hareketlenmesi ile ortam havasının değişmesini sağlayan bir havalandırma tipidir. Genellikle iç ortam kirliliğinin düşük olduğu tesislerde tercih edilir.

Günümüzde büyük ofis binaları, hastaneler vb. gibi kalabalık ortamlarda, dış ortamdan iç ortama taze hava girisi genellikle mekanik yolla yapılmaktadır. Dogal havalandırma ise, çok

eski zamanlardan bugüne kadar kullanılan en etkili ve en çok bilinen havalandırma yöntemi olarak tanımlanabilir.

İnsanlar yaşamlarının büyük bir çoğunluğunu, iç ortamlarda geçirmektedirler. Sanıldığının aksine sigara dumanı, bakteriler, virüsler ve mantar gibi etkenler. Bu etkenler özellikle günümüzde çokça görülen, kalabalık ofis ortamlarında çalışanların performanslarının düşmesine ve hatta hastalıklarla karşılaşılmasına sebep olur. Bu nedenlerle, iç hava kalitesinin sağlıklı koşullarda tutulabilmesi için havalandırma yapılması gereği duyulmuştur (Tosun, 2006).



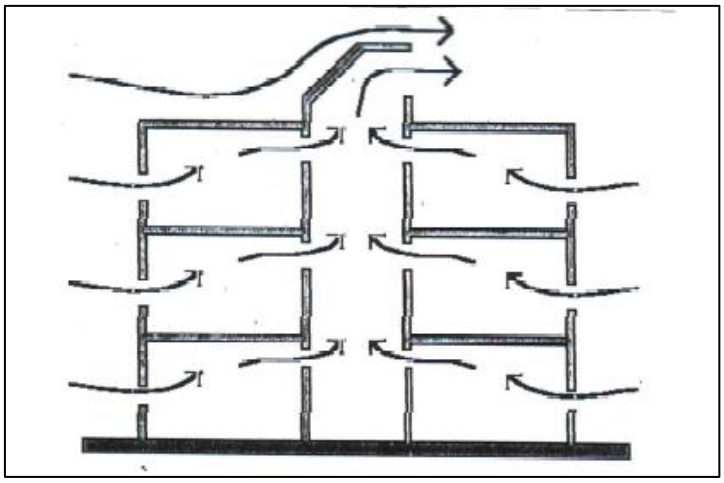
Şekil 3.1. Doğal havalandırma örnekleri (Ekmekçi, 2017).

Doğal yolla havalandırma yapabilmek için, basınç farkları yaratmak gerekmektedir. Basınç farkları ise, ısıl kuvvet ya da rüzgar etkisiyle oluşur. Bu etkilerle doğal havalandırma aşağıdaki üç yaklaşımla çözümlenebilir (Tosun, 2006).

- Isıl etkilerle
- Tek yönlü etkiyle
- Rüzgâr etkisiyle havalandırma

Isıl etkilerle havalandırma

Bu yöntemde taze hava, cephelerdeki açıklıklardan içeriye girerek iç ortamdaki sıcak havayı yogunluk farkından dolayı iter ve binanın üst bölgelerinde baca görevi gören açıklıklardan dışarı atar (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Isıl kuvvet etkisiyle doğal havalandırma

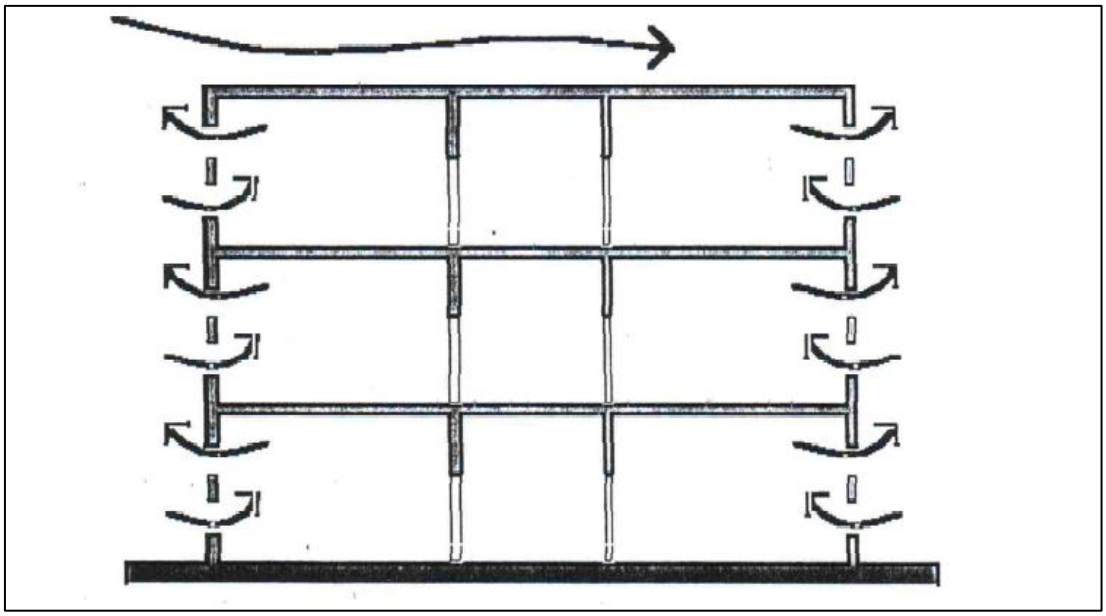
Açıklıklardan içeriye girerek iç ortamdaki sıcak havayı yogunluk farkından dolayı iter ve binanın üst bölgelerinde baca görevi gören açıklıklardan dışarı atar .

Sistemde iç hava akısı, baca görevi gören açıklıkla (atrium) saglanır. Ancak, bina mimarilerinde baca etkisi olusturacak yeterli alanlar bulunamaması ve cephe açıklıklarından baca çıkısına kadar olan kısımlarda, basınç kayıplarının yüksek olusu, bu sistemi dezavantajlı kılmaktadır.

Tek yönlü etkiyle havalandırma

Bu gibi sistemlerde, her mahal kendisi bagımsız olarak hava akısına maruz kalır. Taze hava girisi ve sıcak hava çıkısı aynı mahalden gerçeklestigi için, havalandırma miktarı genellikle az ve degisken olur (Sekil 3.3).

Ayrıca, bu sistemle sadece binanın dıs yüzeyindeki mahallerin havalandırılması, sistemin tercihin edilmesini sınırlayıcı bir etkendir.



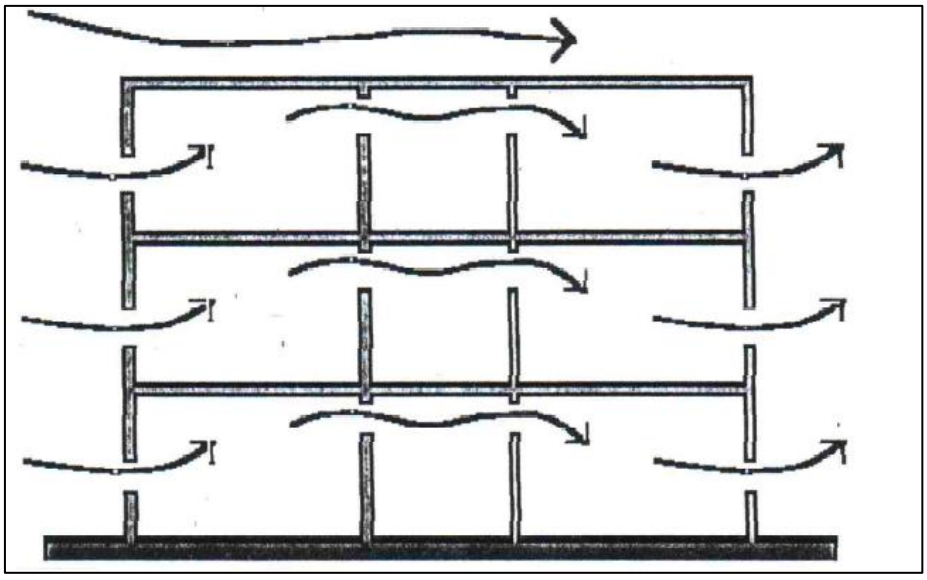
Şekil 3.3. Tek yönlü etkiyle dogal havalandırma

Rüzgar etkisiyle havalandırma

Doğal havalandırma uygulamalarında rüzgâr kuvvetinden yararlanabilmek için aşağıdaki etmenler dikkate alınmalıdır (Topaçoğlu, 2013).

a. Ortalama rüzgâr hızı,
b. Hâkim rüzgâr yönü,
c. Rüzgâr hızı ve yönünde mevsimlik ve günlük değişimler,
d. Bina yakınındaki doğal ve yapay engellerin rüzgârları etkileme durumu.

Böylece mahalde taze hava girisiyle birlikte, ısınan havanın atılması da saglanır (Sekil 3.4). Tasarım yapılırken, açıklıkların rüzgâr yönü dogru tespit edilerek ve mahal içerisindeki rüzgar dogrultusunda kayıpların en aza indirgenerek yapılması önemlidir.



Şekil 3.4. Rüzgar etkisiyle dogal havalandırma

3.2.1. Doğal çevre – doğal havalandırma ilişkisi

Dogal havalandırmanın saglanmasında etkili olan dogal çevre etmenleri;

1) Yönlenme
2) Hava hareketleri

Bu etmenler, yapının tasarlanacagı bölgenin iklim özelliklerine göre şekillenir.

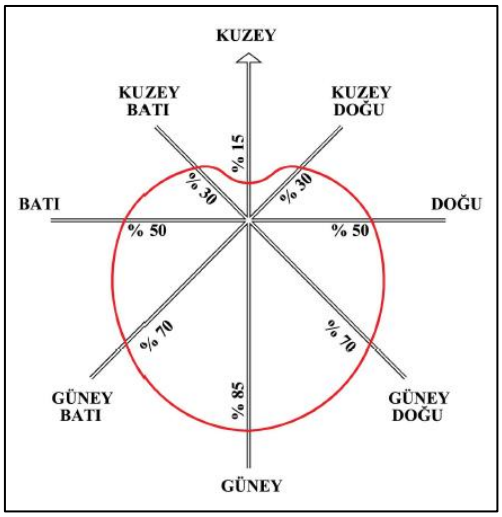
3.2.2. Yönlenmenin doğal havalandırmaya etkisi

Yapının yönlenmesinde dogal havalandırma açısından önemli özellikler, günes ısınımlarından yararlanma ve egemen rüzgâr etkisini kullanmadır (Doğan, 2008).

Etkin kullanılabilir havalandırma koşulları oluşturmanın en önemli ilkesi, bir odanın tüm bölümlerinde hava akımı oluşturmak gerektiğinde açılan kısımların her iki tarafta rüzgara ve arkası rüzgara dönük olmasıdır. Deneylere göre en uygun havalandırma, rüzgarın yönü pencere yüzeyine eğimli olduğunda yapılır.

Odaya rüzgara dönük olarak girer ve pencereden direkt olarak ve yönünü değiştirmeden çıkar yani bu durumda pencerenin bazı kısımları hava akışı yolunda olan oda. Hava akımından etkilenmezler, ancak rüzgar yönü rüzgara bakan pencereye doğru eğimli

olduğunda, odanın hemen hemen tüm bölümleri hava akımından ve rüzgardan dairesel bir hareketle, duvarlar boyunca ve kulaklar boyunca etkilenir. oda akışı, daha sonra istenen doğal havalandırma, oda içindeki hava akışının yönü değiştirildiğinde gerçekleşir, rüzgar girdikten sonra doğrudan arka pencereden dışarı çıkmaz.Böylece binanın yönü iklimlendirmede çok etkilidir. Şekil 3.5'te yönlere göre değişen güneslenme yüzdeleri görülmektedir. Yapının güney yönüne bakan cephesi %85 oranında günes ısınımı alırken, kuzey cephesi ise %15 oranında ısınım alır. Güneş ışığının yapı yüzeylerinde yutularak ısıya dönüşmesinde yapı yüzeyine geliş doğrultusu etkilidir. Işığın yapı yüzey normali ile yaptıgı açı küçüldükçe yutulan ısık artar. Bu açı büyüdüğünde yutulan ışık azalacağından yüzey sıcaklığındaki artış az olur.

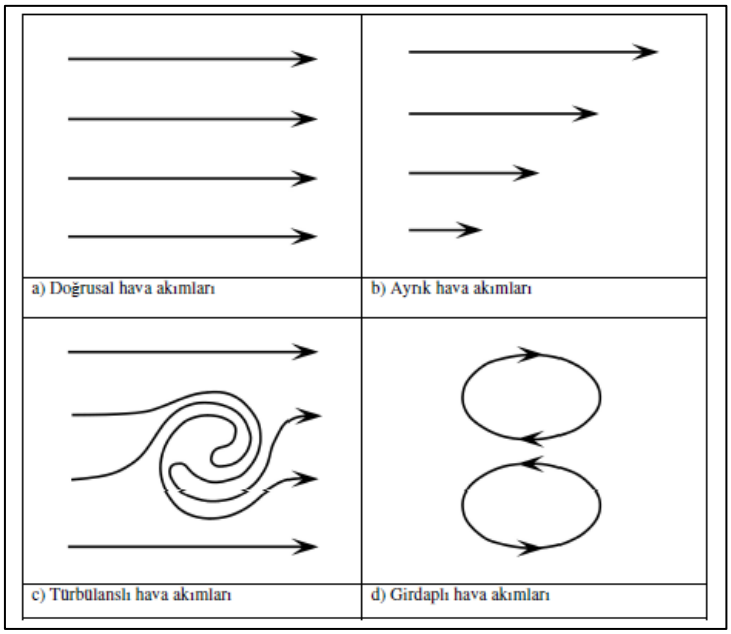


Şekil 3.5. Yönlere göre güneşlenme yüzdeleri

3.2.3. Hava hareketlerinin doğal havalandırmaya etkisi

Hava hareketleri ısısal ya da dinamik kökenli basınç sistemi; dünyanın dönmesi ile olusan "koriolis", yeryüzü pürüzlülügü ile olusan "sürtünme", düşey sıcaklık gradyanı nedeniyle olusan "yüzdürme" ve havanın akıskanlıgı ile baglantılı "viskozite" kuvvetleri ile olusmaktadır. Rüzgârlar temel olarak tasınım akımlarıdır. Günes enerjisinin karaları, denizleri ve atmosferi farklı düzeylerde ısıtması nedeniyle atmosferde olusan sıcaklık ve basınç farkları hava akımlarını yaratır. Yeryüzüne gelen güneş enerjisinin yaklasık %1 – %2'si rüzgâr enerjisine dönüşür .

Hava akımları dört farklı tipte şekillenir. Sekil 3.6'da bu akım tipleri görülmektedir.



Şekil 3.6. Hava akımlarının türleri

Bununla birlikte yeryüzü üzerinde oluşan hava hareketleri hızlarına göre Beaufort ölçeğinde Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 3.1. Beaufort ölçegine göre rüzgâr hızları

Sınıflandırma	Fiziksel Tanımı	Belirtisi	Hızı (km/saat)
0	sakin	Dumanın dikey olarak yükselmesi	0 km/saat
1	esinti	Dumanın yönünün rüzgar yönünü göstermesi	1 -5 km/saat
2	hafif rüzgâr	Rüzgârın yüzde hissedilmesi, yaprak şırdaması	6 -11 km/saat
3	rüzgâr	Yaprakların ve ince dalların sürekli hareket etmesi, bayrakların dalgalanması.	12 -19 km/saat
4	Orta şiddette rüzgâr	Toz ve kâğıt parçalarının havalanması, küçük ağaç dallarının hareket etmesi.	20 -29 km/saat
5	sert rüzgâr	Küçük ağaçların sallanması, su yüzeylerinde dalgaların oluşması.	30 -39 km/saat
6	kuvvetli rüzgâr	Ağaçların büyük dallarının hareket etmesi, şemsiye kullanmanın zorlaşması.	40 -50 km/saat
7	fırtınamsı rüzgâr	Bütün ağaçlar sallanması ve rüzgâra karşı yürümenin zorlaşması.	51 -61 km/saat
8	hafif fırtına	Ağaç dallarının kırılması, rüzgâra karşı yürümenin çok zorlaşması.	62 -74 km/saat
9	orta fırtına	Baca ve çatı kiremitlerinin yerinden kopası.	75 -87 km/saat
10	şiddetli fırtına	Ağaçların köklerinden sökülmesi, yapıların zarar görmesi.	88 -101 km/saat
11	çok şiddetli fırtına	Çok seyrek görülür, geniş ölçekli hasarlara neden olur.	102 -117 km/saat
12	kasırga	Toplu yıkım	118 - . km/saat

3.2.4. Havalandırma miktarları

ASHRAE Standart 62‟ye göre, eğer dış hava kalitesi yeterli ise, Çizelge 3.2'de gösterilen miktarlarda dış hava söz konusu hacimlere temin ediliyorsa, istenilen iç hava kalitesi elde edilir. Çizelge 5.2‟de İhtiyaç duyulan dış hava miktarları kişi başına L/s veya alan başına L/s.m^2 verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ticari tesisler için (spor tesisleri,oteller, ofisler, dükkanlar, depolar) dış hava miktar tavsiyeleri

Hesaplanan Minimum Dış Hava İhtiyacı				
Uygulama	İnsan sayısı (Kişi/100 m^2)	L/s kişi	L/s m^2	Açıklamalar
Oteller, moteller, dinlenme yerleri, yurtlar Yatak odaları Oturma odaları Banyolar Lobiler Konferans salonları Toplantı salonları Yurt uyuma alanları Kumar salonları	 30 50 120 20 120	 8 10 8 8 15	 15 15 18	Odaların boyutlarından bağımsız olarak. L/s oda Kesikli kullanım için tesis edilen kapasite Yiyecek ve içecek hizmetler, alışveriş, berber ve güzellik salonları kısımlarına da bakılır. İlave duman uzaklaştırıcı cihaz gerekebilir.
Ofisler Ofis alanları Kabul alanları Haberleşme merkezleri Konferans salonları	 7 60 60 50	 10 8 10 10		Bazı ofis cihazları yerel egzoz gerektirebilir. İlave duman uzaklaştırıcı cihaz gerekebilir
Halka açık alanlar Koridorlar Genel tuvaletler Soyunma odaları		25	0,25	Hiç geri dönüşsüz mekanik egzoz tavsiye edilir.
Sigara odaları	70	30	2,5	Normal olarak transfer havası ile beslenir. Geri dönüş (resirkülasyon) tavsiye edilmez.
Asansörler			5,0	Normal olarak transfer havası hacimlerden gelen) ile komşu beslenir.
Tiyatrolar Bilet gişeleri Lobiler Salon Sahne ve stüdyolar	60 150 150 70	10 10 8 8		Özel sahne efektlerini karşılamak havalandırma üzere özel gerekecektir.

Çizelge 3.2. (devam) Ticari tesisler için (spor tesisleri,oteller, ofisler, dükkanlar, depolar) dış hava miktar tavsiyeleri

Taşımacılık Bekleme salonları Platformlar Taşıtlar	100 100 150	8 8 8		Taşıtlardaki havalandırma özel alınmalıdır. olarak ele
İşyerleri El işleme	10	8		-23 ºC ile +10 ºC arasında tutulan hacimler eğer sürekli insan bulunmuyorsa bu şartların kapsamına girmez. Komşu hacimlerden havalandırmaya müsaade edilir. Soğuk odalara giriş çıkış yapılıyorsa meydana gelen enfiltrasyon yeterli havalandırmayı sağlar.
Fotoğraf stüdyosu Karanlık oda Eczane Banka Fotokopi ve baskı	10 10 20 5	8 8 8	 2,5 2,5	Buraya tesis edilecek cihaz zorlanmış egzoz ve arzu edilmeyen kirleticilerin kontrolü özelliklerini sağlamalı.

ASHRAE Standardı kişi başına taze hava ihtiyacına bağlı olarak veya mekanın kaç defa havalandırıldığı ile ilgili olarak hesaplarını sunmakta, bunu yaparken de dış havanın temiz olduğu varsayımı ile yola çıkmaktadır. (Çizelge 3.3.)

Çizelge 3.3. ASHRAE 62-1999‟ye göre dış hava konsantrasyonu

	Uzun sureli			K1sa sureli		
	Konsantrasyon ortalama			Konsantrasyon ortalama		
Kirletici:	µg/m3	ppm	sure	µg/m3	ppm	sure
Sulfur dioksit	80	0,03	1 vii	365	0,14	24 saat
Paryac1klar (PM 10)	50	-----	1 vii	150	-----	24 saat
Karbon Monoksit				40.000	35	1 saat
Karbon Monoksit				10.000	9	8 saat
Oksiden (Ozon)				235	0,12	1 saat
Nitroien dioksit	100	0,055	1 vii			
Kur un	1,5	-----	3 ay			

3.2.5. Havalandırmanın kontrolü

ASHRAE 62-1989’de kullanıcılar için uygun iç hava kalitesini gerçekleştirmek için iki yöntem önerilmektedir:

1) Havalandırma Debisi Yöntemi
2) İç Hava Kalitesi Yöntemi

Havalandırma debisi yöntemi; uygun iç hava kalitesine sahip ulaşabilmek için gerekli olan hava akış hızları ile ilgilenir. İç hava kalitesi yöntemi ise; havayı kirleten faktörlere odaklanır.

1) Havalandırma Debisi Yöntemi

Bu yöntemde tasarımı aşamasında ASHRAE 62-1989 standardında verilen havalandırma oranlarına uyulması beklenmektedir. Standardta, dikkate alınması gereken diğer parametreler de verilmektedir.

2) İç Hava Kalitesi Yöntemi

Bu yöntemde uygun iç hava kalitesini sağlayabilmek için havalandırma oranları yöntemine benzer bir metod önerilmektedir. Bu yöntemde tüm kirleticilerin belirtildiği ve seviyelerinin kontrol edilebildiğine dayalı bir çözüm sunulmaktadır. Böylelikle ilk yöntemdeki havalandırma akış hızlarının altında akış hızları uygulanabilmektedir.

3.3. Havalandırmalı Pencere Kavramı

Havalandırmalı pencereler, iç ortamdaki çevre koşullarının ve havanın etkisini azaltmak için uygun koşullardaki havayı kullanır. Hava akımı iç ve dış cam panelleri arasındaki boşluktan geçer.

Bu durum iki cam yüzey arasındaki ısı alışverişini önemli ölçüde azaltmaktadır. Her ne kadar bu pencerelerin ısıl özellikleri kullanımlarındaki en büyük etken olmuş olsa da, ses geçirimini düşürme potansiyelleri, günümüzde, bu hususla ilgili olarak daha da önemli bir rol oynamaktadır.Bu pencerelerin “çift katmanlı” doğası gereği etkili bir akustik tecrit (çift cam boşluğu) imkân vermektedirler. Genel uygulamaları, yoğun araç trafiğine ve hava alanlarına yakın olan ofis ve otel binalarında olmaktadır.Bu sistemlerin birçoğu dönen hava prensibini kullanmaktadır.Hava pencerenin üst kenarındakı kanal vasıtasıyla merkezi mekanik donanım odasına yönlendirilir. İkinci tipte ise hava doğrudan dışarı boşaltılır.

Havalandırmalı pencereler genellikle sabit bir çift camlı dış çerçeve ve temizlik yapılabilmesi için açılan, tek camlı, hareketli bir iç çerçevenin birleşiminden oluşmaktadır. Tek camlı dış çerçeveli pencerelerin ılıman ve sıcak iklimlerde kullanımı makul görülmektedir. İki çerçeve de genellikle alüminyumdur ve son zamanlarda kullanılan benzer pencere sitemlerden ısı yalıtımı ile ayrılır.

Panjur ve dikey jalûzilerin ikisi de dış ve iç camın arasında kalan hava boşluğuna yerleştirilirler. Panjurların çevirme mekanizması el ile açılıp kapatılmakta veya bu amaçla fotoselli ve motorlu kumandalar kullanılmaktadır. Bu şekildeki kumandalar güneş ışınlarına karşı panjurların sürekli olarak ayarlanma durumunda gözle görülür enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Bir hava akımı penceresinin kullanılmasıyla ilgili genel motivasyon, ısıtma / soğutma için enerji tüketimini azaltma, termal konforu arttırma ya da IAQ'yu iyileştirmekten kaynaklanan potansiyel faydalardır. Hava akımı penceresi, iç hava ve egzoz hava akımları arasında güneş enerjisi ve ısı geri kazanımını kullanılarak, yeterli IAQ sağlanmasına bağlı olarak eklenen enerji maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olunabilir.

Bu tür bir pencere düzenlemesi geleneksel cephelere göre % 50 – 60 daha fazla maliyetlidirler, bu sebeple tüm yıl boyunca havalandırma kullanılan binalarda kullanımı ekonomik olabilir. Düşük enerji tüketimden sağlanan tasarruf ve IHİ (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme – HVAC) sistemlerinin göreli olarak küçük kaldığı daha büyük binalarla karşılaştırılması yapılmalıdır.

Havalandırmalı pencere kullanımında Aşağıda bulunan kriterler ve etkileri ele alınmalıdır.

Teknik kriterler

- Konum ve aygıt tipi, camı tipi de dâhil
- HVAC sistemi ile bütünleşik pencere boşluğundan geçen hava akım debisi
- Geri dönen hava sistemine karşı dışarı atılan hava
- Boşluklardaki azami bağıl nem
- Gelişmiş akustik koruma

Ekonomik kriterler

- Başlangıç maliyeti
- Fiziksel Büyüklüğü
- İşletme ve bakım maliyetleri
- Enerji tüketimi
- Güneş ışığı kullanımı oranı

Bina cephelerinin havalandırmalı pencereler ile yapılması hala gelişmekte olan bir süreç olup, bu pencerelerin güneş enerjisi uygulamaları ile birleşimi ise umut vericidir.

3.3.1. Havalandırmalı pencerelerin gelişimi

İlk beslemeli hava pencereleri 1940'lı yıllarda geliştirilmiş. havalandırmalı pencereler orta ve kuzey Avrupa'da giderek artan oranlarda kullanılmaktadırlar. Kökenleri 1956 yılında İsveç'te alınmış bir patente dayanmaktadır. İlk geniş çaplı kullanımı ise 1967 yılında, Helsinki şehrinde, EKONO isimli bir firma tarafından kendi Yapı İşleri Bölümü Ofisleri'ne ait bir binada havalandırmalı pencerelerin kullanımı ile olmuştu ve daha ileri araştırma ve uygulamalar 1970 ve 80'li yıllarında daha çok Avrupa ve Kuzey Amerika'da yapılmıştır (Tomory, 1983; Müller, 1983; Ferguson ve Wright, 1984; Inoue ve arkadaşları, 1985; Wright, 1986 ve Yuill, 1987). İlk hava akımı penceresi patenti 1956'da İsveç'te alınmıştır (Brandle ve Boehm, 1982). 1973'teki enerji krizinden itibaren, çoğunlukla ofis binalarında olmak üzere, bu pencereler enerji tasarrufu sağlamak üzere . Bu pencereler Avrupa'da, klimalı pencereler, hava tahliyeli pencereler veya hava boşaltımlı pencereler olarak adlandırılmaktadırlar. White (1975), Birleşik Devletler'de 1975 yılında bir "Eşanjör Penceresi" için bir patent başvurusunda bulunmuştur.

Araştırmacılar, simülasyonlar ile daha sık kullanılan pencereler için simülasyonlar veya deneysel testler gerçekleştirmişlerdir. Örneğin, Wright (1986) ve Haddad ve Elmahdy (1998, 1999) pencereleri incelemek için VISION bilgisayar programını kullandılar. VISION programının gelişimi ile ilgili ayrıntılı bir genel bakış Haddad ve Elmahdy (1998) tarafından sağlanmıştır. McEvoy ve Southall (2000) ve McEvoy ve ark. (2003) çalışmalarında hem bir nodal ağ analizi hem de hesaplamalı akışkan dinamikleri (CFD) kullandılar. Safer ve ark.

(2004, 2005), besleme havası penceresine benzer şekilde çalışan bir çift cepheyi incelemek için iki boyutlu CFD simülasyonları kullandılar.

Önceki araştırmalar, ısıtma ve soğutma mevsiminde hava akımı penceresi kullanıldığında elde edilebilecek potansiyel enerji tasarruflarına odaklanmıştır. Çalışmalarda aynı zamanda bina sakinlerinin termal konforunu iyileştirme veya korumaya da vurgu yapılmıştır. Bununla birlikte, IAQ'nun geliştirilmesine odaklanan modern inşaat uygulamaları ile havanın bina içi ve dışı arasında taşınmasını sağlayan hava akımı pencereleri IAQ'yu da iyileştirebilir ve ısıtma / soğutma yüklerini azaltabilir. Besleme havası penceresi ile iç mekanda havalandırma gereksinimlerini yerine getirmeye yönelik ek faydalar ise (Haddad ve Elmahdy, 1999).

McEvoy ve Southall (2000) ve Southall ve McEvoy (2000) tarafından çalışılmıştır.

Mevcut hava akımı penceresi tasarımlarında birçok kısıtlamalar mevcuttur. Örneğin, dış hava yalnızca kapalı alana aktarılabildiğinden, IAQ'yu iyileştirmesi için sadece besleme hava modu önerilir. Hava akımı penceresinin uygulanmasına yönelik çeşitli sınırlamalar, dış hava temizleme açısından hava akışı boşluğu tasarımından da kaynaklanmaktadır. Boşluğun içinden geçen hava akımı, güneş ısısından elde edilen yüzdürme kuvveti ile sağlandığından, filtrelerin kullanılması doğal havalandırmanın etkisini engelleyebilir.

3.3.2. Havalandırmalı pencere tipleri

Havalandırmalı pencereler 3 grupta toplanabilir.

- Hava Akımı Boşluklu Pencere (Supply air window)
- Çift Pencere Sistemi - DWCS (Double-window casement systems)
- Çift Kanallı Hava Akımlı Pencere (Dual Airflow Window)

<u>Hava akımı boşluklu pencereler</u>

Hava akışı yönü genellikle yukarıya doğrudur. Bu sistem, havanın pencerenin alt kirişindeki hava boşluklarından girip pencerenin üst kirişinden doğruca dışarıya atılmasına izin vermektedir.

İç pencere çerçevesi, boşlukların ve panjurların temizlenmesine olanak tanımak üzere hareketlidir.Doğrudan havanın dışarıya atıldığı pencerelerde geri dönüş bağlantısı bulunmamaktadır.

Konvansiyonel bir pencere ile hava akımı penceresi arasındaki temel fark hava akımı boşluğu adı verilen, iki cam katı arasında yer alan serbest ya da cebri konveksiyonun varlığıdır. Hava akımlı pencereler için dört ana çalışma modu vardır: (Şekil 3.7).

a) Besleme
b) Dış hava perdesi
c) İç hava perdesi
d) Egzoz

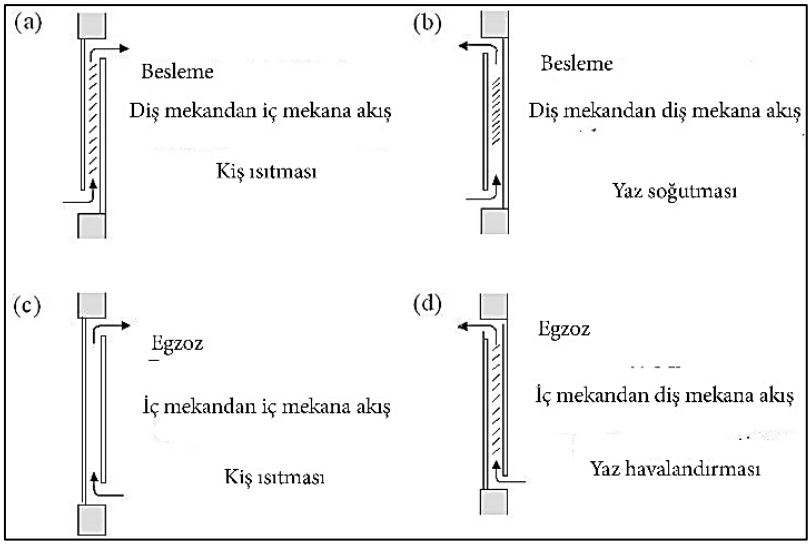
Besleme hava penceresi : Havayı dışarıdan içeriye çeker.

Dış hava perdesi :Dıştan dışa hava akımı yollarına sahiptir.

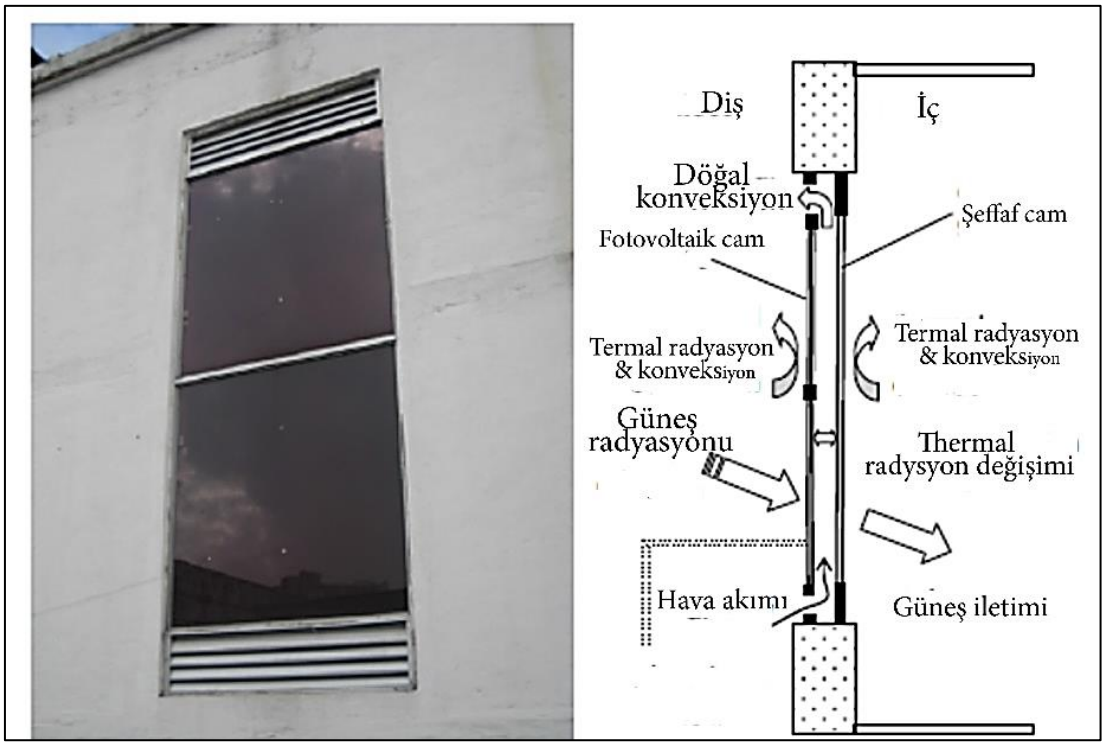
İç hava perdeleri : İçten içe hava akımı yollarına sahiptir.

Egzoz hava penceresi : Havayı içeriden dışarıdaki bölgeye çeker.

Hava akımı doğal, Karışık ya da Zorlamalı etkilerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.7. İç ve dış hava akımı pencere tipleri: (a) besleme modu, (b) dış hava perdesi. (c) iç hava perdesi ve (d) egzoz modu



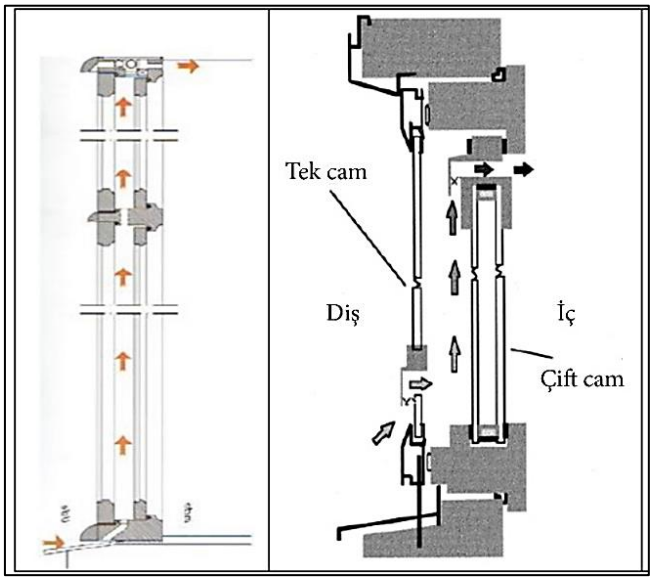
Şekil 3.8. Güneş enerjisi ile çalışma pencere modu

Güneş ısısı hava akımı ile elde edilir ve çalışma moduna bağlı olarak içeriye ya da dışarıya yönlendirilir. (Şekil 3.8.). Güneş enerjisi, besleme modunda dıştaki havanın ön ısıtmasını ve ısıtma mevsimi boyunca da iç hava perdesi modunda iç havayı tekrar ısıtmak için kullanılır. Egzoz penceresindeki ve dış hava perdesindeki hava akımı, soğutma mevsimi boyunca aşırı ısıyı dönüştürerek güneş enerjisini bertaraf etmek için kullanılır.



Şekil 3.9. Hava akımı pencere tiplerinen besleme modu

Geleneksel pencere ile karşılaştırıldığında, egzoz hava penceresi aynı zamanda termal konfor koşullarını da iyileştirir, çünkü iç cam panelin yüzey sıcaklığı oda hava sıcaklığına yaklaşır. Isıtma mevsimi boyunca mekân ile iç pencere yüzeyi arasındaki sıcaklık farkındaki azalma radyasyon değişimini azaltır ve termal konforu arttırır.



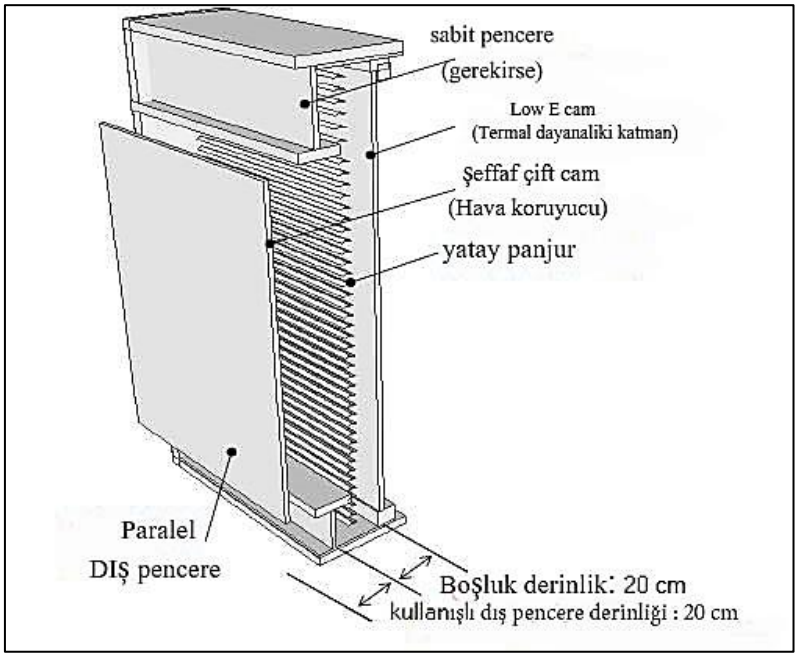
Şekil 3.10. Besleme modu pencerenin iki farklı yapısı

Hava perdesi IAQ'yu iyileştirmek veya havalandırma gereksinimlerini karşılamak için kullanılamasa da, enerji tüketimi ve termal konfor ile ilgili yararlar sunar. Dış hava perdesi, soğutma mevsimi boyunca güneşli bir günde oldukça faydalıdır. Dış hava akımı boşluğunda dış hava yukarıya doğru hareket ederek orta cam bölmesini aşırı ısınmaya karşı korur ve böylece iç mekanlara ısı iletimini azaltır. İç mekan hava perdesi, iç boşluğun içindeki güneş enerjisini geri kazanır ve ısıtma mevsimi boyunca onu iç mekana verir.

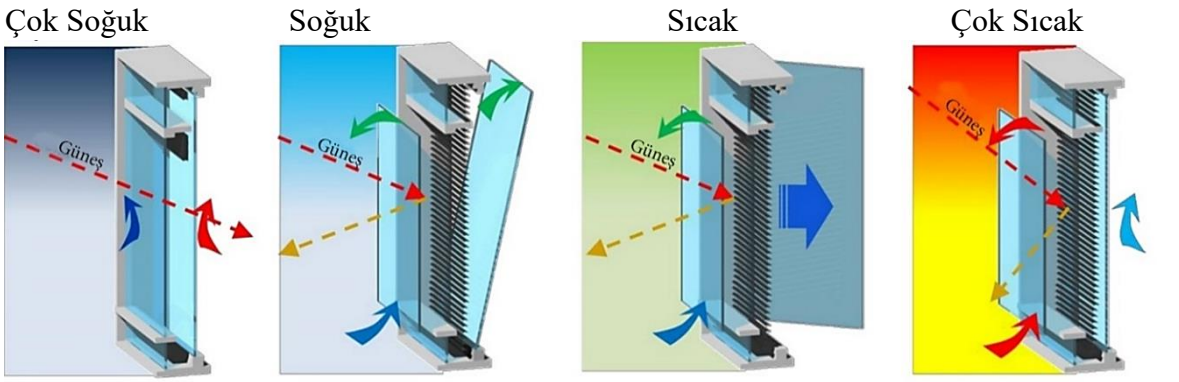
Çift pencere sistemi (DWCS)

DWCS, enerji tasarrufu sağlayan ve çalışma sırasında enerji tüketimini azaltan çift cam sistemidir. Kore'de konut binaları için kullanılan SW veya DW gibi geleneksel pencerelerin aksine, DWCS'nin harici ve dâhili pencereler arasında bir gölgeleme aygıtı vardır. Bununla birlikte, yeni DWCS pencere sistemi gölgelendirme cihazı kurulumu için 20 cm daha büyük bir boşluğa sahiptir. Buna ek olarak, iç cam, hava sızdırmazlığını artırmak ve doğal havalandırma oranını düzenlemek için tasarlanmıştır. Şekil 6.5'de DWCS kesiti şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 3.12. DWCS'nin operasyonel stratejisini göstermektedir. Dış ortam sıcaklıkları çok soğuk olduğunda, dış ve iç camlar ısı kaybını azaltmak için kapatılır ve güneş ışınlarını en üst düzeye çıkarmak için tüm gölgeler çıkarılır. Ara mevsimlerde, pencere çalışması dış hava sıcaklığına göre değişir. Bu koşullar altında, harici pencere her zaman tamamen açıktır ve iç pencere gelen hava akış hızlarını kontrol eder. Dış ortam sıcaklığı ılıksa, iç mekanda aşırı ısının hızlı bir şekilde havalandırılmasını gerektiriyorsa, iç pencere maksimum doğal havalandırma için tamamen açılabilir. Gölgeleme ara mevsimlerde sağlanır. Dış hava sıcaklığı doğal havalandırma için çok sıcak olduğunda, harici ve dâhili pencereler arasındaki boşlukta aşırı ısınmayı önlemek için harici pencere tamamen açılır. İç mekân penceresi sıcak dış ortam havasını dışarıda bırakmak için kapatılmıştır ve gölgelendirme sağlanmaktadır. Doğal havalandırma olmadığında mekanik havalandırma sağlanır.



Şekil 3.11. DWCS'nin kavramsal geometrisi (Cheong, 1985).



Mekanik Mınımum Havalandırması	Doğal Uygun Havalandırma	Doğal Maxımum Havalandırma	Mekanik Mınımum Havalandırma
panjursuz	Panjurlu	Panjurlu	Panjurlu
KIŞ	ORTA SEZON		YAZ

Şekil 3.12. DWCS'nin çalışması

Dış ortam sıcaklıkları çok soğuk olduğunda, dış ve iç camlar ısı kaybını azaltmak için kapatılır ve güneş ışınlarını en üst düzeye çıkarmak için tüm gölgeler çıkarılır. Ara mevsimlerde, pencere çalışması dış hava sıcaklığına göre değişir. Bu koşullar altında, harici pencere her zaman tamamen açıktır ve iç pencere gelen hava akış hızlarını kontrol eder. Dış sıcaklığı,iç mekanda aşırı ısının hızlı bir şekilde havalandırılmasını gerektiriyorsa, iç pencere maksimum doğal havalandırma için tamamen açılabilir. Gölgeleme ara mevsimlerde sağlanır. Dış hava sıcaklığı doğal havalandırma için çok sıcak olduğunda, harici ve dâhili pencereler arasındaki boşlukta aşırı ısınmayı önlemek için harici pencere tamamen açılır. İç mekân penceresi sıcak dış ortam havasını dışarıda bırakmak için kapatılmıştır ve gölgelendirme sağlanmaktadır. Doğal havalandırma olmadığında mekanik havalandırma sağlanır.

Bu pencerenin ısıl performansını etkileyen faktörler:

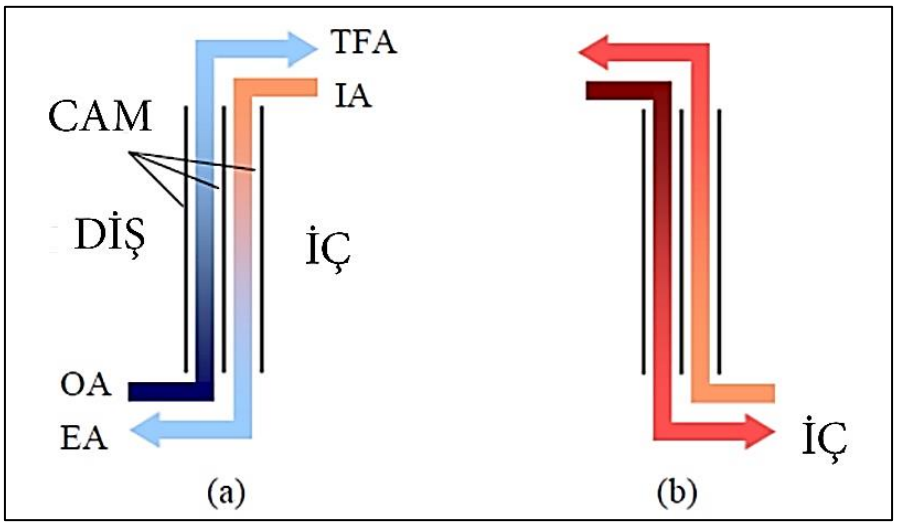
Hava akış hızı

• Cam üzerindeki kaplama.
• Camın kalınlığı.
• Pencerenin boyutları
• Havalandırılmış alan derinliği ve
• Güneş radyasyonu miktarıdır.

Çift kanallı hava akımlı pencere

Çift kanallı hava akımlı pencere şekil 3.13'de gösterildiği gibi, besleme ve egzoz şeklinde iki çalışma modu olan, cebri konveksiyona sahip üçlü tabakalı bir üniteden oluşan bir hava akımı pencere sistemidir. Cam yüzeyleri düz (şeffaf) olup, kaplanmamıştır. Hava akımı şeması, hava akımı çıkışının ve girişinin aynı yere konumlandığını gösterir. Egzoz ve emiş aynı yükseklikte bulunduğundan, pencere genişliği pencerenin üstünde ve altında giriş ve çıkış olarak eşit şekilde bölünerek temperlenen temiz havanın iç hava akımına kısa devre yapması engellenir .Giriş / çıkışların bu şekilde konumlandırılması ile pencere sistemi, güneş enerji geri kazanımına sahip çapraz akışlı bir ısı değiştirici gibi çalışır. Egzoz havası, dış hava sıcaklığının etkisini azaltmak için kullanılır ve böylece ısıtma / soğutma talepleri de azaltılır. İç mekan havası, pencere sisteminin iç hava akış boşluğu boyunca boşaltılır. Bu yolla iç cam yüzeyinin sıcaklığı oda sıcaklığına yakın olur ve termal konfor iyileştirilebilir.

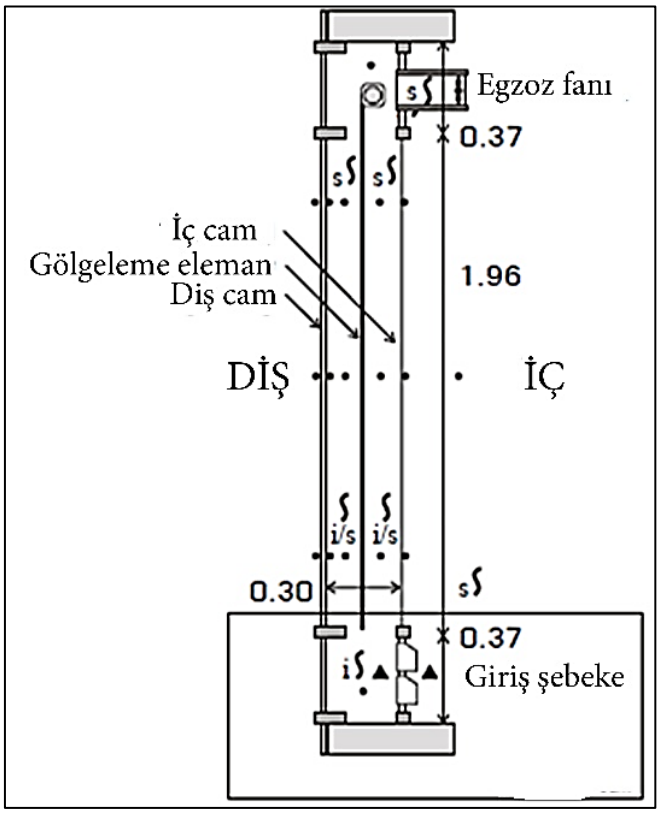
Buna ek olarak, bu pencere IAQ'nun iyileştirilmesi için dış boşluktan iç mekâna klimalı dış mekân havası vermektedir.



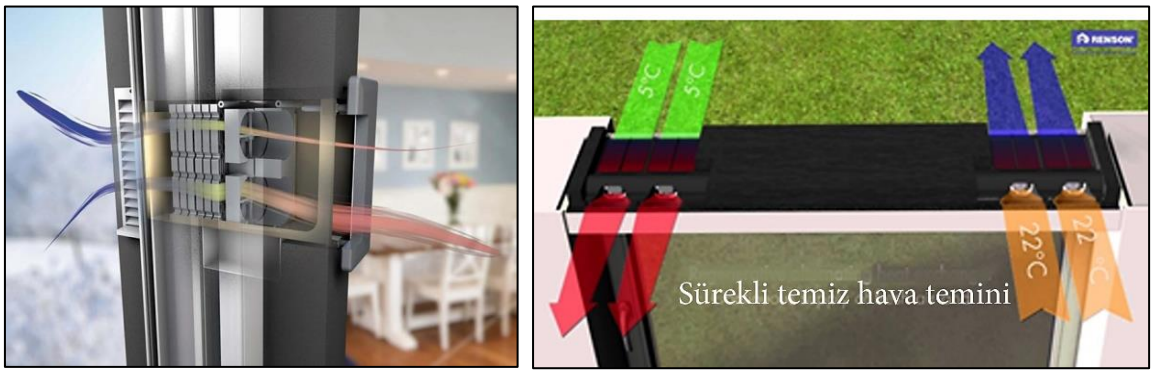
Şekil 3.13. Çift kanallı hava akımlı pencere iki çalışma modu: (a) besleme ve (b) egzoz; TFA = temperlenen temiz hava, IA = iç mekan havası, OA = dış mekan havası ve EA = egzoz havası

Bu uygulamada boşluklar boyunca havayı dolaştırmak için iki küçük fan kullanır. Boşluklardan geçen havayı temizlemek için girişlere filtreler yerleştirilebilir. Buna ek olarak, tek bir hava akışı olan pencerelerde hava akımı olumlu ya da olumsuz olarak içeriye basınç uygulayarak yükseltilebilir iken, çift hava akışı olan bir pencere bu yöntemi

kullanamaz. Bu nedenle, fanların kullanımı, pencerenin bakımını çok daha kolay hale getirebilir ve akış hızı bu sayede çok daha kararlı olabilir. Şekil 3.14 ve 3.15 DWCS'nin mekanik havalandırma (Fan ile havalandırma) akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.14. Hava akımı penceresi (mekanik havalandırma)



Şekil 3.15. Fan ile havalandırma

4. ÖRNEK ÇALIŞMANIN CFD SİMÜLASYONU İLE HAVALANDIRMA HESABI

4.1. CFD Simülasyon Programı Tanıtım

CFD (Computational Fluid Dynamics) (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), akışkanların davranışlarının incelenmek istendiği konularda, sayısal metot ve algoritmalar kullanarak bilgisayar ortamında çözüm getirilerek analiz yapılmasına olanak sağlayan, akışkanlar mekaniğinin bir koludur.

Klasik akışkanlar mekaniğinin denklemleri ile farklı geometriye sahip yapılardaki sıcaklık farkları, akışkanlık vb. etmenlerin etkisinin çözümlenmesi oldukça güçtür.

Klasik akışkanlar mekaniği yardımı ile ancak basit geometrilerde çözüme ulaşılabilmekte, bunların dışında kalan karmaşık problemlerde ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmaktadır. Bunun için akış bölgesi, akışa ait temel diferansiyel denklemleri simüle eden küçük düzgün elemanlardan ve noktalardan oluşmuş ağ yapısına ayrılır ve bu küçük elemanlardan iterasyonlarla adım adım bütün çözüme varılır.

Son zamanlarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) sıklıkla akışkan akışının olduğu alanlara uygulanmakta ve CFD uygulamalarının bu alanlarda yararlı olduğu görülmektedir.

Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan kompleks modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, Problemin tasarım aşamasında iken belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasına fırsat tranıması açısından çok önemlidir. FLUENT programı dahil olmak üzere tüm CFD'lerin işlemleri aşağıdaki gibidir:

A. Model geometrinin oluşturulması
B. Modelin ağ yapısının (mesh) oluşturulması
C. İki veya üç boyutlu model için uygun çözümleyicinin çalıştırılması
D. Gridin kontrolü
E. Çözümleyici seçimi

F. Çözüm modellerinin seçimi: laminer veya türbülanslı, kimyasal bileşenler veya reaksiyonlar, ısı geçiş modelleri. İlave modellerin tanımlanması: fanlar, ısı değiştiricileri vb.
G. Malzeme özeliklerinin belirlenmesi
H. Sınır şartlarının belirlenmesi
İ. Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması
J. Akış alanının başlatılması
K. İlk çözümlemenin yapılması
L. Sonuçların değerlendirilmesi
M. Sonuçların kaydedilmesi
N. Gerekliyse grid yapısı iyileştirilmesi veya sayısal/ fiziksel modelin gözden geçirilmesi.

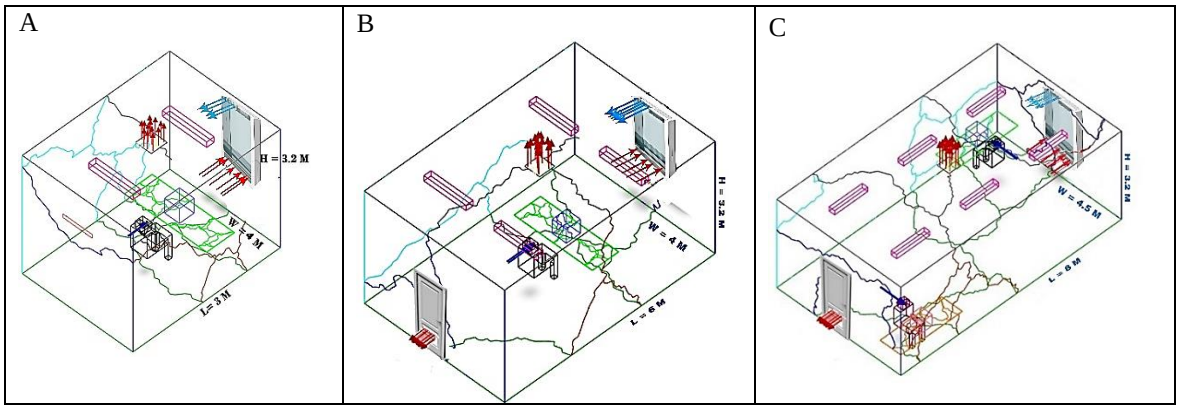
4.2. Örnek Çalışma

Bu çalışmada üç farklı ofis tipi belirlenmiş ve Küçük, Orta ve Büyük ofis odası olarak adlandırılmışlardır. Çalışılan ofis odalarının özellikleri üç boyutlu olarak Şekil 4.1'de verilmektedir. Her odanın boyutları ve özellikleri ise Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Küçük ve orta ölçekli ofislerde, nesnelerin uzunluğu, genişliği ve yüksekliği ile termal yükler büyük odaya benzer, ancak nesnelerin sayısı ve konumları farklıdır. (Çizelge 4.1)

Bu odalarda kullanıcı, masa, bilgisayar, masa dahil tüm nesnelerin oda içerisinde simetrik dağılım[1] olarak varsayılmıştır. Yazarlar tarafından oluşturulan hava akışı penceresinin gerçekçi bir görünümü Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

[1] **Simetrik dağılım**, serinin belirli bir değere göre iki tarafında eşit ve o değere göre simetrik dağılmasını ifade eder. ... Bu tür seriler simetrik dağılıyorsa mod, medyan ve aritmetik ortalama birbirine eşittir, dağılım bu ölçülere göre simetriktir. Geçerli olmaması durumu asimetrik dağılım olarak adlandırılır.



Şekil 4.1. İncelenen farklı büyüklükteki ofis odalarının ana hatları ve boyutlar A) Küçük oda B) Orta oda C) Büyük oda

Çizelge 4.1. Çalışılan ofislerin boyutları (mm)

İsim	Boyut			Kullanıcı Sayısı	Lamba Sayısı	Bilgisayar ve Masa Sayısı
	L	W	H			
Küçük	3	4	3.2	1	2	1
Orta	6	4	3.2	1	4	1
Büyük	8	4.5	3.2	2	6	2

Ofislerin havalandırmaları yerden 110 cm yüksekliğe yerleştirilmiş ve bir hava akımı penceresi kullanılarak yapılmaktadır. Hava akış penceresi iki bölümden oluşur (Bundan sonra sırasıyla iç ve dış pencereler olarak anılacaktır). pencerenin yaz modunda çalıştığı varsayılmıştır, böylece taze iç pencerelerin üst girişinden (giriş açıklığı) boşluğa girer ve geri dönüş havası alt açıklıktan ortama atılır (pencere çıkışı açıklığı). Ayrıca ofisin havalandırılmasını kolaylaştırmak için tavanın ortasında 0.16x0.16 m boyutlarında bir çıkış açıklığı bulunmaktadır. odanın diğer tarafına ise gerektiğinde açılıp kapanabilen açıklığı olan bir kapı yerleştirilmiştir. Hava akış pencerelerinin toplam yüksekliği ve giriş ve çıkış açıklıklarının genişliği sabittir ancak kalınlığı 10 cm ile 40 cm arasında değişmekte ve ofisin iç hava kalitesi ve termal konforuna etkisi araştırılmaktadır.

İncelenen ofislerin tüm boyutlarının ve tüm sınır koşullarının odadaki insan ve nesne için konum, boyutlar ve sınır koşulları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Her nesnenin ısıl yükü Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Odadaki nesnelerin konumu ve boyutları

Item	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik	konum			ısı
	Δx[m]	Δy[m]	Δz[m]	x[m]	y[m]	z[m]	Q[W]
Pencere 1	1.30	0.10	1.70				-
Pencere 2	1.30	0.20	1.70				-
Pencere 3	1.30	0.30	1.70				-
Pencere 4	1.30	0.40	1.70				-
kullanıcı 1	0.4	0.35	1.1	0.81	1.115	0.4	75
kullanıcı 2	0.4	0.35	1.1	5.77	2.88	0.4	75
Bilgisayar 1	0.4	0.4	0.4	0.4	2.55	0.55	108.5
Bilgisayar 2	0.4	0.4	0.4	5.77	2.55	0.55	173.5
Masa 1	2.33	0.75	0.01	2.23	2.88	0.74	0.0
Masa 2	2.33	0.75	0.01	5.77	2.88	0.74	0.0
Lamba 1	0.2	1.2	0.15	1.03	0.16	2.18	34
Lamba 2	0.2	1.2	0.15	2.33	0.16	2.18	34
Lamba 3	0.2	1.2	0.15	3.61	0.16	2.18	34
Lamba 4	0.2	1.2	0.15	1.03	2.29	2.18	34
Lamba 5	0.2	1.2	0.15	2.33	2.29	2.18	34
Lamba 6	0.2	1.2	0.15	3.61	2.29	2.18	34

Küçük ve orta ölçekli ofislerde, nesnelerin uzunluğu, genişliği ve yüksekliği ile termal yükler büyük odaya benzer, ancak nesnelerin sayısı (Çizelge 4.1) konumları farklıdır. Bu odalarda kullanıcı, masa, bilgisayar, masa dahil tüm nesneler, oda içerisinde simetrik dağılım olarak varsayılmıştır. Tasarımcılar tarafından oluşturulan hava akışı penceresinin gerçekçi bir görünümü Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

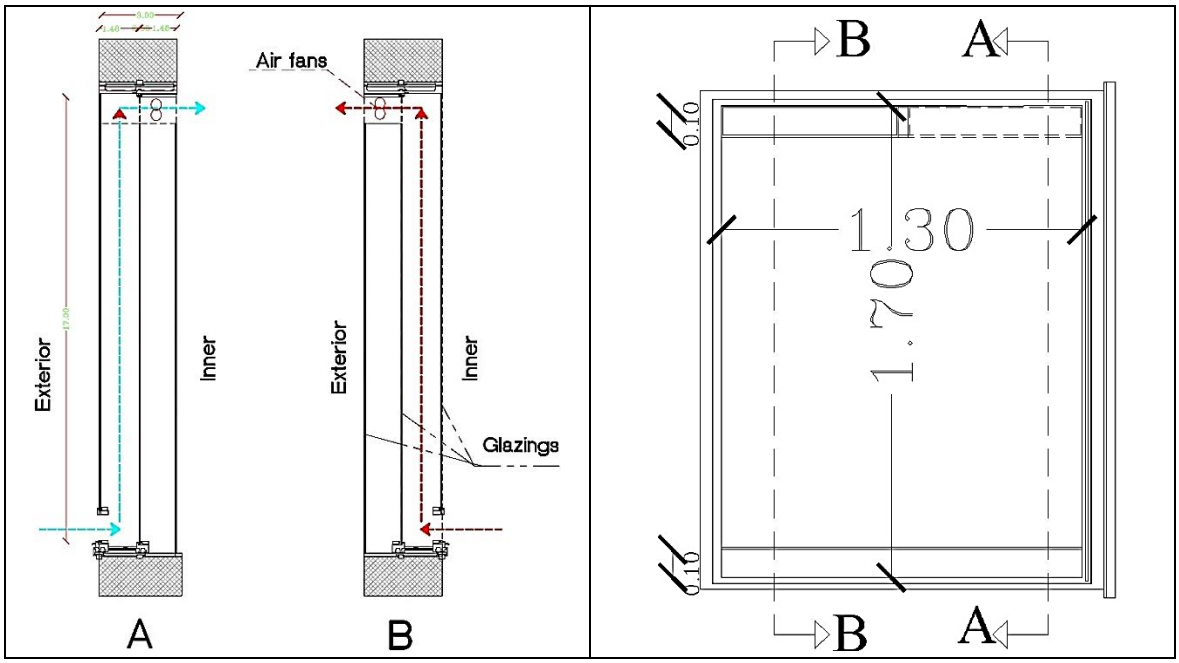


Şekil 4.2. Hava akışı penceresinin büyütülmüş görünümü

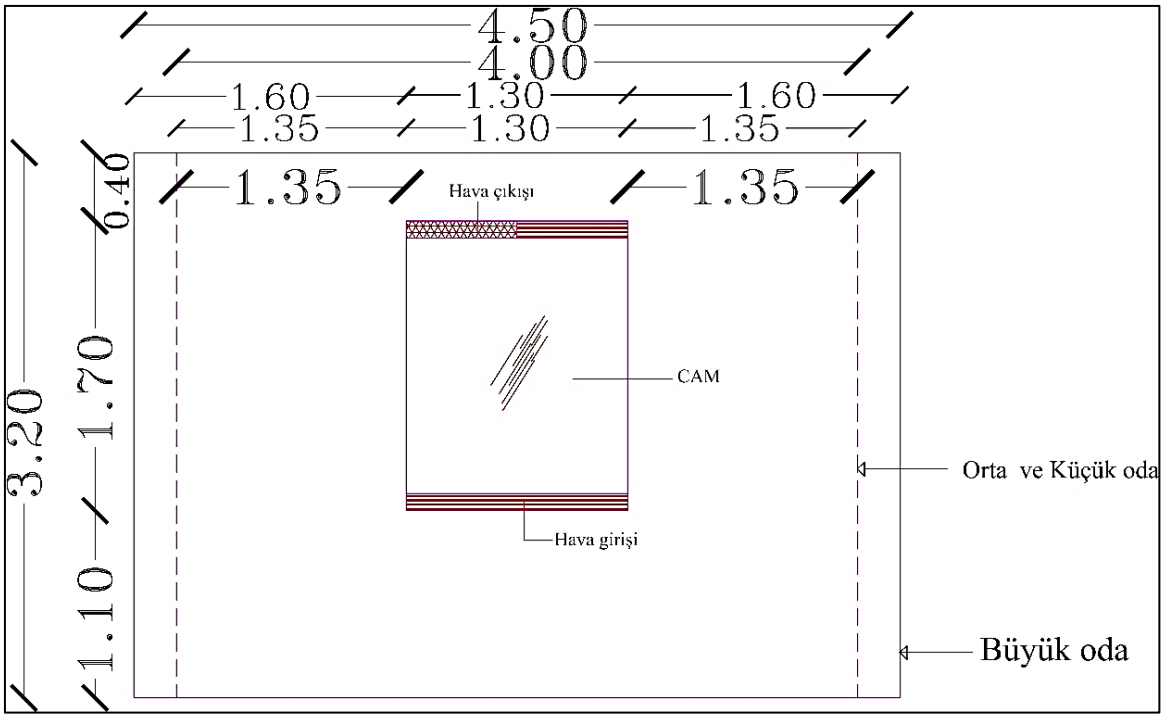
Hava Akışı penceresinin şeması ve kesiti Şekil 4.3'de Pencerenin odadaki konumu ve boyutu Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Bu havalandırma yönteminde pencere, odanın hem girişi hem de çıkışı olarak işlev görür. (Şekil 4.3-A) hava, pencerenin alt açıklığından girer ve pencerenin üst açıklığı da oda için egzoz olarak kullanılır. Pencerenin girişi ve çıkışı kış modunda değiştirilir (Şekil 4.3-B). Doğal havalandırma, iç mekan HVAC sistemlerinde enerji tüketimini azaltmada önemli bir rol oynar ve birçok çevresel ve ekonomik fayda sağlayabilir.

Doğal havalandırma modunda çalışırken, hem rüzgar hızı hem de kaldırma kuvveti oda havalandırmasına katkıda bulunur. Çoğu durumda, rüzğarın pencere seviyesinde indüklediği akış hakimdir ve kaldırma kuvvetinin etkisi dikkate alınmayacak düzeydedir. Bununla birlikte, birkaç metre yüksekliğe sahip hava akımı pencerelerinde, binanın iki yükseklik seviyesi arasındaki havanın yoğunluk farkından kaynaklanan doğal havalandırması eşit derecede önemlidir. Diğer araştırmacıların [139] da belirttiği gibi, doğal havalandırma kaynaklarının temel dezavantajı, zorunlu havalandırma yönteminin aksine, doğal kaynakların aynı derecede güvenilir ve kontrol edilebilir olmamasıdır. Düşünülen, doğal havalandırmanın kontrol edilebilirlik sorununu çözmenin yanı sıra enerji tasarrufu gibi doğal havalandırma sistemlerinin avantajlarından yararlanma ve karma havalandırma yöntemleri önerilmektedir. Tüm karma havalandırma teknikleri, bina sakinlerine güvenli ve rahat bir ortam sağlamak için doğal havalandırmanın üzerine zorunlu havalandırmanın eklenmesi gerektiği gerçeğine dayanmaktadır.

Örneğin, hava akış sisteminde, doğal havalandırma kuvvetleri (rüzğar ve kaldırma kuvveti), kullanıcı için uygun iç mekan koşulunu sağlamakta yeterli olmadığında, karışık havalandırma teknikleri kullanılmalıdır.



Şekil 4.3. Hava akış penceresinin şeması a) besleme modu b) egzoz modu



Şekil 4.4. Pencerenin odadaki konumu ve boyutu

4.3. Matematiksel Model

Bu bölümde önce çalışılan problem tanıtılmakta, ardından yönetim denklemleri, kullanılan sınır koşulları çözüm yöntemi ile birlikte açıklanmaktadır.

4.3.1. Kodlama

Pencerelerin performansı hakkında bir fikir edinmek ve incelenen parametrelerin bir kombinasyonu için optimum çalışma koşulunu bulmak için, incelenen ofislerin CFD örneği oluşturulur, simüle ve analiz edilir. Bu nedenle, her bir duruma atıfta bulunmak için bir kodlama sisteminin kullanımını kategorize etme sürecini basitleştirmek için gerekli görünmektedir. Bunun için, harf ve sayılardan oluşan 6 kademeli bir kodlama sistemi kullanılmış ve detayları çizelge 4.3'te verilmiştir. İlk harf Havalandırma türünü, ikinci harf sırasıyla Küçük, Orta ve Büyük ofisleri belirtir. Sonraki sayı pencere kalınlığını, Devamındaki harf ve sayı grupları sırası ile hava giriş sıcaklığı, hava giriş hızını ve bağıl nem grubunu ifade etmektedir. (Bkz. Çizelge 4.3)

Çizelge 4.3. Kodlama

Havalandırma Türü		ODA		Pencere Kalınlığı(Cm)		Giriş Sıcaklığı (S)		Giriş Hızı (H)		Bağıl Nem (b)	
	kısaltma	Değer	kısaltma	Değer (cm)	kısaltma	Değer (°C)	kısaltma	Değer (m/s)	kısaltma	Değer (%)	kısaltma
DOĞAL	D	Küçük	K	10	1	24	S0	0.24	H0	65	b0
Zorlamalı (UFAD)	Z	Orta	O	20	2	20	S1	0.5	H1	60	b1
Karışık Havalandırma	k	Büyük	B	30	3	22	S2	1.0	H2	55	b2
				40	4	-	-	1.5	H3		

D-B-1-S1-H0-B1 (DB1101)					
Doğal havalandırma	Oda büyüklüğünü	Pencere Kalınlığı(cm)	Giriş sıcaklığı	Giriş Hızı	Bağıl nem
D	B	1	S1	H0	b1

Yukarıda Karışık havalandırma için kullanılan kodlama konveksiyonlarına ek olarak, doğal konveksiyon durumları için daha basit bir kodlama yöntemi kullanılmaktadır.Doğal havalandırma istendiğinde, isim D ile başlar ve ardından odanın büyüklüğünü ifade eden bir harf gelir. Bir sonraki sayı, pencerenin Kalınlığı gösterir ve yukarıdaki ile aynıdır. Ayrıca, bu adlandırma kuralının yalnızca doğal ve karışık havalandırma durumlarına atıfta bulunmak için kullanıldığını ve gerektiğinde zorlamalı havalandırma durumlarından açıkça bahsedildiğini belirtmek gerekir.

4.3.2. Kabuller

PMV[2]'yi hesaplarken, ofis odasındaki personelin yazlık resmi takımları giyerken hareketsiz konumda, yazı yazdığı varsayılır.Hava akış pencerelerinin toplam yüksekliği ile giriş ve çıkış açıklıklarının genişliği sabittir ancak kalınlığı ise 10cm ile 40cm arasında değişmekte ve ofisin iç hava kalitesi ve termal konforuna etkisi araştırılmaktadır. Küçük, Orta ve Büyük ofis odası olarak adlandırılan bu çalışmada üç farklı ofis tipi incelenmiştir. Her odanın boyutları ve özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Odadaki insan ve nesne için konum, boyutlar ve sınır koşulları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.Küçük ve orta ölçekli ofislerde, nesnelerin uzunluğu, genişliği ve yüksekliği ile termal yükler büyük odaya benzerdir, ancak nesnelerin sayısı (bkz. Çizelge 4.1) ve konumları farklıdır. Simülasyonlarda akış ve ısı transferi modelinin sabit, üç boyutlu ve sıkıştırılamaz olduğu varsayılmıştır. Sıvı, sabit özelliklere sahip Newtoniyendir.

4.3.3. Çalışma yöntemi

Ofis odalarında HVAC ve termal konforu incelemek için, binalarda karşılaşılanlar da dahil olmak üzere simülasyon akışı ve ısı transferi probleminde en yaygın araç olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği kullanılmaktadır. Bu yöntemde akışkan akışı ve ısı transferinin temel denklemleri sayısal yöntemle çözülerek sonuçlar çizelge ve şekiller halinde sunulmuştur. Binadaki havalandırmada hava koşullarını simüle etmek için çalışılan bölgenin İstanbul meteorolojik verileri alınır ve sınır koşullarının hesaplanmasında kullanılır.Bu çalışmada kullanılan CFD yönteminin detayları ve sınır koşulları aşağıda açıklanmıştır.

Yönetim denklemleri

İncelenen problem çalkantılı olduğundan, problem için geçerli denklemler Reynolds ortalamalı Naiver-Stokes[3] denklemlerini ve enerji tasarrufu denklemini içerir. Kaldırma kuvvetlerinin hız alanı üzerindeki etkisi, akışkan yoğunluğunun kaldırma kuvveti teriminde beklenen sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayımına dayanan Boussinesq yaklaşımı [4] aracılığıyla momentum koruma denklemine eklenir. Ayrıca, havadaki buhar ve kirletici

[2] **PMV** Predicted Mean Vote) Isıl konfora etkiyen kişisel ve çevresel faktörlerin bileşenlerinin matematiksel olarak ifade edildiği değerdir.

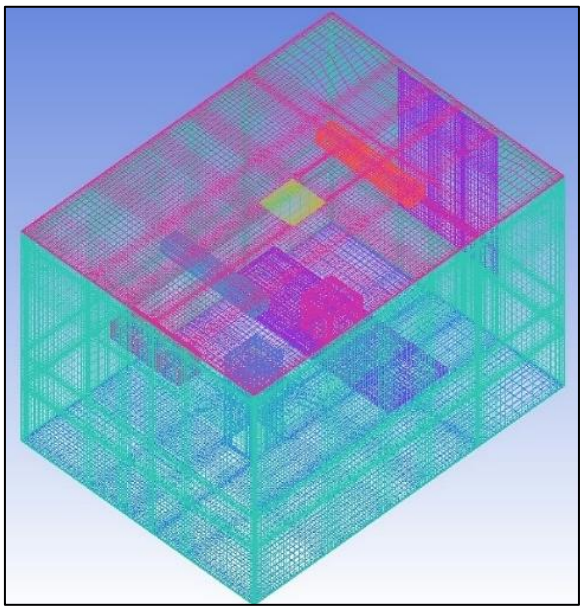
[3] sıvılar ve gazlar gibi akışkanların hareketini tanımlamaya yarayan bir dizi denklemden oluşmaktadır.

[4] Boussinesq yaklaşımının özü, atalet arasındaki farkın ihmal edilebilir olması, ancak yer çekiminin özgül ağırlığı iki sıvı arasında önemli ölçüde farklı kılmak için yeterince güçlü olmasıdır.

madde taşınması, literatürden uyarlanan difüzyon katsayıları ile konveksiyon-difüzyon[5] denklemi kullanılarak modellenmiştir. Odadaki akışın doğası gereği, bahsedilen tüm denklemler türbülans taşınması için denklemlerle birleştirilmelidir.

Mesh üretimi ve çalışma prensibi

Ağ oluşturma, sayısal bir çalışmanın en önemli parçalarından biridir ve nihai sonuçların doğruluğu ağların kalitesine bağlıdır. Bu çalışmada, çalışılan ofis odaları için çoklu bloklardan elde edilen yapılandırılmış bir ağ oluşturulmuştur. Bu, odayı dikdörtgen bölgelere ayırarak elde edilmiştir. Orta ofis için oluşturulan bir ağ örneği şekil 4.5'te verilmektedir.

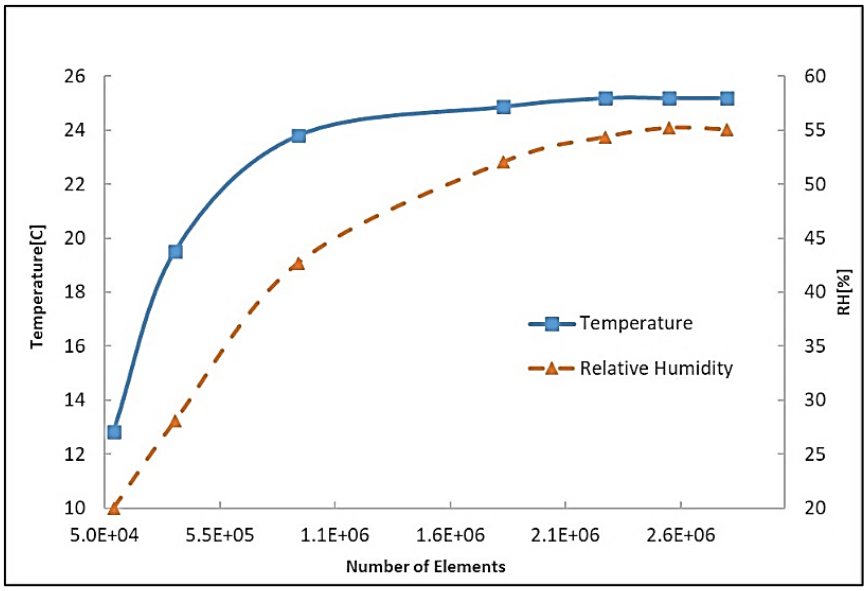


Şekil 4.5. Mesh oluşturma

Duvarların ve ısıtma yüklerinin yakınında derin hız ve sıcaklığı yakalamak için ızgara bu bölgede konumlanmıştır. Ayrıca, çözümün ağ çözünürlüğünden bağımsız olmasını sağlamak için ağ bağımsızlık analizi yapılmıştır. Bunun için, ağ inceltme işlemi sırasında ortalama sıcaklık ve bağıl nem izlenmiştir.

[5] Bir kimyasal potansiyel farkının bulunduğu ortamda moleküllerin bir noktadan diğer bir noktaya hareketine kütle aktarımı denir. Derişim farkı bulunan bir sistemde kütle aktarımı, ya moleküler (difüzyon) ya da konveksiyonla gerçekleşmektedir.

İzlenen parametrelerde hiçbir değişiklik gözlenmeyene kadar ağdaki elemanların sayısı arttıkça, ağ bağımsızlık çalışmasının sonuçları şekil 4.6'te gösterilmektedir.Bu çalışmada sinüs k-e[6] türbülans modeli kullanılmış, duvar y + değerleri 50 ile 100 arasında tutulmuştur. Doğruluk ve esneklik nedeniyle ölçeklenebilir duvar fonksiyon duvarı viskoz alt katman modellemesi için kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Şebekeden bağımsız çalışması

Şekilden 25, 000,00 çözüm kullanıldığında mesh çözünürlüğünden bağımsız olduğu sonucuna varılabilir. Bu nedenle simülasyonlar için bu sayıda ağ elemanı seçilmiştir.

Türbülans ve radyasyon modelleme

Havalandırılan odalarda, zorlanmış akış veya kaldırma kuvveti için türbülans üretilir. Bu nedenle, uygun bir türbülans modelinin seçilmesi, CFD yaklaşımının başarısı için birinci derecede önemlidir. RNG k-e veya gerçekleştirilebilir k-e modeli, makul miktarda sistem kaynağı tüketirken HVAC simülasyonu için kabul edilebilir sonuçlar sağlar. Bu nedenle, bu çalışmada türbülanslı dalgalanmaları hesaba katmak için RNG[7] modeli seçilmiştir.

[6] K-epsilon (k-ε) türbülans modeli, türbülanslı akış koşulları için ortalama akış karakteristiklerini simüle etmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) 'da kullanılan en yaygın modeldir.

[7] RNG : Realizable k –ε modeli ile benzer özellikleri ve kullanım alanları olmakla birlikte analizlerin yakınsaması biraz daha güçtür ve zaman almaktadır.

Sınır şartları – veriler

Doğru sonuçlar elde etmek için, uygun sınır koşullarının belirtilmesi, herhangi bir CFD simülasyonunun kaçınılmaz bir parçasıdır. Bu nedenle, daha önce de belirtildiği gibi, hem kaldırma kuvveti hem de rüzgar, hava Akışı penceresi tarafından üretilen akışa katkıda bulunur. Bu nedenle, pencere açıklığından ofise giren havanın hızını ve akış hızını hesaplamak için, Phaff ve De Didds [53] tarafından geliştirilen ve ortalama, dalgalanan akışın etkisini ve kaldırma kuvvetinin etkisini dikkate alan yarı ampirik bir denklem kullanılır.

$$U_{eff} = \sqrt{c_1 U_w{}^2 + c_2 H \Delta T + C_3} \tag{4.1}$$

Uw, akış hızının değerlemesi için kullanılan pencere seviyesindeki rüzgar hızıdır. Bu çalışmada, ofislerin İstanbul kentsel alanında olduğu varsayılmıştır. Rüzgar hızı sıcaklığı, bağıl nem (RH) dahil olmak üzere dış ortam koşulları, meteoroloji istasyonu verilerinden alınarak oda girişi için uygun sınır koşullarını belirlemek için kullanılır. Doğal havalandırma durumu için, İstanbul'da Temmuz ayında ortalama sıcaklık, Bağıl Nem ve Rüzgar Hızına dayalı olarak pencerelerden ofise giriş sıcaklığı ve bağıl nem oranı sırasıyla 24 °C ve % 65 olarak seçilmiştir. Eşitlik için akış hızı hesaplanır ve girişte sabitlenir. Havanın odaya % 5 türbülans şiddeti ile girdiği varsayılır. Giriş kinetik enerjisi, açıklığın türbülans yoğunluğuna ve hidrolik çapına göre aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\kappa = \frac{3}{2}\left(u_{avg} I\right)^2 \tag{4.2}$$

Burada k Türbülanslı Kinetik Enerji, Uavg ve I sırasıyla ortalama akış hızı ve türbülans yoğunluğu olarak kabul edilmiştir. Ek olarak, basınç sınırı koşulu (çıkış basıncı sabittir ve geri akış bastırılır) tavan, pencere ve kapı çıkışları dahil tüm çıkış açıklıkları için kullanılır. Ayrıca tüm duvarlara ve katı cisimlere kaymaz sınır koşulu uygulanır. Ayrıca ofisin tüm iç duvarları, zemini ve tavanı 25 °C'de tutulmaktadır. Kullanıcı, lamba ve bilgisayarın termal yükünün sırasıyla 75W, 34W ve 140W olduğu varsayılmıştır. Termal akılar, termal yüke karşılık gelen nesnenin alanına bölünmesiyle hesaplanır ve CFD kodunda ısı akısı olarak gösterilir. Tablolar ve diğer mobilyalara ısı yalıtımı sınır koşulları (sıfır ısı akısı) belirtilir. Odadan kirletici ve tozu ortadan kaldırmayı amaçlayan havalandırma sisteminin kapasitesini

değerlendirmek için CO_2 türlerinin ofiste taşınması simüle edilir. Ofisteki tek CO_2 kaynağı, her bir kullanıcının burnunda bulunan sabit bir CO_2 konsantrasyonu ile kütle akış girdisi olarak model olan kullanıcı ekshalasyonudur. Ortalama bir kişide ekshalasyon havasının kütle akış hızı ve ekshalasyondaki CO_2 konsantrasyonu literatürden [83] hesaplanır ve kullanıcı burun konumunda sınır koşulu olarak uygulanır. Ayrıca, önerilen sistemin döşeme ve mobilyadan kaynaklanan tozu dağıtma kabiliyeti değerlendirilir. Giriş havasının tozsuz olduğu ve tozun zeminden sabit bir oranda serbest bırakıldığı varsayılmıştır. (Sabit Akı Sınır Koşulu).

4.3.4. Çözüm yöntemi

Denklemin doğası gereği, basınç-hız ilişkisini hesaplamak için bağlaşım yöntem (coupled method)[8] kullanılmıştır. Yönetim denklemlerinin kalıntısı 10-6'dan az olana kadar çözümler birleşik olarak kabul edilmez. Ayrıca çözüm sürecinde çözüm ortalama sıcaklığı, bağıl nem ile bölgenin ısı ve kütle dengesinin doğruluğunun izlenmesi sağlanmıştır.

Yönetim denklemlerinin çözümleri için akıcı ticari kod kullanılmıştır. Yönetim denklemlerindeki konveksiyon terimleri, ikinci dereceden rüzgar üstü yöntemiyle ayrıklaştırma yöntemi kullanılırken, difüzyon terimleri için merkezi farklılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen cebirsel denklem sistemi, büyük matris sistemlerini paralel olarak çözebilen önceden koşullandırılmış bir eşlenik yinelemeli çözücü (PCGI) algoritması ile çözüldü. Ayrıklaştırma ve çözüm yönteminin ayrıntıları için (Roberto,2008) 'e bakınız.

Li ve Li'te önerilen yöntem kullanılarak hesaplanan ofis odalarındaki termal ve iç mekan hava durumunu, sıcaklığı, su buharı konsantrasyonunu ve basıncı ve bağıl nemi değerlendirmek için, bağıl nem ile ilgili aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\phi = \frac{P_W}{p_{ws}} \tag{4.3}$$

Pw, su buharının kısmi basıncıdır ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

[8] Bağlaşım (Coupling): Birden fazla sınıf/nesne arasında ilişkiyi temsil etmektedir.

$$p_w = \frac{(101325 + p)m_1}{0.62198 + 0.37802m_1} \tag{4.4}$$

Burada m1, havadaki su buharının kütle oranıdır. Pws, havadaki doyma basıncı su'dur:

$$p_{ws} = 1000\exp\left[-\frac{5.800\times1.0^2}{T+27315} - 5.516 - 4.864\times10^{-2}\right.$$
$$(T+273.15) + 4.176\times10^{-5}(T+273.15)^2 - 1.445\times10^{-8} \tag{4.5}$$
$$\left.(T+273.15)^3 + 6.546In(T+273.15)\right]$$

burada T, Santigrat derece (C) havanın sıcaklığıdır.

4.3.5. Termal konfor iç hava kalitesi

Farklı ofis büyüklüklerinde ve çalışma koşullarında hava akış penceresinin performansını ölçmek için, bu çalışmada elde edilen sonuçlar uluslararası havalandırma standartlarının belirlediği kriterlere göre değerlendirilmiştir. Bunu yapmak için, standartlar metninden çıkarılan ve Çizelge 2.2'de özetlenen farklı havalandırma standartlarında belirtilen koşullar, Çizelge 4.3'da görülebileceği üzere, havalandırma standartlarında kabul edilen iç ortam sıcaklığı, bağıl nem ve hız aralığı ile aynı zamanda sınırlar da belirtilmiştir. Odadaki kirleticilerden bahsedilir (İç Mekan Hava Kalitesi Kriterleri). Ofis odalarındaki termal ve iç mekan iklimini değerlendirmek için [94]'de önerilen yöntem kullanılarak sıcaklık, su buharı konsantrasyonu ve basınç ile bağıl nem hesaplanmıştır.

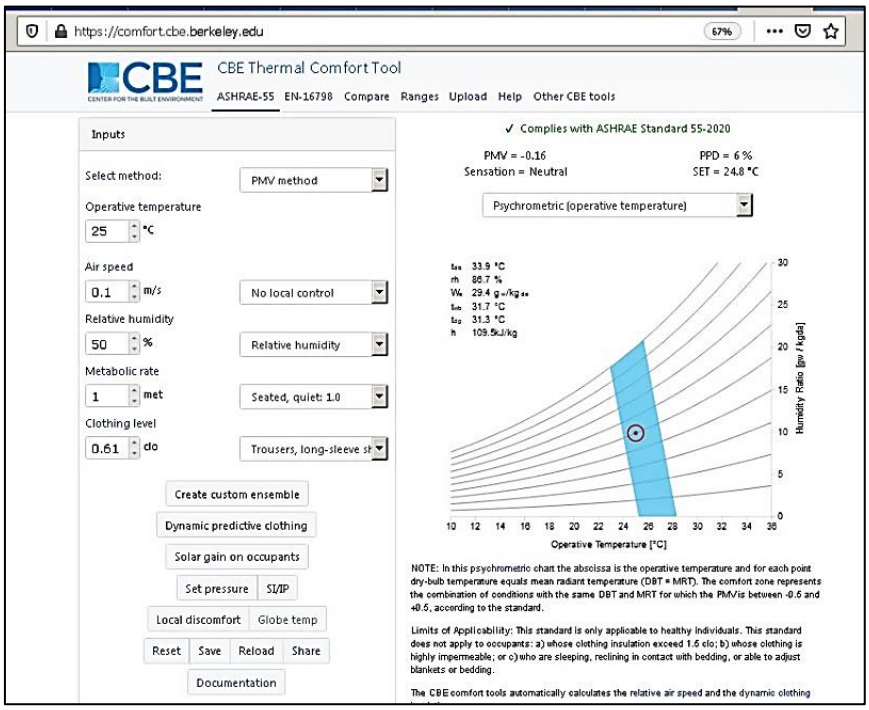
Termal konforun değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan diğer bir kriter, Fanger(2005) tarafından önerilen bir termal konfor modeli olan (PMV)[9] 'dir ve kararlı durum enerji dengesine dayanmaktadır.

Bu model başlangıçta ofis benzeri ortamlarda insan termal konforunu tahmin etmek için geliştirilmiştir. Basitliği ve kabul edilebilir tahminleri nedeniyle HVAC sistemlerinin değerlendirilmesinde popülerlik kazanmıştır. Bu modelden elde edilen puanlar aşırı soğuk ortam için -3 °C ile aşırı sıcak için +3 °C arasında değişmektedir. 0 PMV puanı, termal

[9] **PMV** Predicted Mean Vote) Isıl konfora etkiyen kişisel ve çevresel faktörlerin bileşenlerinin matematiksel olarak ifade edildiği değerdir

konfor bölgesi olarak adlandırılan nötr olarak kabul edilir. ASHRAE 55'te konfor bölgesi -0,5≤PMV≤ + 0,5 olarak tanımlanmıştır.

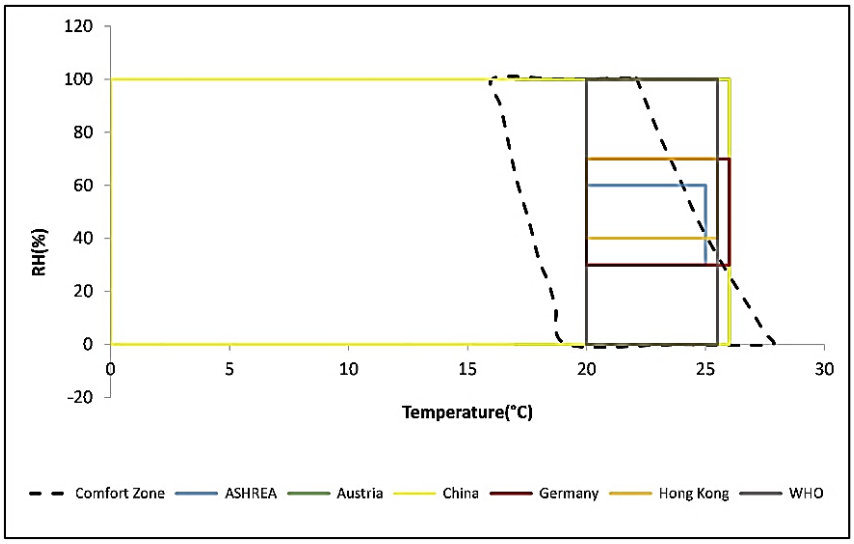
PMV'yi hesaplarken, ofis odasındaki personelin yazlık resmi elbiseleri giyerken hareketsiz konumda yazı yazdığı varsayılır. Bu nedenle Metabolizma Hızı, kumaş yalıtımı ve MRT[10] sırasıyla 1, 1, 0, 85 ve 25 °C'ye ayarlanmıştır. HVAC standartlarına göre, yazım için harici çalışma 0'dır. Giysi yalıtım seviyesi başlangıçta bilinmediğinden, ASHRAE 55'teki PMV denklemini çözmek için bir deneme süreci kullanılmalıdır. Bunun için C ++ programlama dilinde bir kod geliştirildi (Fluent UDF) ve sonuçları, ASHRAE 55 ve EN-16798'e dayalı termal konfor koşulunun hesaplanması için çevrimiçi bir araç olan CBE Thermal Comfort Tool [11] [137] ile doğrulanmıştır. (Şekil 4.7). Ayrıca, odadaki termal koşulların görselleştirilmesini ve çalışılan vakaların uluslararası havalandırma standartlarıyla uyumunu kolaylaştırmak için, Çizelge 2.2'de belirtilen sınırlamalar Şekil 4.8'da grafik olarak gösterilmiştir. Konfor bölgesi de bu şekilde siyah kesik çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 4.7. CBE termal konfor aracı

[10] MRT (mean radiant temperature) Ortalama radyan sıcaklığı : tek tip sıcaklık olarak tanımlanır. insan vücudundan radyan ısı transferinin , gerçek tek tip olmayan muhafazadaki radyan ısı transferine eşit olduğu hayali bir mahfaza. Wikipedia site:cekmekoyevdenevenakliyat.org

[11] CBE Thermal Comfort : center for the built environment https://comfort.cbe.berkeley.edu/

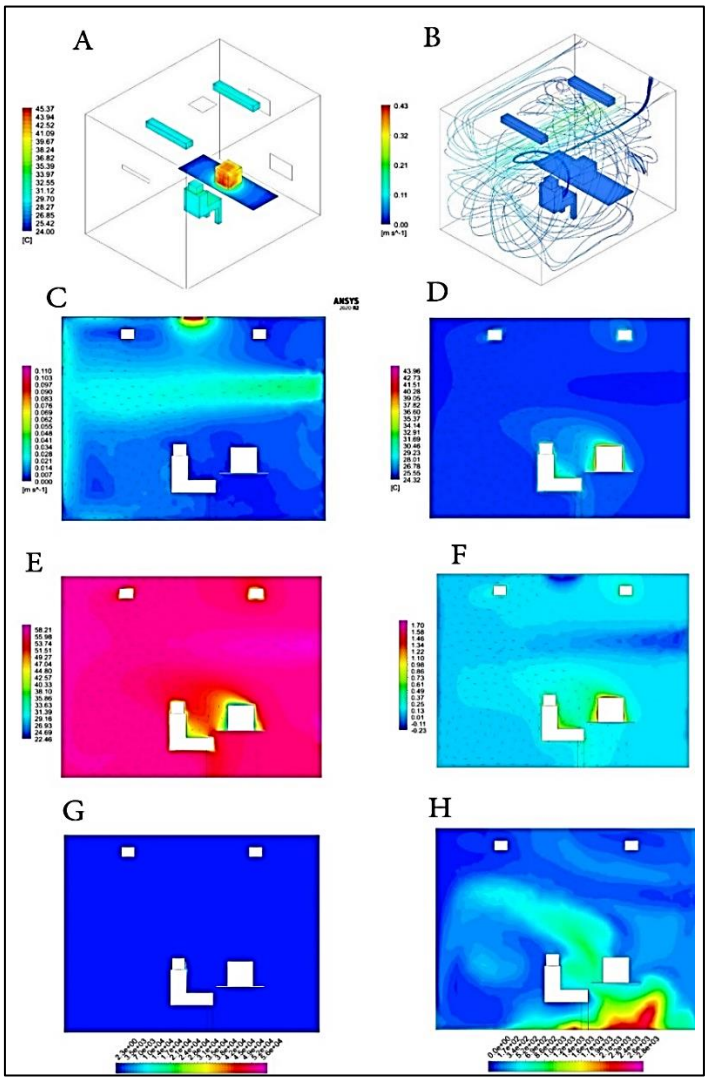


Şekil 4.8. Sıcaklıkta havalandırma standardı ve konfor bölgesi - RH çizelgesi

5. DEĞERLENDİRME

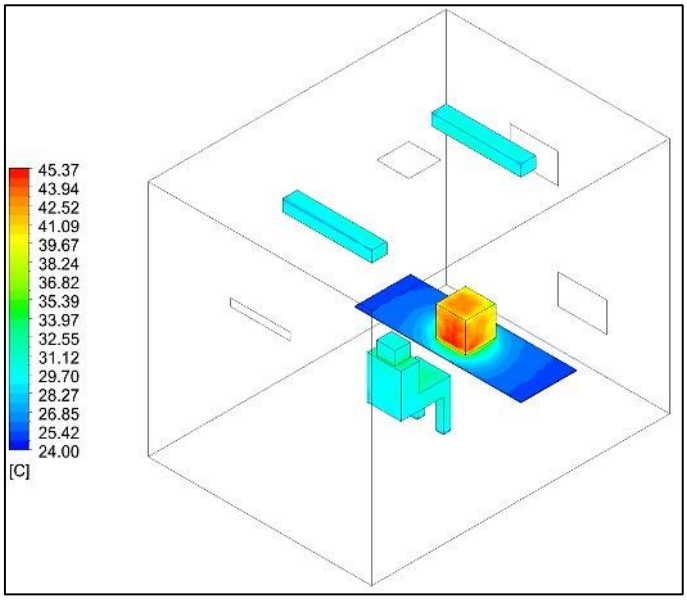
5.1. Doğal Havalandırma

Bu bölümde, hava akış penceresinden doğal havalandırmanın etkisi araştırılmıştır. Ofis odalarının doğal havalandırma modunda çalışan Hava Akışı penceresiyle havalandırıldığı varsayılmıştır. Pencerenin ürettiği akış, rüzgar ve kaldırma kuvvetinin birleşimiyle oluşturulur. Şekil 5 A-H'de küçük odadaki doğal havalandırmanın akış düzeni ve 40 cm kalınlığındeki pencereler (Durum D-K-4-S0-H0-B0) gösterilmektedir.



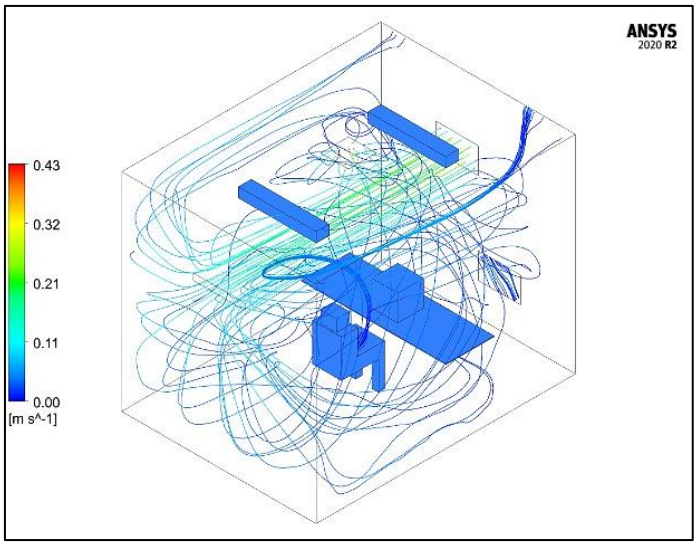
Şekil 5.1. D-K-4-S0-H0-b0 durumu için A) Akış çizgileri B) Sıcaklık konturları (3D) C) Hız D) Sıcaklık E) Bağıl nem (RH) F) PMVe G) CO_2 (PPM) H) Orta düzlemde toz dağılımı

Beklendiği gibi, bilgisayar lambaları gibi ısı kaynaklarının çevresindeki sıcaklık daha yüksektir ve maksimum sıcaklık bilgisayarın yüzeyinde yaklaşık 45°C'dir. (Şekil 5.1-A)



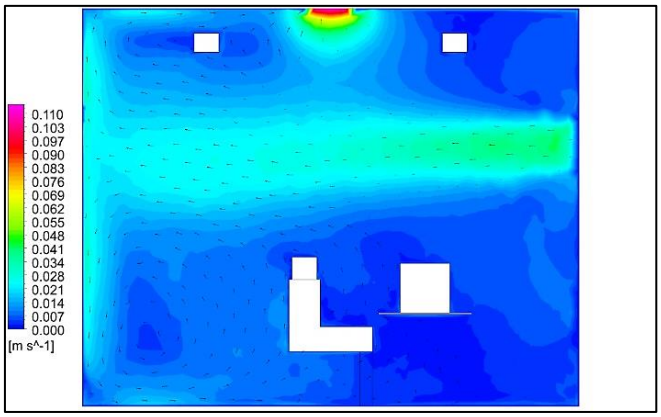
Şekil 5.2. A) Akış çizgileri D-K-4-S0-H0-b0 durumu

Hava, ofisteki doğal havalandırmadan içeri girerken, sirkülasyon bölgeleri olan odada karmaşık bir desen oluşturur. Odaya ısı transferinden sonra, sıcak hava, ofisi ya tavan çıkışından ya da pencere çıkışından terk eder.(Şekil 5.2)

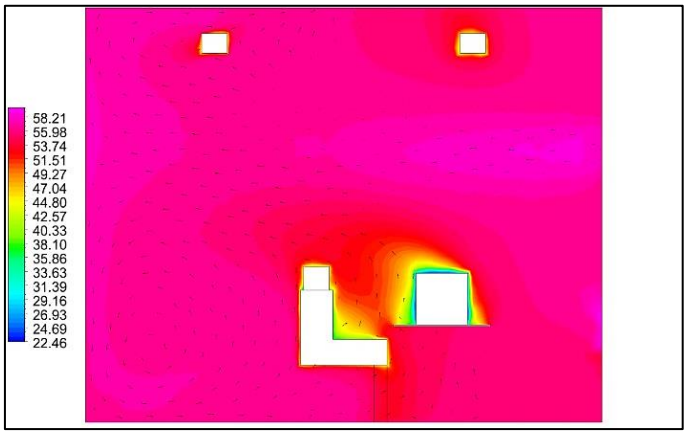


Şekil 5.3. B) Sıcaklık konturları (3D) D-K-4-S0-H0-b0 durumu

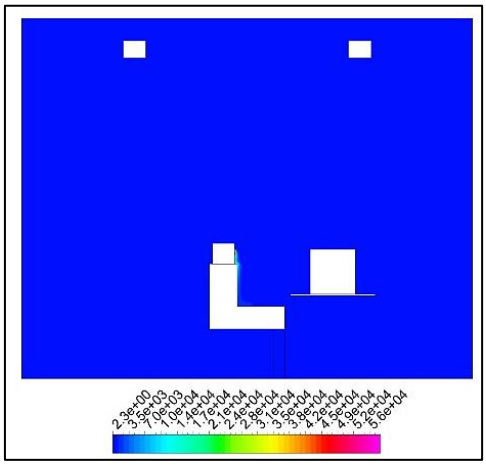
Şekil 5.3 'de gösterilen akış çizgileri, havanın çoğunun ofisten çıkışta tavandan çıktığını ve ofisten çıkan havanın daha az bir kısmının pencerelerin alt kısmından çıktığını gösterir.



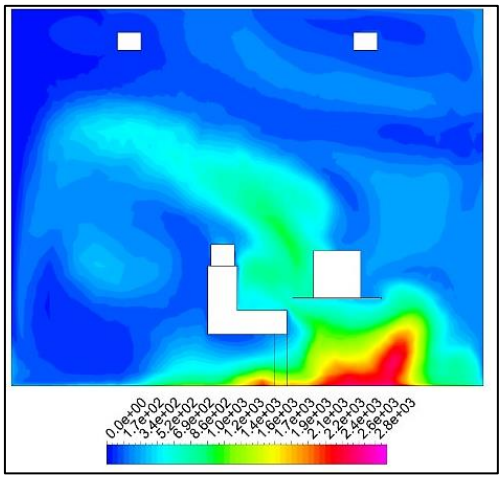
Şekil 5.4. C) Hız D-K-4-S0-H0-b0 durumu



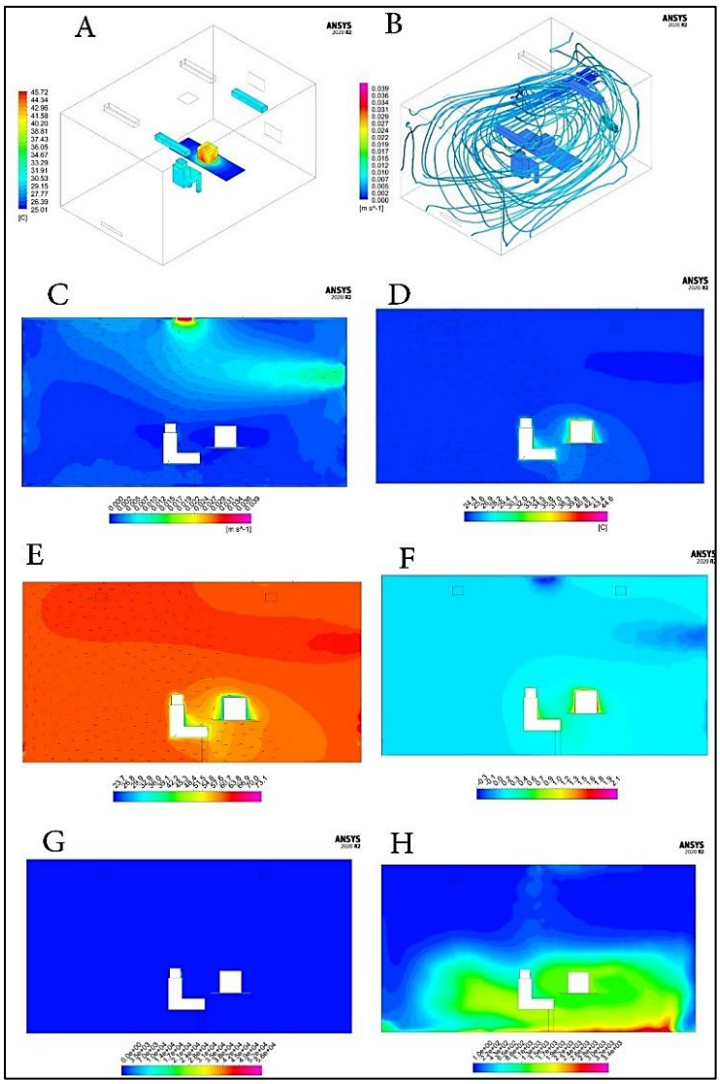
Şekil 5.5. Bağıl nem D-K-4-S0-H0-b0 durumu



Şekil 5.6. G) CO_2 (PPM) (D-K-4-S0-H0-B0 durumu)

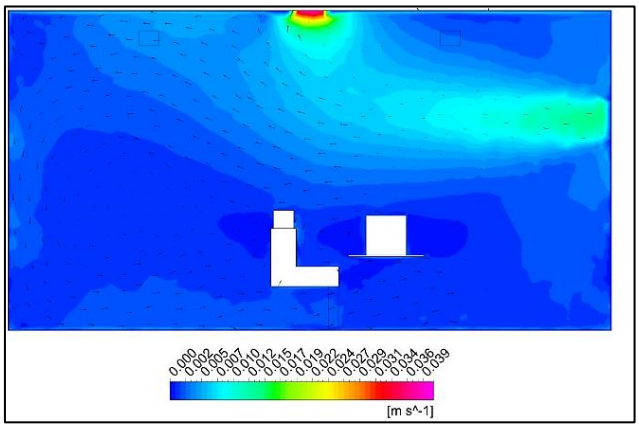


Şekil 5.7. H) $_{Orta}$ düzlemdeki toz dağılımı (D-K-4-S0-H0-B0 durumu)



Şekil 5.8 . D-O-4-S1-H1-b1 durumu A) Akış çizgileri B) Sıcaklık konturları (3D) C) Hız D) Sıcaklık E) RH F) PMVe G) CO2 (PPM) H) Orta düzlemdeki toz dağılımı

Şekil 5.9 -C'den açıkça görüleceği üzere, odanın içindeki herhangi bir kişinin çevresindeki hava akışının hızı, havalandırma standartlarında belirtilen hız sınırlarının oldukça altında olan 0.01 büyüklük derecesindedir.

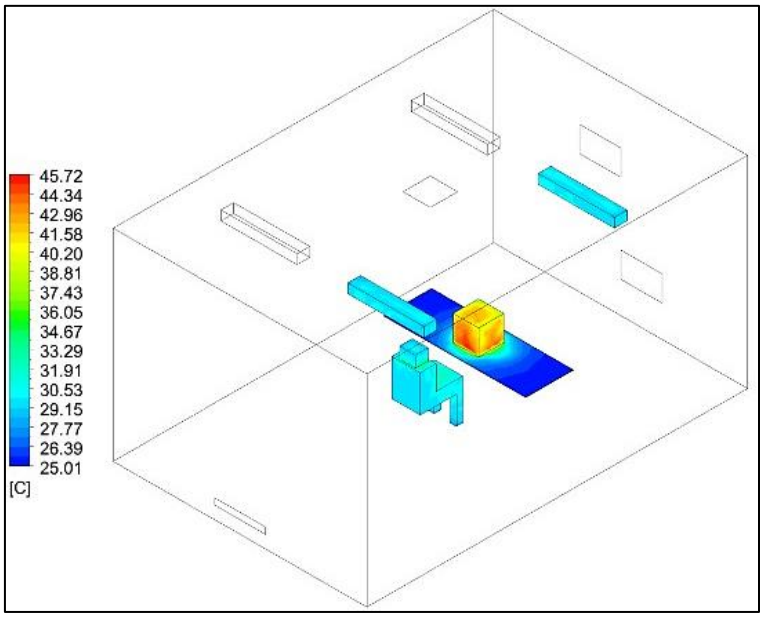


Şekil 5.9. C) Hız D-O-4-S1-H1-B1 durumu

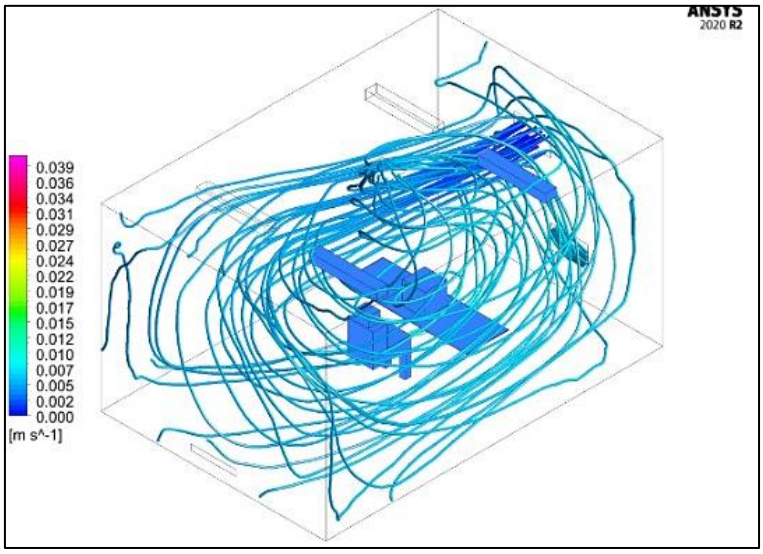
Havalandırma sistemi tarafından etkili bir şekilde soğutulmayan pencere çıkışının yakınında, kullanıcının önünde oluşan düşük hızda bir bölge, kullanıcının etrafındaki sıcaklık dağılımı düşünüldüğünde, ayak bilekleri etrafındaki hava sıcaklığı yaklaşık 24 °C iken vücudunun geri kalanı yaklaşık 10 °C daha sıcak hava akışına maruz kalır. Maksimum sıcaklık kalça ve göğsün yakınında bulunabilir. Bağıl hız eğilimi tersine çevrilir. Rh, ayaklarda daha yüksek ve üst gövde ve göğüste daha düşüktür. Tüm bu parametreler bina sakinlerinin termal konforunu etkiler. Şekil 5.4. D-K-4-S0-H0-B0 için genişletilmiş PMV'yi gösterir.

Bu düzenlemede görülebileceği gibi, üst vücut hafif durumdayken ayaklar rahat hissedecektir. Böylelikle, kullanıcı ayak seviyesinde doğal bir his ve biraz sıcak bir termal durum olduğunu bildirecektir. CO_2 ve toz dahil kirletici madde dağılımı şekil 5.5 ve şekil 5.6'de gösterilmektedir.

CO_2 konsantrasyonu yalnızca kullanıcının burnunun yakınında önemlidir ve diğer her yerde görmezden gelinebilir. Ayrıca zeminden çıkan toz, akıştan rahatsız olur ve çıkıştan uzaklaştırılır. Toz masanın altına hapsolur ve vücudun etrafında orta derecede toz bulunabilir. İzotermal olmayan yüzeylerdeki akış modeli sıcaklık konturları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'de gösterilmektedir.



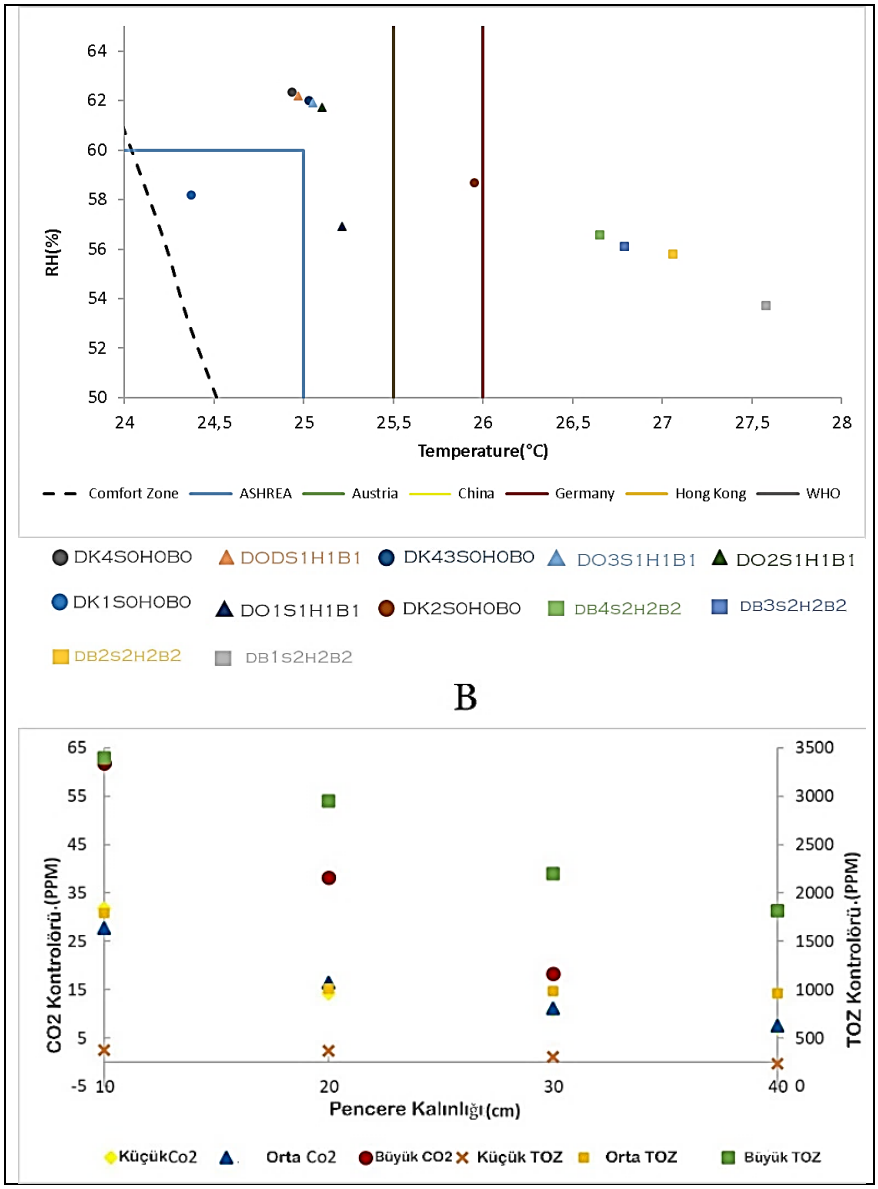
Şekil 5.10. A) Akış çizgileri (D-O-4-S1-H1-B1 durumu)



Şekil 5.11. B) Sıcaklık konturları (3D) -(D-O-4-S1-H1-B1 durumu)

Sıcak yüzeydeki sıcaklık dağılımı küçük odaya benzer, ancak ortalama sıcaklık biraz daha yüksektir, bu durum daha fazla termal kaynağa (4 lamba) ve odadaki daha fazla hava hacmine katkıda bulunabilir. Akış ve sıcaklık alanı, küçük odadaki karşılık gelen duruma benzer, ancak bu durumda, e-PVM'nin kullanıcı etrafındaki dağılımı, tek düzey olarak belirtilen aralığa düşer. Bu durumda doğal havalandırma yerel termal konfor koşullarını sağlayamaz. DK4000 durumu gibi, orta ofisindeki CO_2'in konsantrasyonu burun çevresindeki küçük bölgede çok yüksek ve diğer bölgelerde dikkate alınmayabilir. Üstelik toz, odanın sağ yarısında, pencere çıkışının yakınında zeminin altında birikir ve içeride

bulunan kişinin boyundan daha yükseğe çıkarak yukarı doğru akıştan kaybolur. Bu nedenle, kullanıcının toza maruz kalması ve onu soluması daha yüksek bir olasılıktır. Çalışılan tüm doğal havalandırma durumları için ortalama sıcaklık ve bağıl nem hesaplanır ve standart değerlendirme çizelgesinin üstünde Şekil 5.11-A'da gösterilir.



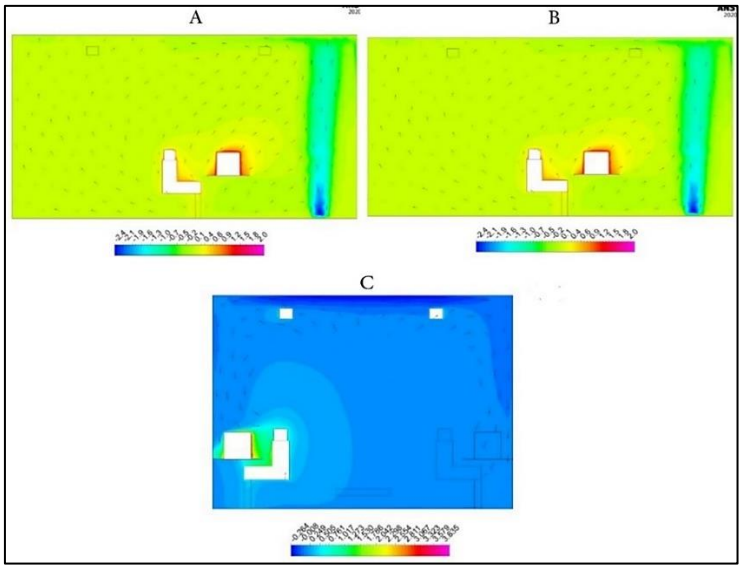
Şekil 5.12. A) Havalandırma standardı ve termal konforun de ğerlendirilmesi B) Kirletici (ler) doğal havalandırma durumları için konsantrasyon

Doğal havalandırma kasalarının hiçbiri termal konfor bölgesi içinde değildir. Dolayısıyla bu durumda, doğal havalandırma, ofisin bazı yerlerinde yerel termal konfor sağlayabilse de, ortalama olarak ofiste termal konforu sağlayamamaktadır.

Konveksiyon düşünüldüğünde, en iyi durum, ASHRAE standardıyla ve termal bölge sınırlarıyla çok uyumlu olan DK1S000'dir. Bunun aksine, doğal havalandırma bağıl nem ve sıcaklık koşullarını karşılayamaz. Küçük ve orta ölçekli ofislere ait diğer tüm vakalar ASHRAE tarafından belirlenen gereksinimleri karşılamıyor. Ancak Avusturya / Çin / Hong Kong standartları içindedir. Bu nedenle büyük ofislerde havalandırma standardında doğal havalandırmanın hem termal konfor sağlamada hem de termal şartların karşılanmasında etkili olmadığı söylenebilir. Orta ve küçük ofislerdeki ortalama sıcaklık ve bağıl nem, en fazla havalandırma standardı olan ASHRAE ile uyumludur, ancak konfor bölgesinin dışında (ancak çok yakın) uyumlu değildir.

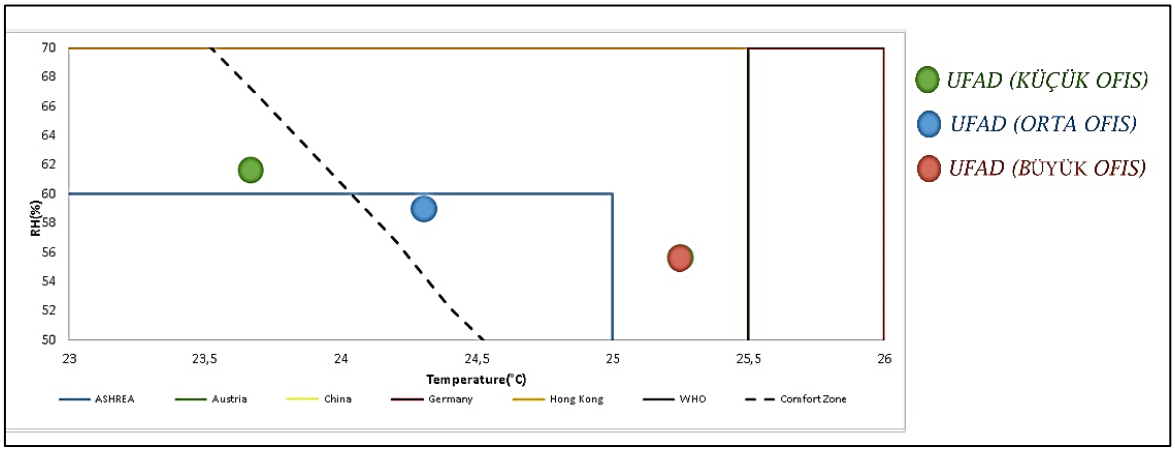
Doğal havalandırma altındaki ortalama CO_2 ve toz buharı konsantrasyonu Şekil 5.11-b'de verilmiştir. Ofislerdeki ortalama CO_2 konsantrasyonu, havalandırma standardında belirtilen sınırın % 10'undan azdır ve pencere açıklığı ve pencere kalınlığı arttıkça ortalama konsantrasyon azalır. Bu, artan pencere açıklığının odaya giren kütle akışında bir artışa yol açacağını gösterir. Bu durum ofisteki havanın daha sık değiştiği ve kirleticilerin ofisten daha iyi uzaklaştırıldığı anlamına gelir. Bu nedenle, hava akış pencerelerinin, çalışılan ofislerden toz ve kirletici maddenin etkin bir şekilde uzaklaştırılması için kullanılabileceği sonucuna varılabilir. Bunun en büyük avantajı, dışarıdan bir enerji tüketmeden doğal akış kullanılarak başarılmasıdır.

5.2. Zorlamalı Havalandırma



Şekil 5.13. UFAD sistemleri için toz konsantrasyonu (PPM) A) Küçük B) Orta C) Büyük ofis odaları

Zorlamalı havalandırma için toz konsantrasyonu şekil 5.12 (A-C) ‘de gösterilmektedir. Şekil 5.13’de UFAD [12] sisteminin termal performansı ve uygunluğu ile küçük odadaki havanın ortalama koşulları termal bölgenin içine düşer. Ancak ASHRAE standardındaki RH limitleri ile uyuşmaz. Bu nedenle, ASHRAE gerekliliklerini karşılamak için giriş nozulundaki havanın bağıl nemi azaltılmalıdır. Orta ofis için nokta, ASHRAE tarafından belirlenen sınırlar içindedir ancak termal konfor bölgesinin dışındadır (ve çok yakındır). Büyük ofis için elde edilen sonuçlar ne termal bölge ne de ASHRAE standardı ile uyuşmakta ancak Avusturya/Çin ve Almanya standartlarının sınırları içinde kalmaktadır.



Şekil 5.14. UFAD sistemi için havalandırma standardı ve termal konforun değerlendirilmesi

5.3. Karışık Havalandırma

Hava akış pencerelerinden doğal havalandırma, havalandırma standardının gereksinimlerini karşılamaz ve bazı durumlar dışında bina sakinleri için termal konfor sağlar. Bu nedenle, bina sakinlerine termal konfor sağlamak için pencere sistemine ek bir havalandırma sistemi dahil edilmelidir. Bunun için bu bölümde, ofis odası havalandırması için hava akış penceresinin oluşturduğu akışa ek olarak daha fazla giriş akışı gerektiğinde çalıştırılan hava akışının içine bir fan sistemi monte edildiği varsayılmıştır. Bu sistem, bölgede rüzgar olmadığında da kullanışlıdır. Ayrıca, hava akış penceresinin, gerektiğinde havadaki nemin ve sıcaklığın düşürülmesi için kullanılabilecek bir nem giderici ve soğutucu ile donatıldığı da varsayılmıştır.

[12] UFAD (Under floor Air Distribution)Döşeme altından soğutma

Daha fazla enerji gerektirmesine (fanlar tarafından tüketilen enerji) rağmen, karma veya kombine havalandırma modunun doğal havalandırma moduna göre temel avantajları, kontrol edilebilirliği ve ofislerde rüzgar olmasa veya rüzgar hızı çok düşük olsa bile termal konfor koşulunu sağlayabilmesidir.

CFD'den elde edilen ortalama sıcaklık ve bağıl nem, termal konfor bölgesini ve havalandırma standartlarını gösteren tabloya çizilir. Bu çizelgede, her noktanın rengi karşıladığı en katı standardın rengine karşılık gelir. Ayrıca her noktanın boyutu, UFAD'deki benzer duruma kıyasla göreceli enerji tüketimini gösterir. Her noktanın nispi enerji tüketimi de virgülden sonra nokta adındadır. Doğal havalandırma durumunda (D ile başlayan ad) veya enerji tüketimi çok düşük veya ihmal edilebilir konum olduğunda, durum küçük bir üçgenle ve virgülden sonra sayılarla işaretlenmişse, her ofis odasında, hava akış penceresinin girişi için hız, sıcaklık ve bağıl nem değişir.

Bu bölümün amacı, minimum miktarda harici enerji gerektirirken termal konfor ve havalandırma standartlarına uyan her oda için en iyi durumu bulmaktır.

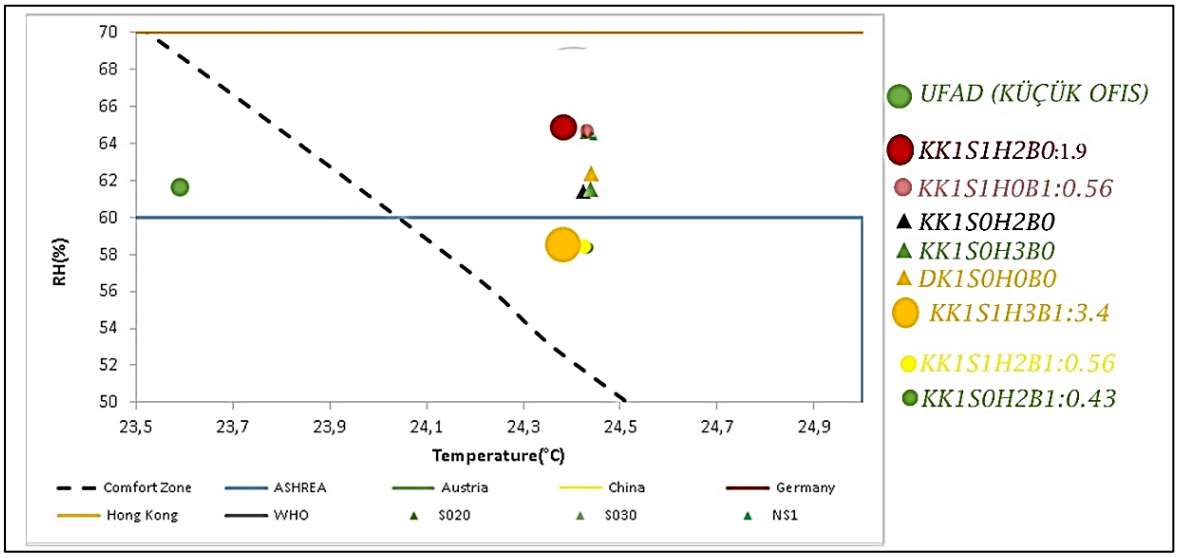
Hava akış penceresi için termodinamiğin birinci yasasından gelen termal dengeye göre, T1 ve RH1'den T2 ve RH2'ye nemli formları soğutmak için gereken enerji şunlardır:

$$E = m\left(h_O + {v_o^2}/{2} - h_i - {v_i^2}/{2} \right) \tag{5.1}$$

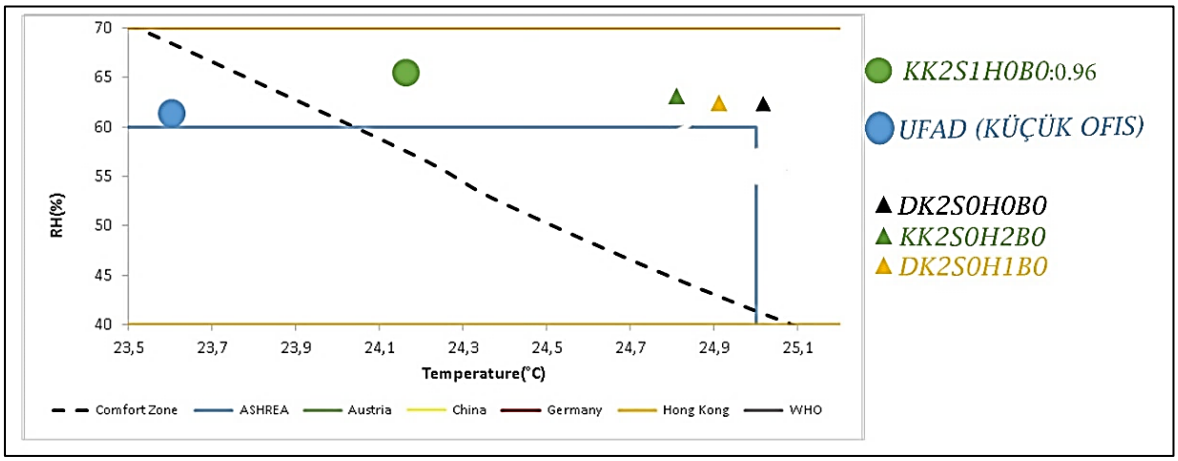
Abone olan o ve I, sırasıyla hava akış penceresinin dışındaki ve içindeki termal durumu gösterir.

Her durumda Entalpi'yi hesaplamak için Mollier diyagramı [83] kullanılır. Küçük ofiste karma havalandırma için termal konfor ve havalandırma standartları ile uyum Şekil 5.6 (A-D'de) değerlendirilmiştir. Pencere kalınlığı 10 cm olduğunda, ASHRAE standardı giriş hızının 1 m / s'ye yükseltilmesi ve bağıl nemin %60'a düşürülmesi ile karşılanabilir (Durum KK1S0H2B1). Bu durumda, sistemi soğutmak için gereken enerji, UFAD sistemi için gereken enerjinin yalnızca yarısı kadardır. Bu konfigürasyonda, UFAD sistemine rağmen, karma havalandırma, ASHRAE'nin daha az enerji tüketmesini sağlayacak şekilde konfigüre edilebilir. Diğer durumlar ya havalandırmada bir avantaj sağlamaz ya da karşılık gelen

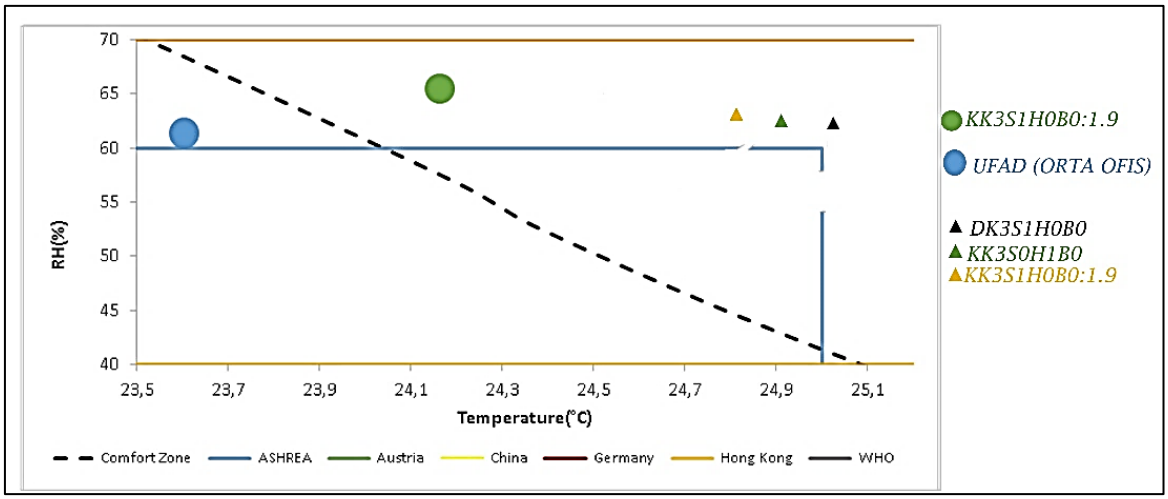
UFAD sisteminden (KK1S1H3B1) daha fazla enerji gerektirir. Ancak tümü Avusturya / Çin havalandırma standardı sınırının içinde ve konfor bölgesinin dışında yer alır. Bu nedenle KK2S0H2B1, hava akış penceresi karışık havalandırma için en iyi çalışma durumu olarak belirlenebilir.



Şekil 5.15. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 10 cm)

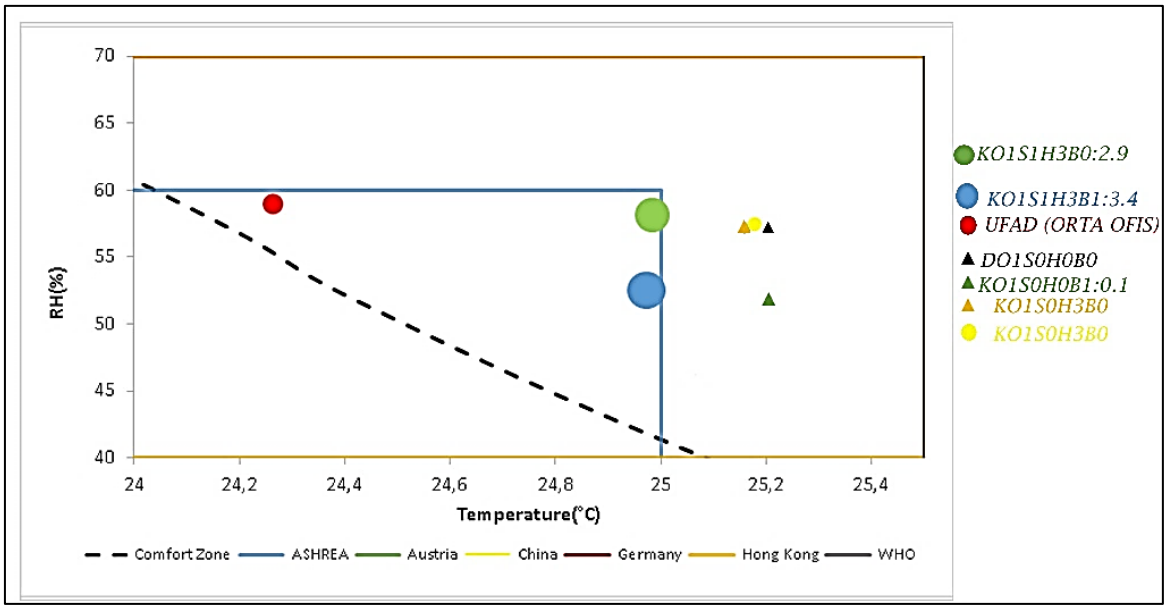


Şekil 5.16. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 20 cm)

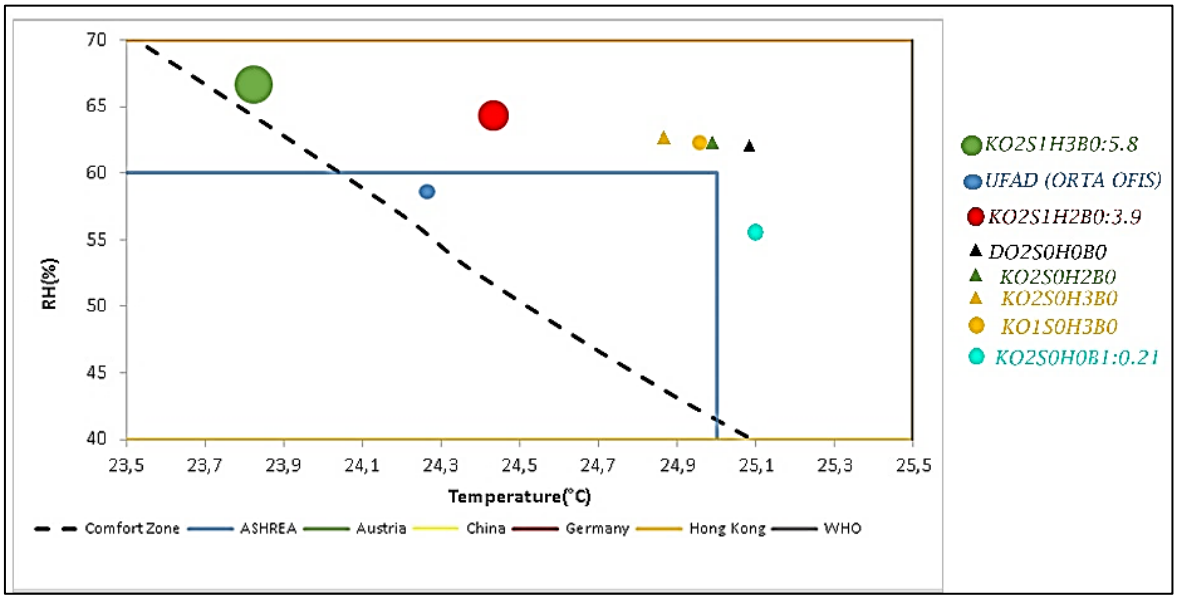


Şekil 5.17. Küçük ofiste havalandırma standardı ve karma havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 30 cm)

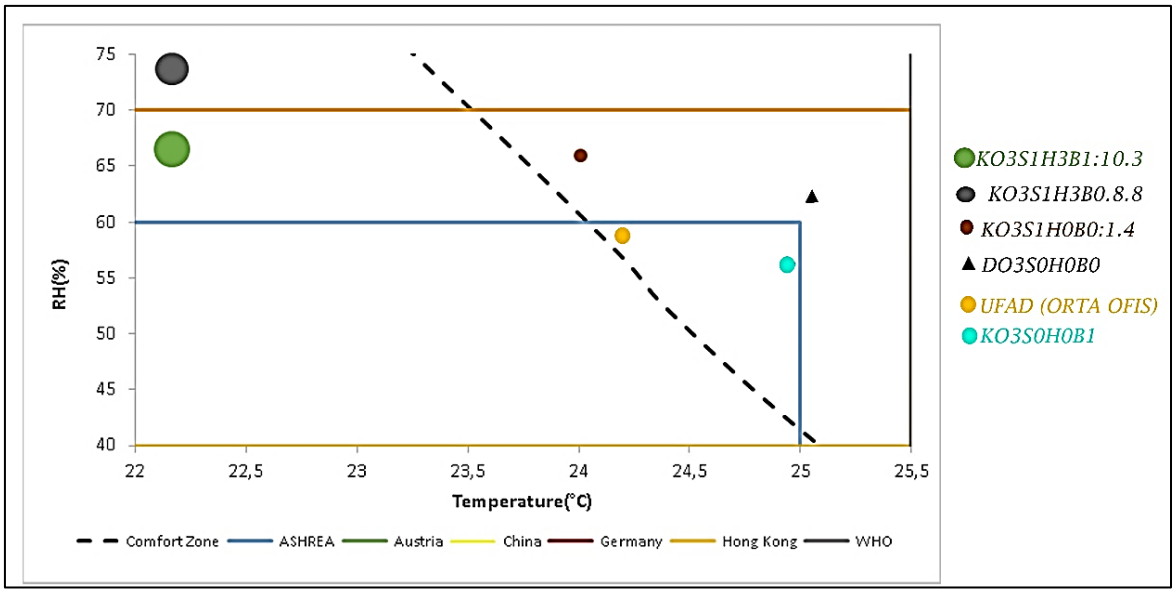
Orta büyüklükteki ofiste karma havalandırma sonucu Şekil 5.17'da sunulmuştur. Şekil 5.14 A'nin (10 cm pencere kalınlığı) incelenmesi, KO1S1H3B0 ve KOS1H3B1 kasalarının ASHRAE bölgesinde olduğunu, ancak bunların enerji tüketiminin benzer UFAD sisteminden daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu konfigürasyon için en iyi durum yoktur. Bu, 20 cm pencere için aynıdır, ancak 30 cm'lik pencere açılması söz konusu olduğunda, ASHRAE gereksinimleri yalnızca, UFAD sistemine kıyasla gerekli enerjisi ihmal edilebilir olan giriş havasının % 65'ten % 60'a neminin alınmasıyla karşılanacaktır. Termal konfor amaçlandığında, enerji tüketiminin UFAD sisteminin yaklaşık 8,8 katı olması ilginçtir. Bu da, bu durumun ekonomik olarak mümkün olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, bu konfigürasyonda en iyi durum KO3S0H0B1'dir. 40 cm'lik pencereler aynı eğilimi takip eder. Bu konfigürasyonda KO4S0H0B1 de en iyi çalışma durumudur. Ancak hava akışı penceresinin enerji tüketimi, karşılık gelen UFAD durumunun yaklaşık yarısı kadardır. Enerji tüketimindeki artış, giriş açıklığı alanındaki bir artıştan ve Hava Akış Penceresinin kütle akış hızındaki artıştan kaynaklanmaktadır.



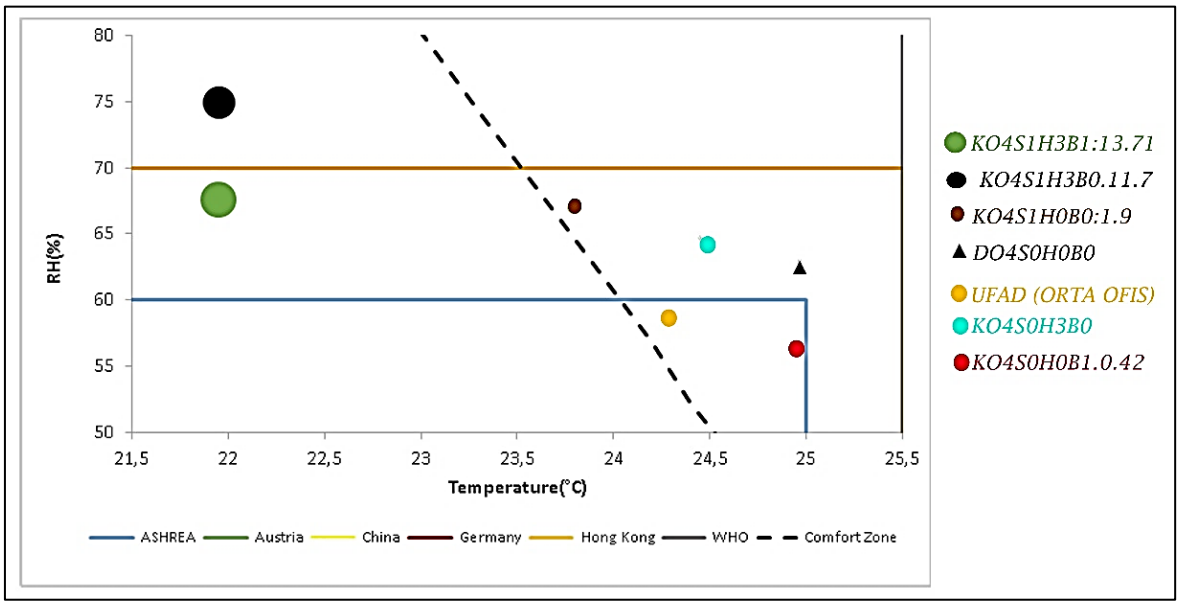
Şekil 5.18. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (Pencere kalınlığı 10 cm)



Şekil 5.19. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 20 cm)



Şekil 5.20. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 30 cm)

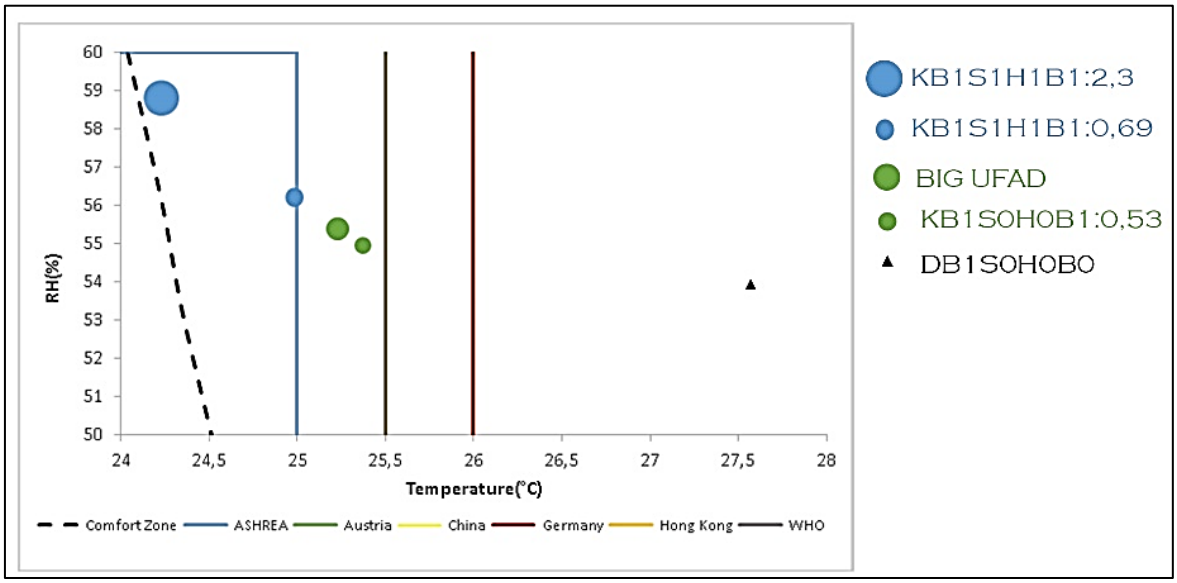


Şekil 5.21. Orta ofiste havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 40 cm)

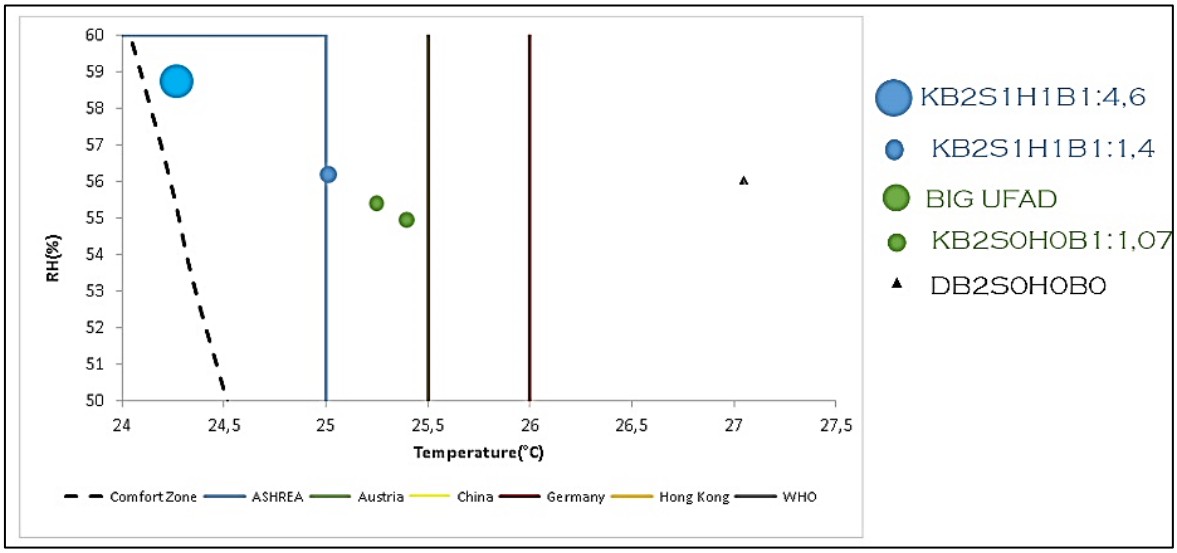
Görüldüğü üzere, doğal havalandırma Şekil 5.21 büyük bir ofisteki ısıl konfor koşulunu karşılamıyorsa havalandırma bölgesini de karşılamamaktadır. Bu nedenle, çalışma ofisleri havalandırma sistemi olduğunda her zaman karma modda çalıştırılmalıdır.

Karışık havalandırma kullanılarak, 10 cm'lik kalınlığındaki bir hava akımı penceresinden havalandırılan büyük ofisteki durum, havalandırma standardını karşılayacak şekilde

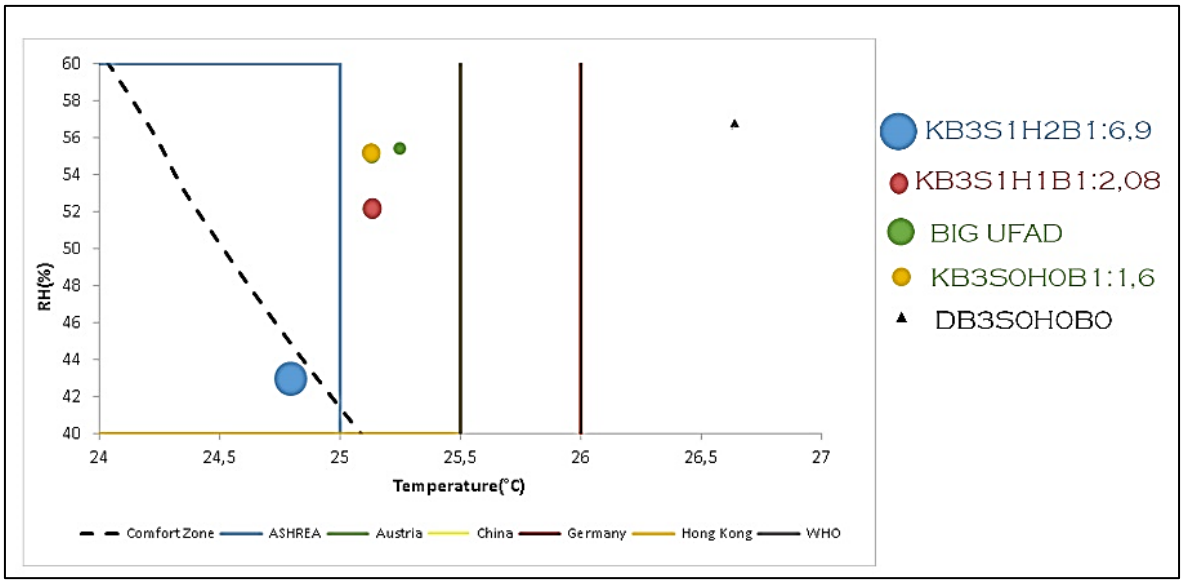
değiştirilebilir. Bu konfigürasyonda en iyi durum, havanın 20 °C'ye soğutulduğu, hızın 0,5 m / s'ye yükseldiği ve Rh girişinin %60 olduğu KB1S1H1B1'dir. Sadece bağıl nemi % 65'ten % 60'a düşürerek ASHRAE dışındaki çoğu havalandırma standardının karşılanması da ilginçtir.



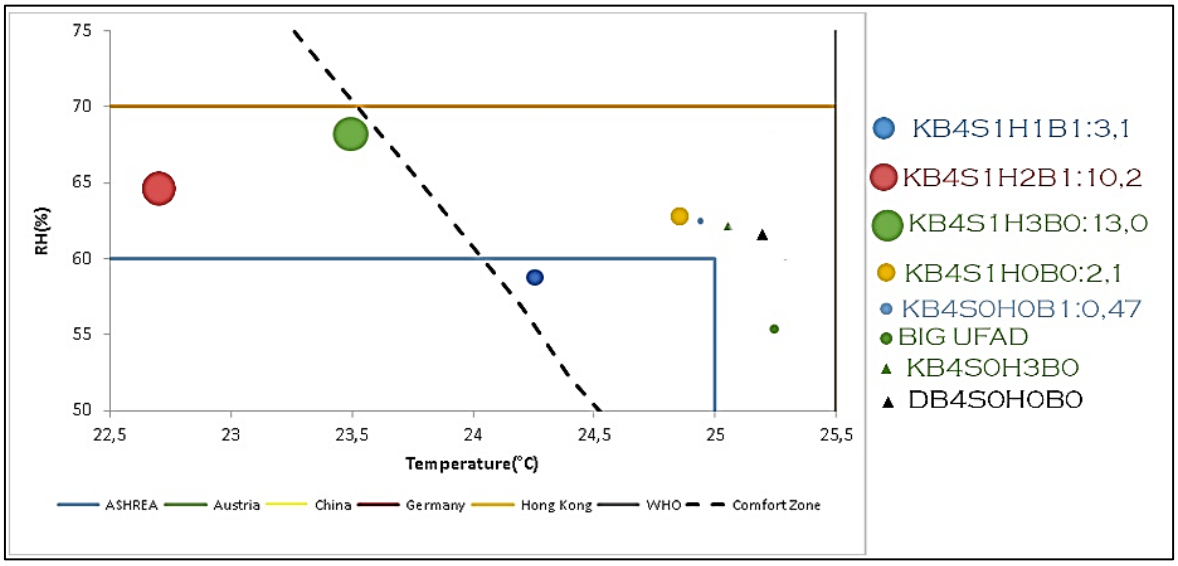
Şekil 5.22. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 10 cm)



Şekil 5.23. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 20 cm)



Şekil 5.24. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 30 cm)



Şekil 5.25. Büyük ofis havalandırma standardı ve karışık havalandırmanın termal konforunun değerlendirilmesi (pencere kalınlığı 40 cm)

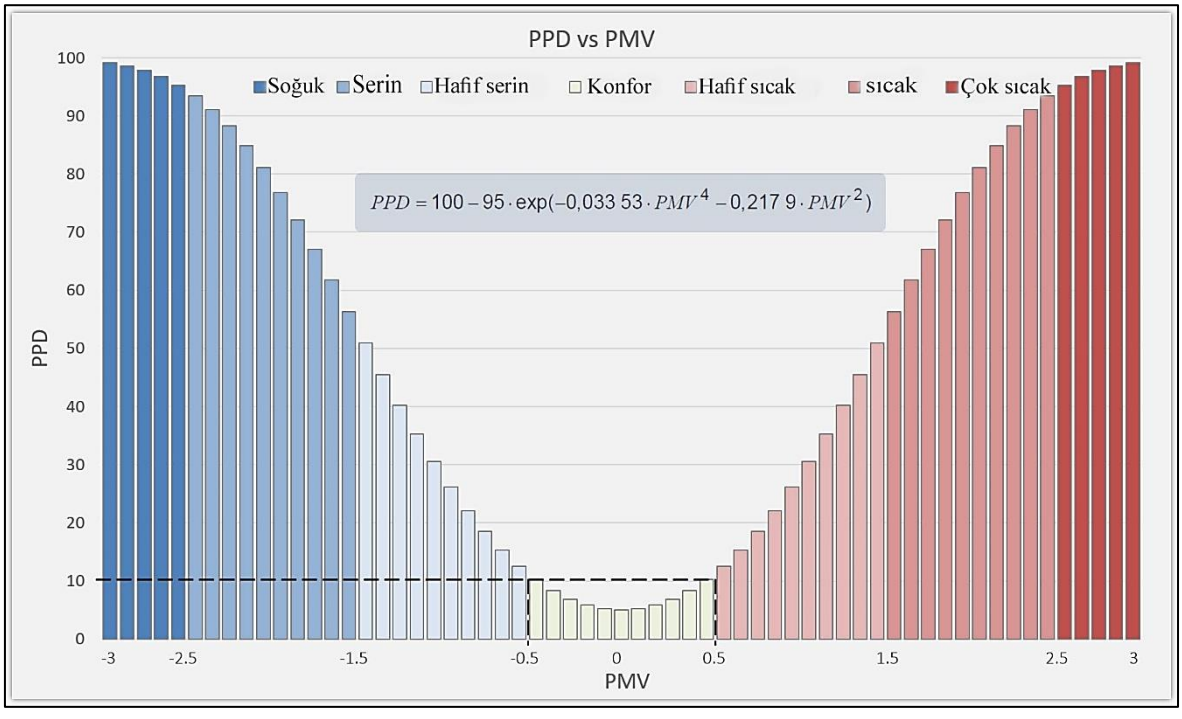
20 cm kalınlığa sahip pencerelerde tasarım parametrelerini değiştirmek benzer davranışa neden olacaktır. Bununla birlikte, enerji tüketim oranı her durumda 1'den büyüktür. Bu durumda, hava akışının uygulanması bu konfigürasyonda mümkün değildir. Havalandırma standartları 10 cm'lik pencereler kullanılarak karşılanabilse de, bu konfigürasyon birkaç kez harici enerji gerektirir ki bu da mumkun değildir.

Bu nedenle, önerilen hava akış penceresinin (10 cm kalınlığı hariç), hem doğal ortamda hem de UFAD sisteminden daha az enerji tüketimine eşit dış enerji ile aynı seviyede dış enerji ile havalandırma standartlarına uygun iç mekan kliması ve ısıl koşulu sağlayamayacağı sonucuna varılabilir. Veya karışık çalışma modu, ayrıca tüm pencerelerde UFAD sisteminden daha fazla dış enerji talep etmeden termal konfor bölgesi içinde kalan bir kasa yoktur. Bu nedenle, bina sakinleri için termal konfor sağlandığında amaçlanan hava akış pencerelerinin ekonomik olarak verimli olmadığı sonucuna varılabilir. Ancak çoğu durumda, karışık havalandırma kullanılarak ve ilgili konfigürasyonlar için gereken enerjinin yalnızca bir kısmını tüketerek havalandırma standardı karşılanabilir.

5.4. Sonuçların Karşılaştırması

Bu bölümde yukarıda elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırmıştır. Karşılaştırmada PMV ve PPD değerleri için çizelge 5.1 de verilen referans değerleri kullanılşmıştır.

Çizelge 5.1. Farklı miktarlardaki PMV ve PPD için bireylerin ısı duyumlarının dağılımı



Konfor Kriterleri: PMV değeri -0.5 ile +0.5 arasında olduğunda sakinlerin konforu sağlanır. Memnun olmayan kişilerin karşılık gelen tahmini yüzdesi %10'un altına düşer.

Çizelge 5.2. Küçük oda CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

Küçük Oda		Air temperature [C]	Air velocity [m/s]	Relative humidity [%]	PMV	PPD	ASHRAE 55	Almanya-German Environment Agency	WHO- Dünya Sağlık Örgütü- 2005 yılında yayınlanan hava kalitesi standardı	Hong Kong-Çevre Koruma Departmanı	Çin- Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardı (GB3095-2012)	EPA-Çevreyi Koruma Ajansı -2012'de yayınlanan hava kalitesi standardı	CBE Thermal Comfort Tool EN-16798	ASHRAE 55-2020
Doğal Havalandırma	DK1	24,4	0,0201	64,39	0,06	5,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	DK2	25,02	0,0292	62,20	0.15	5.5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	DK3	25,94	0,0260	58,88	0,6	12,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	DK4	24,92	0,0398	62,55	0,41	12,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
orlamalı Havalandırma	Small UFAD	23,6	0,02455	61,40	0,51	10,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
Karışık Havalandırmanın	Kk1S020	24,42	0,0664	64,46	0,49	10	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk1S120	24,39	0,0652	64,59	0,49	9,9	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔

Çizelge 5.2. (devam) Küçük oda CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

	Kk1021	24,44	0,0645	58,10	0,44	9,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk1030	24,43	0,1011	64,40	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk1101	24,44	0,0652	64,40	0,49	10	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk1121	24,43	0,0187	58,15	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk131	24,38	0,0645	58,29	0,44	9	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk2010	24,91	0,0536	62,61	0,57	11,9	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk2020	24,81	0,1138	62,97	0,5	10,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk2100	24,15	0,0230	65,58	0,49	10	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk4010	24,77	0,0802	63,12	0,52	10,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk4020	24,58	0,1501	63,81	0,33	7,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	Kk4100	24,09	0,0392	65,86	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔

Çizelge 5.3. Orta oda CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

Orta Oda		Air temperature [C]	Air velocity [m/s]	Relative humidity [%]	PMV	PPD	ASHRAE 55	Almanya-German Environment Agency	WHO- Dünya Sağlık Örgütü- 2005 yılında yayınlanan hava kalitesi standardı	Hong Kong-Çevre Koruma Departmanı	Çin- Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardı (GB3095-2012)	EPA-Çevreyi Koruma Ajansı -2012'de yayınlanan hava kalitesi standardı	CBE Thermal Comfort Tool EN-16798	ASHRAE 55-2020
Doğal Havalandırma	DO1	25,20	0,0285	57,12	0,18	22,7	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	D2O	25,09	0,0159	61,93	0,18	20,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	DO3	25,04	0,0200	62,11	0,16	19,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	DO4	24,96	0,0250	62,41	0.14	18,7	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
Zorlamalı Havalandırma	Medium UFAD	24,26	0,0395	58,72	0,59	12,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
Karışık Havalandırmanın	K O 11	25,20	0,0285	57,12	0,59	12,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO1030	25,16	0,0616	57,27	0,55	11,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔

Çizelge 5.3. (devam) Orta Oda CFD sonuçların İç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

	KO1001	25,20	0,0216	51,54	0,55	11,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO1100	25,17	0,0219	57,21	0,59	12,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	K O1130	24,98	0,06208	57,89	0,53	10,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO1131	24,97	0,0634	52,27	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	K O 22	25,09	0,0159	61,93	0,61	12,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2100	24,95	0,0158	62,44	0,59	12,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2001	25,09	0,0158	55,86	0,56	11,7	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2020	24,98	0,0793	62,30	0,54	11,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2120	24,43	0,0793	64,45	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2030	24,86	0,1337	62,77	0,44	9,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO2130	23,82	0,1337	66,84	0,29	6,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	K O3001	25,03	0,0206	56,08	0,56	11,5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO3100	24,07	0,0200	65,83	0,48	9,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO3130	22,23	0,1663	73,58	0,02	5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	KO3131	22,23	0,1665	66,40	0,06	5,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	KO4030	24,47	0,1862	64,23	0,23	6,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO4001	24,94	0,0257	56,35	0,55	11,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO4100	23,76	0,0250	67,07	0,44	9	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KO4130	21,91	0,18621	75,01	0,08	5,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	KO4131	21,91	0,1862	67,69	0,13	5,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗

Çizelge 5.4. Büyük oda CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

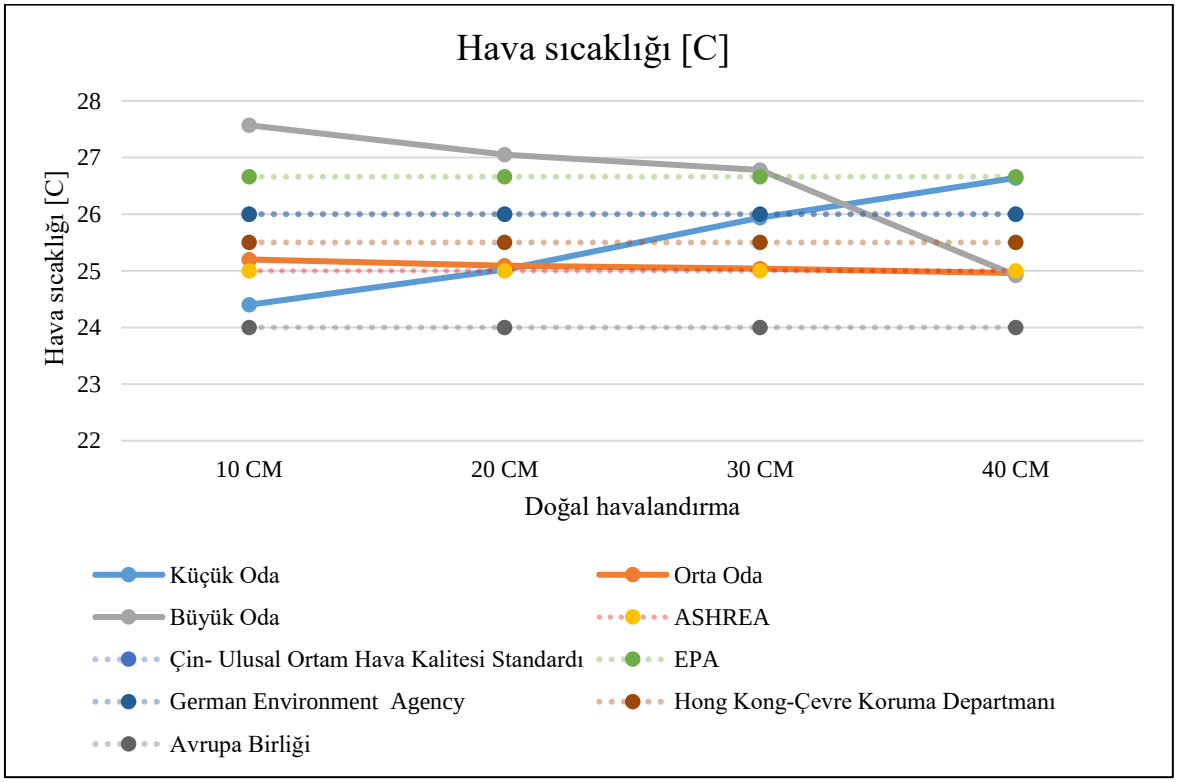
Büyük Oda		Hava sıcaklığı [C]	Hava hızı [m/s]	Bağıl nem [%]	PMV	P PD	ASHRAE 55-55-1962	Almanya-German Environment Agency	WHO- Dünya Sağlık Örgütü- 2005 yılında yayınlanan hava kalitesi standardı	Hong Kong-Çevre Koruma Departmanı	Çin- Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standardı (GB3095-2012)	EPA-Çevreyi Koruma Ajansı -2012'de yayınlanan hava kalitesi standardı	CBE Thermal Comfort Tool EN-16798	ASHRAE 55-2020
Doğal havalandırma	DB1	27,57	0,0093	53,92	0,54	11,2	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	DB2	27,05	0,0126	56,02	0,47	9,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	DB3	26,78	0,0152	56,33	0,43	8,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✗
	DB4	26,64	0,0179	56,78	0,41	8,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✗
Zorlamalı Havalandırma	Big UFAD	25,24	0,0245	55,40	0,7	15,5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
Karışık Havalandırma	KB1001	25,39	0,0098	54,94	0,6	12,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB1111	25,00	0,0201	56,20	0,55	11,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB1121	24,24	0,0538	58,80	0,45	9,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	K2B001	25,39	0,0098	54,93	0,6	12,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB2111	25,01	0,0202	56,18	0,55	11,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB2121	24,26	0,0542	58,73	0,46	9,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB3001	25,07	0,0150	55,08	0,55	11,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✓	✓
	KB3111	25,13	0,0363	52,16	0,54	11,1	S H B	S H B	S H B	S H B	S H B	S H B	✓	✓

Çizelge 5.4. (devam) Büyük oda CFD sonuçlarn iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi

	KB3121	24,79	0,0709	42,97	0,37	7,8	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4111	24,25	0,0516	58,75	0,46	9,3	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4121	22,70	0,1214	64,55	0,16	5,5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗
	KB4030	25,05	0,0505	62,08	0,6	12,5	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4001	24,942	0,0866	62,49	0,54	11,1	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4100	24,55	0,1217	62,81	0,47	9,6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4130	23,49	0,0505	68,19	0,4	8,4	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✔	✔
	KB4131	22,72	0,1217	71,44	0,22	6	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	S H b	✗	✗

5.4.1. Doğal havalandırma

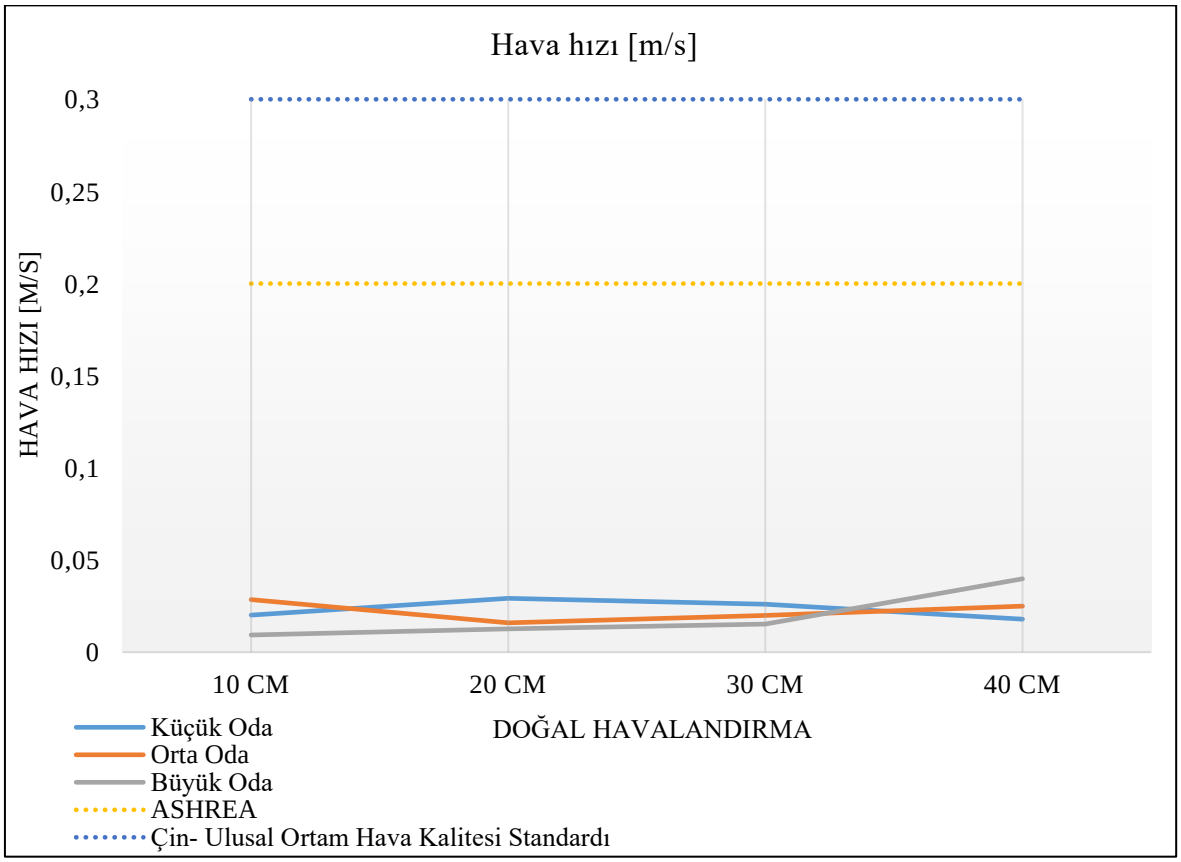
Çizelge 5.5. Doğal havalandırma iç hava sıcaklığa göre CFD sonuçlarn iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Sıcaklık analizi sonuçlarına göre, en yüksek sıcaklıklar 10, 20 ve 30 cm açıklığa sahip pencereli büyük oda (DB1 ve DB2) ve 40 cm açıklığa sahip pencereli küçük (DK4) oda olarak saptanmıştır. Bu en yüksek sıcaklıkların hiçbiri iç hava kalitesi sıcaklık kriterini karşılamamaktadır. Küçük (Standart) ve Orta büyüklükteki odalarda ise standart kriterlerinin çoğunluğunun karşılandığı görülmüştür.

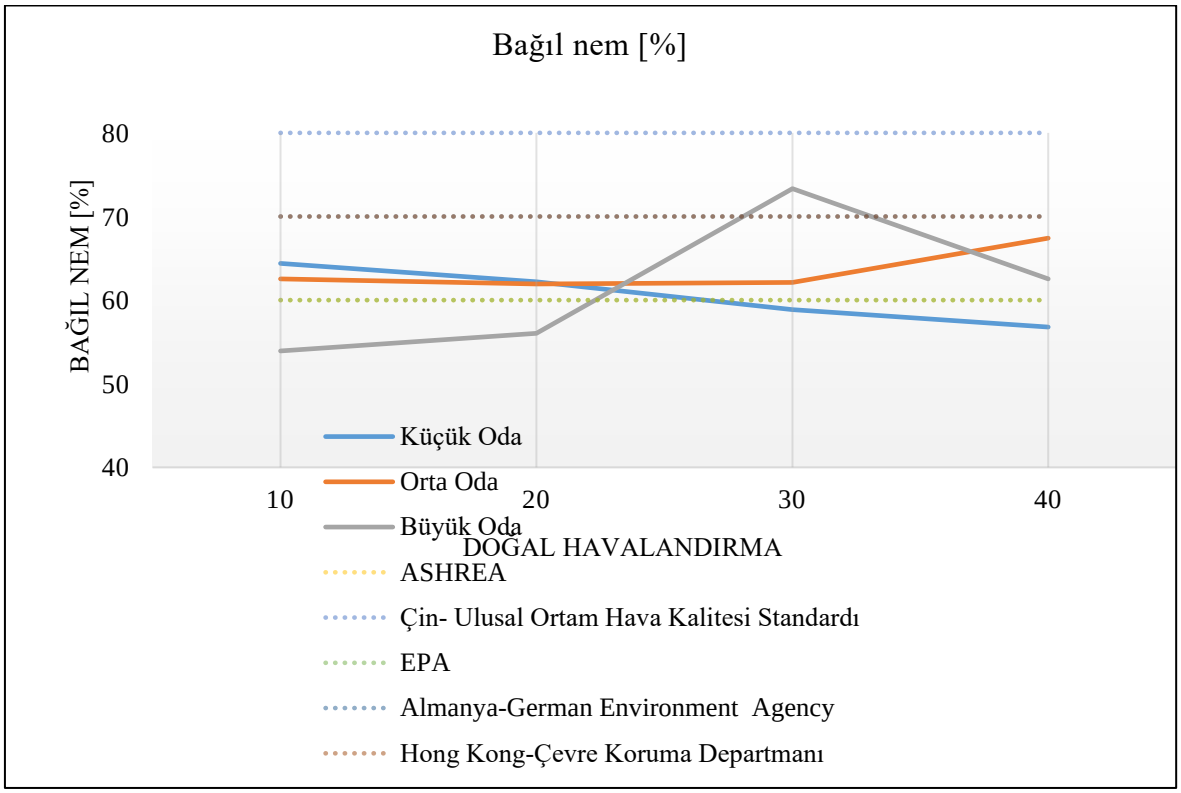
Standart odanın 2 misli büyüklükteki (orta) odanın sağladığı iç sıcaklık değerlerinin her pencere kalınlığı için sabite yakın olduğu tespit edilmiştir. En düşük iç sıcaklık değeri standart büyüklükteki odada (küçük) 10 cm kalınlığa sahip pencereli durumda gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.6. Doğal havalandırma iç hava hızına göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



İç ortam havasının en düşük ve en yüksek hava hızları tüm alternatifler için birbirine yakın değerlere vermektedir. Bu değerler standartlarda verilen kabul edilebilir kriter değerlerin çok altında kalmaktadırlar. Buradan havalandırmalı pencerelerin iç hava hızı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucunu vermektedir.

Çizelge 5.7. Doğal havalandırma iç bağıl neme göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



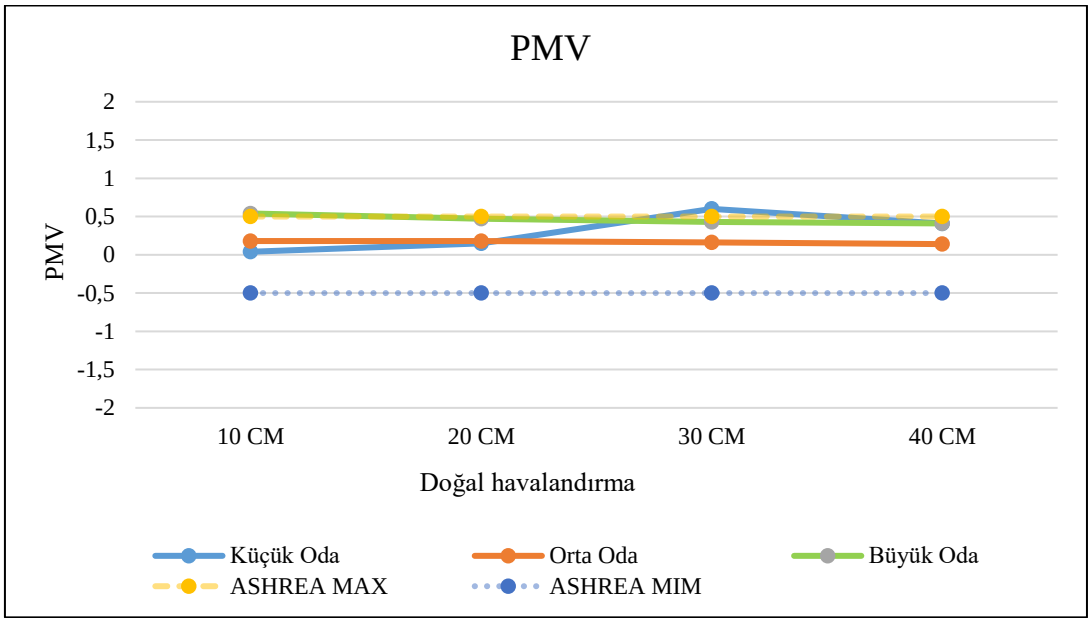
Odalardaki bağıl nem; orta ve büyük odalarda pencere kalınlığı arttıkça yükselmekte, standart odada (küçük) ise pencere kalınlığı arttıkça az miktarda düşmektedir. Pencere kalınlığı ile bağıl nem arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır.

Sonuçların çoğunluğu Çin ve Hong Kong standartlarını karşılamakta, ancak ASHREA ve diğer standartların kriterlerini; 10-20 cm. kalınlığında penceresi olan büyük oda ile 30 ve 40 cm. kalınlığında pencereye sahip standart (küçük) oda karşılamaktadır.

Genelde pencere kalınlığı arttıkça odadaki bağıl nemin arttığı gözlemlenmektedir.

Bu grafik ile hava sıcaklığı grafiği karşılaştırıldığında ise; Her kalınlıktaki pencere ve oda büyüklüğünde hava sıcaklığı arttıkça bağıl nemin düştüğü tespit edilmiştir.

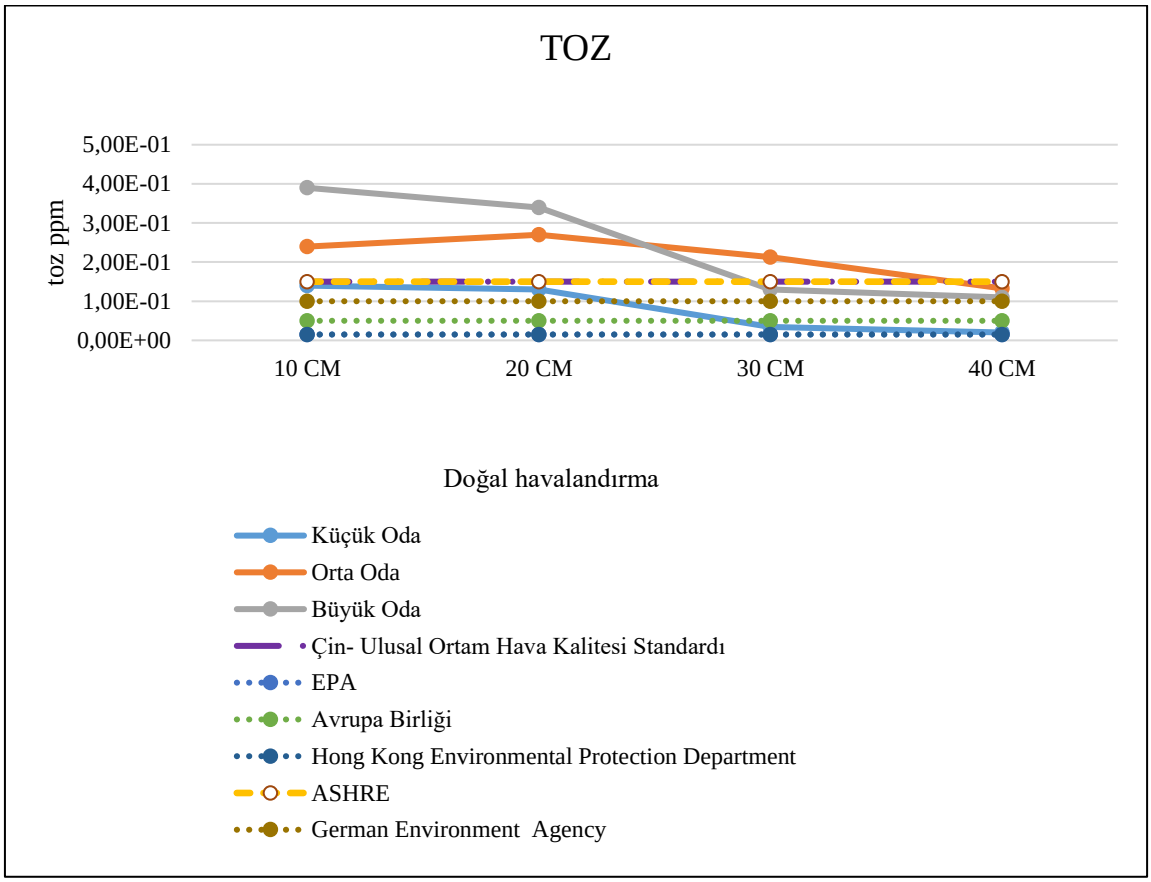
Çizelge 5.8. Doğal havalandırma PMV'ye göre CFD sonuçlarn iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Sıcaklık, hava hızı ve nemden dolayı alternatif odalardaki ASHREA Standardında belirtilen Memnuniyet değeri incelendiğinde; - 0.5 ila + 0.5 arasında olması gereken memnuniyet değeri; 10 cm. kalınlığındaki pencereli büyük oda haricinde tüm odalarda standartlarda belirtilen kriterleri sağlamakta olduğu anlaşılmaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında değişik kalınlıklardaki pencerelerde oda büyüklüğü arttıkça kabul edilebilir aralığın üst sınırına yaklaşıldığı anlaşılmaktadır.

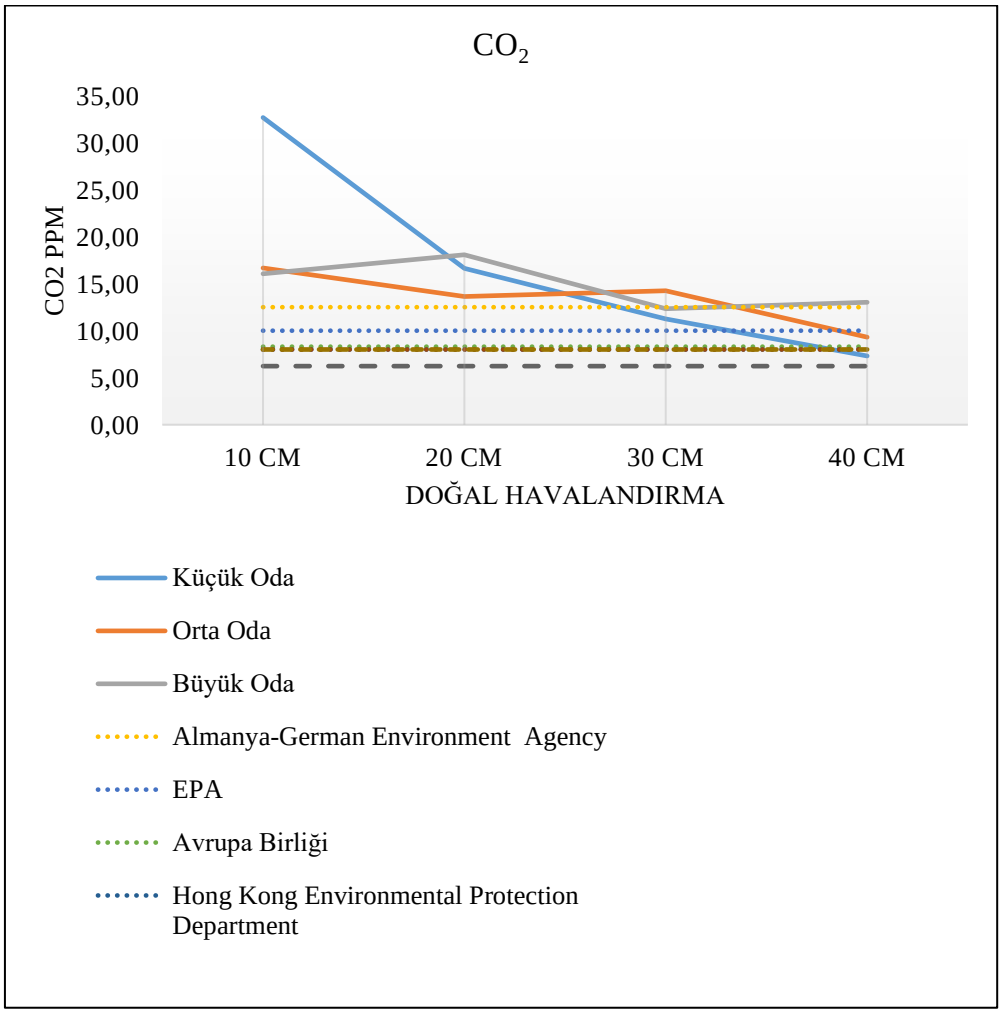
Çizelge 5.9. Doğal havalandırma toz'a göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Tüm alternatif oda ve pencere kalınlıklarında odalardaki toz miktarları değişik standartlara göre farklılık göstermektedir. Pencere kalınlığı arttıkça standartlara uygunluğun artmakta olduğu saptanmıştır. Bu anlamda orta ve büyük odada kullanılan 10 ve 20 cm.'lik pencereler ile orta büyüklükteki 30 cm.'lik pencere kalınlıkları standartlardaki kabul edilebilir değerleri karşılamamaktadır.

Genel sonuç olarak havalandırmalı pencerelerde; mekan içerisinde iç hava kalitesi kriterlerinden toz faktörünün pencere kalınlığı ve oda alanından önemli bir derecede etkilendiği anlaşılmıştır.

Çizelge 5.10. Doğal havalandırma karbondioksite (CO2) göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



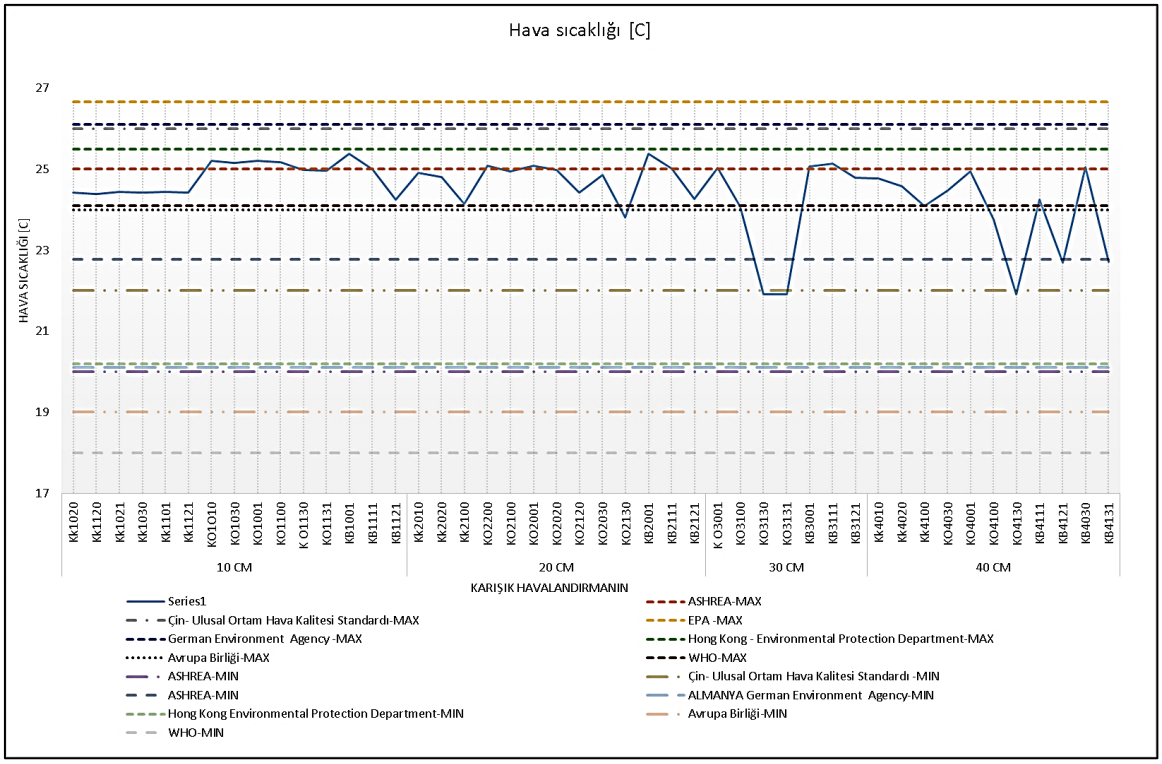
Yukarıdaki grafikten anlaşılacağı üzere 10 ve 20 cm. pencere kalınlığındaki pencerelerle havalanan tüm odalarda CO_2 miktarı standartların kabul edilebilebilir değerlerinin üstünde kalmaktadır, yani standartları karşılamamaktadırlar. Ancak pencere kalınlığı 30 ve 40 cm. ye ulaştığı zaman odalarda CO_2 miktarı kabul edilebilir değerlere yaklaşmaktadırlar.

Genel değerlendirme olarak pencere kalınlığı arttıkça ve oda boyutu büyüdükçe CO_2 miktarı kabul edilebilir düzeye ulaşmaktadır.

5.4.2. Karışık havalandırmada

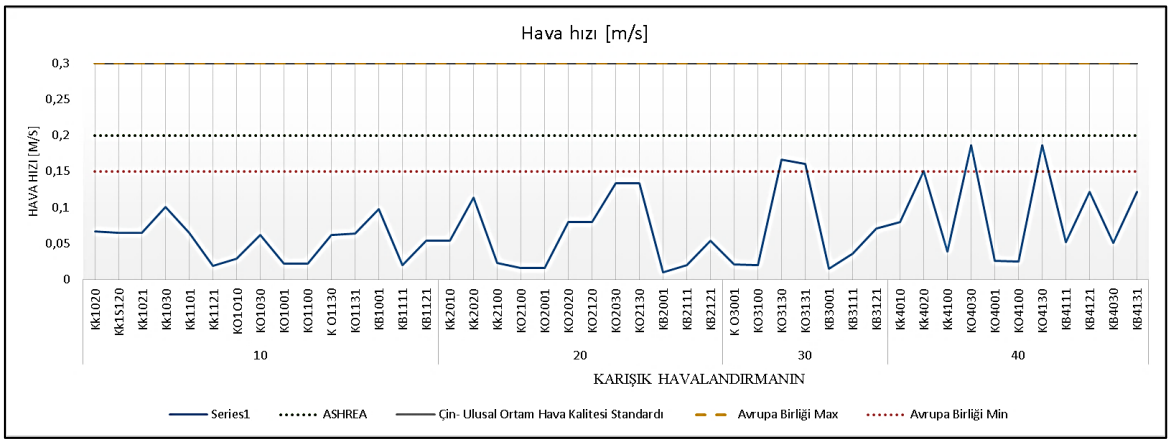
Karışık havalandırmada; hava sıcaklığının değişimi, buna bağlı olarak nem miktarının değişimleri ve havalandırmalı pencereye fan eklenerek elde edilen değişik hava hızlarına bağlı olarak elde edilen; iç hava sıcaklığı, iç hava hızı, iç hava bağıl nem ve bunların insan üzerinde oluşturduğu memnuniyet değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.11. Karışık havalandırmada iç hava sıcaklığa göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



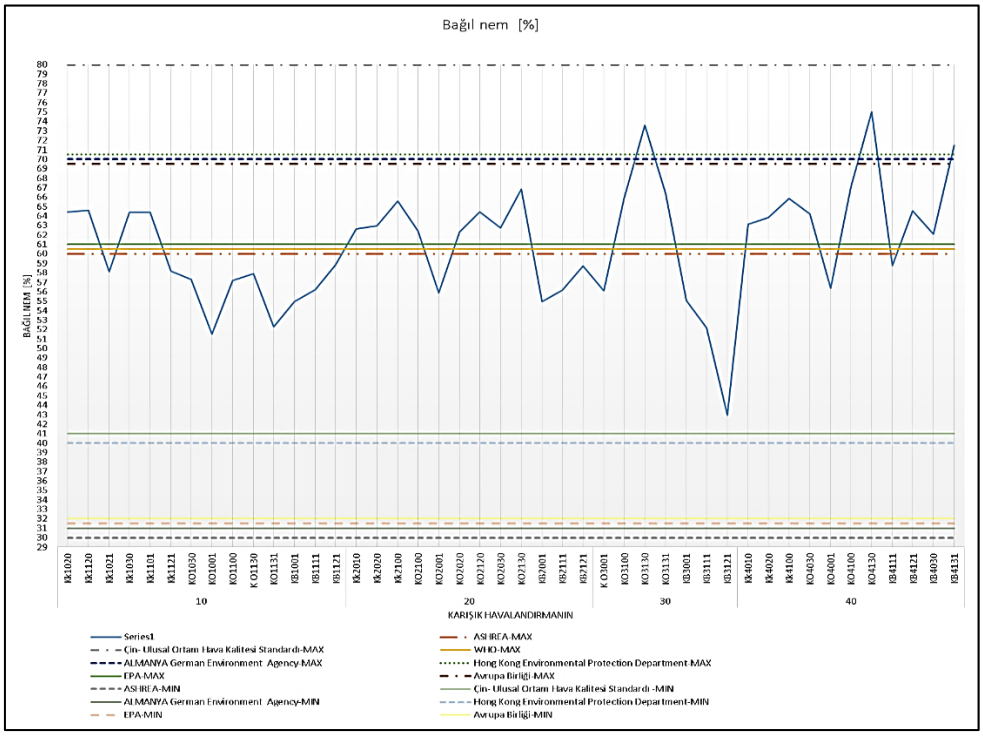
Karışık havalandırma alternatiflerinde büyük çoğunluğun ASHREA dahil uluslararası standartları karşıladığı, ancak Avrupa Birliği Standartlarını yakalayan seçeneklerin 30 ve 40 cm. genişliğindeki pencereli odalar ile oda büyüklüğü orta ve büyük olan, yani standart odanın 2 veya 3 misli alana sahip odalar olduğu saptanmıştır. (Bkz. ko3130, ko3131, kk4020, ko4030 ve ko4130). Ancak bu değerler İç hava kalitesi minimum hava sıcaklığı değerleri dikkate alındığı zaman ise EPA standardının minimum değerlerini sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 5.12. Karışık havalandırmada iç hava hızına göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Avrupa Birliği Standartları hariç diğer standartlar iç mekanda kabul edilebilir hava hızı olarak maksimum sınır değerlerini verdiklerinden tüm değerler standartları sağlamaktadır. Ancak Avrupa Birliği Standartları hava hızı için minimum ve maksimum değerleri tanımlamaktadır. Bu durumda kabul edilebilir alternetiflerin ortak noktaları;. pencere kalınlığı (30 ve 40 cm), hava hızı (1,5 m/s) ve bağıl nemin % 65 olmasıdır. (Bkz. ko3130, ko3131, kk4020, ko4030 ve ko4130)

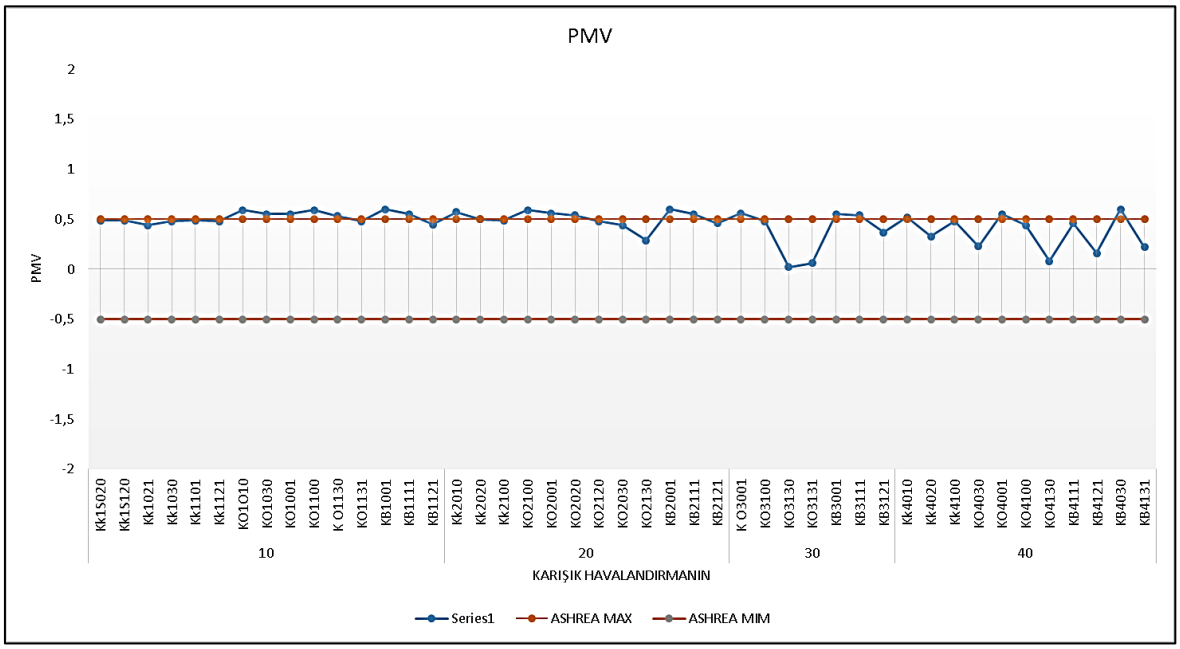
Çizelge 5.13. Karışık havalandırmada iç bağıl neme göre CFD sonuçlarınınn iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Yukarıdaki grafik incelendiğinde; İç hava kalitesi bağıl nem kriteri diğer standartlarda kabul edilebilirlik çoğunlukla sağlanırken, ASHREA standardına göre 40 cm. kalınlığındaki havalandırmalı pencere çözümleri haricinde genellikle sağlanmaktadır.

Minimum değerlerin ise tüm alternatif önerilerde karşılandığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.14. Karışık havalandırmada PMV'ye göre CFD sonuçların iç hava kalitesi standartlarda ile değerlendirmesi



Havalandırmalı pencere alternatiflerinde iç hava kalitesi PMV değerleri incelendiğinde genelde tavsiye edilen maksimum ve minimum değerlerin içinde kalındığı, detaylı olarak incelendiğinde ise 30 ve 40 cm. kalınlığındaki pencerelerle memnuniyet değerlerinin daha kolay sağlandığı, 10 ve 20 cm.'lik havalandırmalı pencerelerde ise az miktarda da olsa maksimum değerlerin üstüne çıkıldığı saptanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, havalandırma standardları ve ısıl konfor koşullları ön plana alınarak belirtilen tasarım koşullarına göre;, sayısal simülasyon yöntemi kullanılarak hava akışının performansı değerlendirilmiştir. Sırasıyla küçük, orta ve büyük oda olarak adlandırılan üç boyutlu bir ofis odasının havalandırılmasında hem doğal hem de karma havalandırma modları düşünülmüştür. Pencerelerin hava giriş açıklıklarının boyutları, giriş hızı, nem ve iç ortam klimasının ortalama sıcaklığı incelenmiştir.

Havalandırmalı pencereler ile iç hava kalitesinin sağlanmasında; dış hava sıcaklığının doğal havalandırmada 24 C, karışık havalandırmada ise 20-22-24 C sıcaklıklarda iç hava kalitesi kriterlerinden hava sıcaklığı, hava hızı ve bağıl nemin ele alındığı ve bu kriterlerin belirlediği PMV memnuniyet değerlerinin karşılaştırılması sonucunda;

Bu çalışmada yeni bir uygulama olarakı ele alınan çift yönlü havalandırmalı ve fan destekli pencere; doğal hava akışı ile çalıştırıldığında; tüm pencere kalınlıklarında iç hava kalitesi PMV memnuniyet değerlerinin büyük oranda karşılandığı,

Yine aynı pencerede, Doğal ve Fanlı sistemin beraber kullanıldığı karışık havalandırma ile çalıştırıldığında; genelde iç hava kalitesinin PMV memnuniyet değerlerinin 30 ve 40 cm. kalınlığında kolaylıkla sağlandığı saptanmıştır.

Dolayısı ile havalandırmalı pencereler ile iç hava kalitesini istenen değerlerini doğal yolla ve fanlarla destekleyerek kullanılan şekli ile sağlamanın mümkün olduğu saptanmış olup, daha sağlıklı bir ortam yaratılması amacı ile tavsiye edilebilmektedir.

Çalışmanın geliştirilmesi amacı ile doğal havalandırma kullanımı için diğer hava sıcaklıklarının kullanılması, pencere büyüklüğünün ve sayısının arttırılması, hava giriş ve çıkış menfezlerinin alanlarının değiştirilerek diğer alternetiflerin ele alınması konuya derinlik katacaktır.

KAYNAKLAR

Aghakhani, M. and Eslami, G. (2012). Thermal comfort assessment of underfloor vs. overhead air distribution system. *Journal of Applied Sciences*, 12(5), 473-479.

Akman, A. (2005). İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi. *Yapı Dergisi*, 279(89-92.

Akyazı, Ö., Usta, M., and Akpınar, A. Kapalı ortam sıcaklık ve nem denetiminin farklı bulanık üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilmesi. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*. 2011.

Alan, G. and Tercan, M. (2013). Hava filtrasyonu amacıyla kullanılan tekstillerin verimlilikleri ve toz tutma kapasiteleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(4), 179-186.

Allen, E. and Iano, J. (2019). *Fundamentals of building construction: materials and methods*. John Wiley & Sons, 14-26.

Alptekin, O. and Çelebi, G. (2015). Toz partiküllerinin iç mekân hava kalitesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 30-49.

Anbarcı, M., Giran, Ö., and Demir, İ. H. (2012). Uluslararasi yeşil bina sertifika sistemleri ile türkiyedeki bina enerji verimliliği uygulamasi. *Engineering Sciences*, 7(1), 368-383.

Appelfeld, D. (2012). *Performance modelling for product development of advanced window systems*. Technical University of Denmark,18.

Arabacıoğlu, F. P., Tay, E. C., Darendeli, T., Bingöl, H. B., Yüksel, S., and Yılmaz, L. (2020). II. Mimarlık ve Şehircilik Sempozyumu Bildiri Özetleri Kitabı. *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 1(3), 9-12.

Aschehoug, Ø. and Perino, M. (2009). Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings; *Expert Guide–Part 2 Responsive Building Elements. Aalborg University*, 36.

Ashrae, A. (2004). Standard 55-2004, thermal environmental conditions for human occupancy, *american society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers. Inc*, 114.

Ashrae, A. (2010). Standard 55-2010: thermal environmental conditions for human occupancy. *Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 89.

Ashrae, A. (2013). Standard 55-2013: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc*, 87.

Ashrae, A. (2013). Standard 55-2013,"Thermal environmental conditions for human occupancy". *Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc*, 49.

Ashrae, A. and Standard, A. (2007). 62.1. 2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, Atlanta, GA,111.

Ashrae, A. S. Standard 55–2010 2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers:* Atlanta, GA.

Ashrae, A. S. (2007). Standard 62.1-2007. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 46.

Awbi, H. B. (1996). Air movement in naturally-ventilated buildings. *Renewable Energy*, 8(1-4), 241-247.

Babaroğlu, A. (2015). Anaokullarında iç ortam hava kalitesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 23(150), 5-12.

Bakanlığı, S. (2010).Türkiye'nin hava kirliliği ve iklim değişikliği sorunlarina sağlik açisindan yaklaşim.. *Türkiye kronik hava yolu hastaliklarini önleme ve kontrol programi*, Ankara, 811.

Bangalee, M., Lin, S., and Miau, J. (2012). Wind driven natural ventilation through multiple windows of a building: A computational approach. *Energy and Buildings*, 45(317-325.

Bayazıt, N. T., Şan, B., and Ökten, G. (2011). Yeşil Bina Sertifikasyonunda Akustik Performansın Değerlendirilmesi. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir*, 1567.

Borgeson, S. and Brager, G. (2008). Occupant control of windows: accounting for human behavior in building simulation,.*Center for the Built Environment (CBE) University of California,*13.

Boutet, T. S. (1987). Controlling air movement: a manual for architects and builders. *Open Journal of Energy Efficienc*y, 8(3), 12.

Brager, G., Paliaga, G., and De Dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant comfort. American Society of Heating, *Refrigerating And Air-Conditioning Engineers, Inc*, 110.

Brandle, K. and Boehm, R. F. (1981). Evaluation of Air-Flow Windows. *In ASME Solar Eng.*, 1981, 589-596.

Bridges, B., Carlson, N., Grimsrud, D., Springman, T., and Williams, S. (2013). Application of the Standard 62.1-2007 Indoor Air Quality Procedure to Retail Stores. *Ashrae Transactions*, 119(2).

Brunekreef, B. and Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The lancet*, 360(9341), 1233-1242.

Bulgurcu, H. Lokal Isi-Enerji Geri Kazanimli Havalandirma Cihazlarinin Tasarimi. *V. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi*, 35.

Bulgurcu, H., İlten, N., and Coşgun, A. (2003). Okullarda iç hava kalitesi problemleri ve çözümler. *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 15-18.

Bulut, H. Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarinin Analizi. *8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 25-28.

Bulut, H. (2011). Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO_2 miktarının analizi. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16.

Çakır, S. (2003). Binalarda Doğal Vantilasyon Sisteminin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma, yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 129.

Çakmanus, İ., Kaş, İ., Künar, A., and Gülbeden, A. (2010). Yüksek performanslı sürdürülebilir binalara ilişkin bir değerlendirme. *Yeşil Bina Dergisi*, 3(4), 461-462.

Carlos, J. S. and Corvacho, H. (2014). Evaluation of the thermal performance indices of a ventilated double window through experimental and analytical procedures: Uw-values. *Renewable energy*, 747-754.

Charles, K. E., Magee, R., Won, D., and Lusztyk, E. (2005). Indoor air quality guidelines and standards. *Institute for Research in Construction, National Research Council* Canada, 97.

Chen, J., Brager, G. S., Augenbroe, G., and Song, X. (2019). Impact of outdoor air quality on the natural ventilation usage of commercial buildings in the US. *Applied energy*, 673-684.

Chen, Y., Tong, Z., Wu, W., Samuelson, H., Malkawi, A., and Norford, L. (2019). Achieving natural ventilation potential in practice: Control schemes and levels of automation. *Applied energy*, 235(1141-1152.

Cheong, C. H., Kim, T., and Leigh, S.-B. (2014). Thermal and daylighting performance of energy-efficient windows in highly glazed residential buildings: Case study in Korea. *Sustainability*, 6(10), 7311-7333.

Cheong, C. H., Kim, T., and Leigh, S.-B. (2015). Lifecycle CO2 Reduction by Implementing Double Window Casement Systems in Residential Units in Korea. *Energies*, 8(2), 1336-1352.

Chow, T.-T., Qiu, Z., and Li, C. (2009). Potential application of "see-through" solar cells in ventilated glazing in Hong Kong. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(2), 230-238.

Darçın, M. (2013). Association between air quality and quality of life. *Environmental Science and Pollution Research*, volume 21, pages 1954–1959.

Darçın, P. ve Balanlı, A.(2012)yapilarda doğal havalandirmanin sağlanmasina yönelik ilkeler.,*Tesisat Mühendisliği* - Sayı 128 - Mart/Nisan, 33.

Darçın, P. (2008). Yapı içi hava kirliliğinin giderilmesinde doğal havalandırma ilkeleri. *Tez (Yüksek Lisans) - Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*,123.

Dascalaki, E., Santamouris, M., and Asimakopoulos, D. (1999). On the use of deterministic and intelligent techniques to predict the air velocity distribution on external openings in single-sided natural ventilation configurations. *Solar Energy*, 66(3), 223-243.

Design, E. and Guide, A. (2020). Chartered institute of building services engineers *Guide A: Environmental design* (CIBSE), 57.

Dikmen, M. and Limoncu, S. (2016). Investigation on natural ventilation provided through facades on high rise residential buildings over examples//Yüksek konut yapılarında cepheler aracılığıyla sağlanan doğal havalandırmanın örnekler üzerinden incelenmesi. *Megaron*, 11(4), 530.

Doğan, C. (2008). Bir odanın doğal havalandırılmasının sayısal analizi, *yüksek lisans tezi makine mühendisliği gazi üniversitesi fen bilimleri enstitüsü,* 136.

Doğan, G. (2006). 'Kuru Hava Filtrasyonunda Kullanılan Dokusuz YüzeylerinPerformansları Üzerine Bir Çalışma, yüksek lisans tezi, *afyon kocatepe üniversitesi*
fen bilimleri enstitüsü, 73.

Doğan, M., AKTEN, M., and Seçme, D. (2018). Çevre Dostu Binalar ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 19-27.

Duzelbayev, N. (2009). Akıllı binalarda kontrol elemanlarının incelenmesi,yüksek lisans tezi.*Yıldız teknik üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü,* 97.

Ekmekçi, I. (2017). Kimya Sektöründe Havalandırma ve İSG Açısından Önemi. *Istanbul Ticaret Universitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16(32), 65-76.

Emmerich, S. J., Dols, W. S., and Axley, J. W. (2001). Natural ventilation review and plan for design and analysis tools. *US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of*, 27-29.

Erdede, S. B. and Bektaş, S. (2014). Ekolojik açıdan sürdürülebilir taşınmaz geliştirme ve yeşil bina sertifika sistemleri. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 1-12.

Erdem, I. and Çibuk, S. (2015). Yemekhaneler ve kantinlerde iç hava kalitesi ile ilgili ölçüm sonuçları ve analizi-Tunceli Üniversitesi örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 6(1), 39-50.

Erdmann, C. A., Steiner, K. C., and Apte, M. G. (2002). Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the BASE study revisited: Analyses of the 100 building dataset. *Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States)*,45.

Erhorn-Kluttig, H., Erhorn, H., Weiss, N., Wössner, S., Sinnesbichler, H., Streicher, W., Waldner, R., Schiefer, C., Flamant, G., and Prieus, S. (2007). *BESTFAÇADE, Best Practice for Double Skin Façades, EIE/04/135/S07. 38652, WP 4 Report "Simple calculation method,91.*

Fanger, P. (2004). Enerjiden tasarruf sağlarken, iç hava kalitesi nasıl yüz kere daha iyi hale getirilebilir. *TTMD Dergisi*, 37.

Fuliotto, R., Cambuli, F., Mandas, N., Bacchin, N., Manara, G., and Chen, Q. (2010). Experimental and numerical analysis of heat transfer and airflow on an interactive building facade. *Energy and buildings*, 42(1), 23-28.

Gan, G. (2000). Effective depth of fresh air distribution in rooms with single-sided natural ventilation. *Energy and buildings*, 31(1), 65-73.

Good, J., Frisque, A., and Phillips, D. (2008). The role of wind in natural ventilation simulations using airflow network models. *Proceedings of SimBuild*, 3(1), 140-147.

Gosselin, J. R. and Chen, Q. (2008). A dual airflow window for indoor air quality improvement and energy conservation in buildings. *HVAC&R Research*, 14(3), 359-372.

Gosselin, J. R. and Chen, Q. Y. (2008). A computational method for calculating heat transfer and airflow through a dual-airflow window. *Energy and Buildings*, 40(4), 452-458.

Greed, Z., Elmir, S., and Miller, G. (2004). Inside Story: Indoor Air Quality.*florida department of helath* Volume 5. Issue 3, March 2004, 1.

Halacy, D. (1986). Understanding passive cooling systems. *NASA STI/Recon Technical Report N*, 88(11211).

Handbook,A.(1996).HVAC systems and equipment. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* 1791TullieCircle,N.E., Atlanta, GA 30329 (404) 636-8400.

Harvey, D. (2010). Energy and the new reality 1*: Energy efficiency and the demand for energy services*. Routledge,56.

Heating, A. S. o., Refrigerating, Engineers, A.-C., and Institute, A. N. S. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*,65-67.

Hess-Kosa, K. (2010). Indoor air quality: sampling methodologies. *book lewis publishers is an imprint of CRC Press*, 320.

Hewett, M. J., Baxter, V. D., Borges, D. S., Clements, W. S., Domanski, P. A., Evans, R. A., Hogan, J. F., Jarnagin, R. E., Knebel, D. E., and Kohloss, F. H. (2001). *Ashrae Standards Commıttee* 1999-2000.

Hu, Y., Heiselberg, P. K., and Guo, R. (2020). Ventilation cooling/heating performance of a PCM enhanced ventilated window-an experimental study. *Energy and Buildings*, 214(109903.

Işık, Z. S. (2014). Yüksek yapılarda havalandırma ve iklimlendirme sistemleri ile cephe sistemlerinin ilişkilendirilmesi ve uygulama örnekleri, yüksek lisans tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Mimarlik ana bilim dali ,Mimarlik programi*, 1-28.

İsmail, K. and Henriquez, J. (2005). Two-dimensional model for the double glass naturally ventilated window. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(3-4), 461-475.

Janssen, J. (1989). Ventilation for acceptable indoor air quality. *ASHRAE journal*, 31(10), 40-42.

Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric environment*, 33(28), 4535-4564.

Kachadorian, J. (1997). The Passsive Solar House: Using Solar Design to Heat and Cool Your Home. *White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing*.

Kapkın, Ş. and Uzal, E. (2005). Kapalı ortamlardaki hava kalitesini etkileyen parametreler ve toplu taşımacılıkta iç hava kalitesinin bilgisayar destekli analizi. *İklim*.

Karakaş, B. (2015). İç ve dış hava ortamlarında partiküler madde (PM10, PM2. 5 ve PM1) konsantrasyonlarının değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi , Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin çevre Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü,*Yüksek lisans tezi. 137.

Korkmaz, M. K. (2019). Temiz oda teknolojilerinde belirleyici parametreler. *Akdeniz üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, Makine mühendisliği, Anabilim dalı, Yüksek lisans tezi*. 41.

Kuş, M. (2007). Şanlıurfa ilindeki yükseköğretim kurumları dersliklerinde iç hava kalitesinin incelenmesi ve modellenmesi. Doktora tezi. *Balıkesir üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Makine mühendisliği anabilim dalı.*, 176.

Kutlu, R. (2018). Çevresel Faktörlerin Mekan Kalitesi ve İnsan Sağlığına Etkileri. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 8(1), 67-78.

Lakestani, S. (2015). Doğum Öncesi ve Doğum Sonrası Dönemlerde Bebeklerin Evlerindeki Bina İçi Uçucu Organik Bileşiklerin Belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin, ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü*, Doktora tezi, 237.

Li, H., Li, Y., Yue, X., Liu, X., Tian, S., and Li, T. (2020). Evaluation of airflow pattern and thermal behavior of the arched greenhouses with designed roof ventilation scenarios using CFD simulation. *Plos one*, 15(9), e0239851.

Li, X., Yan, Y., and Tu, J. (2018). Evaluation of models and methods to simulate thermal radiation in indoor spaces. *Building and Environment*, 144(259-267.

Little, W. J. (1963). Mollier Diagram for Air. *Arnold engineering development center arnold afb tn, technıcal documentary report no. aedc-tir-63-190*

Liu, S., Luo, Z., Zhang, K., and Hang, J. (2018). Natural ventilation of a small-scale road tunnel by wind catchers: a CFD simulation study. *Atmosphere*, 9(10), 411.

Liu, X., Lv, X., Peng, Z., and Shi, C. (2020). Experimental study of airflow and pollutant dispersion in cross-ventilated multi-room buildings: Effects of source location and ventilation path. *Sustainable Cities and Society*, 52(101) 822.

Michaux, G., Greffet, R., Salagnac, P., and Ridoret, J.-B. (2019). Modelling of an airflow window and numerical investigation of its thermal performances by comparison to conventional double and triple-glazed windows. *Applied Energy*, 242(27-45.

Mitchell, A. H.,(2020) Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Regulatory Compliance, *Preventing Occupational Exposures to Infectious Disease in Health Care., Springer*. p. 51-66.

Mohammadi, M. and Heidari, S. (2015). Air Flow WindowAn Effective Element in Reduction of Buildings' Energy Consumption in Tehran. *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrsazi*, 20(2), 13-22.

Montazeri, H. and Montazeri, F. (2018). CFD simulation of cross-ventilation in buildings using rooftop wind-catchers: Impact of outlet openings. *Renewable Energy*, 118(502-520.

Müezzinoğlu, A. (1987). Hava kirliliğinin ve kontrolünün esasları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*. 291.

Organization, W. H., Public health impact of pesticides used in agriculture: report of a WHO/UNEP working group, *Public health impact of pesticides used in agriculture: report of a WHO/UNEP working group*. 1989.

Organization, W. H. (2000). Air quality guidelines for Europe. *Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.*

Organization, W. H. (2004). Health aspects of air pollution: results from the WHO project" Systematic review of health aspects of air pollution in Europe". *WHO Regional Office for Europe. EUR/04/5046026*, 24.

Organization, W. H. (2006). Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. *World Health Organization*. 448.

Özbalta, T. ve Çakmanus, İ. (2008). Binalarda Sürdürülebilirlik: Ömür boyu maliyete ilişkin yaklaşımlar. *Doğa Sektörel Yayınları, İstanbul*.

Özcan, U. (2008). Günümüz mimarisinde kullanılan HVAC sistemleri, mimariyle olan ilişkileri ve hıgh tech yapılarda uygulama örnekleri, *haliç üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, mimarlik anabilim dali,* mimarlik, Yüksek lisans tezi, 177.

Öztürk, M. (2007). Partikül madde kirliliğinin insan sağlığı üzerinde etkisi. *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.

Öztürk, M., Güvensan, A., and Yücel, E. (1994). İç Mekanlardaki Kirlilik Sorunu ve Bitkilerin Rolü. *Yanma ve Hava Kirliliği İkinci Ulusal Sempozyumu, Anadolu Üniversitesi*, 287-295.

Patankar, S. V. (2018). Numerical heat transfer and fluid flow. (1st ed.). CRC Press. *https://doi.org/10.1201/9781482234213*, 214.

Phaff, J., De Gids, W., Ton, J., Van der Ree, D., and Schijndel, L. (1980). The ventilation of buildings: Investigation of the consequences of opening one window on the internal climate of a room, Report C 448. *TNO Institute for Environmental Hygiene and Health Technology (IMG-TNO), Delft, Netherlands*.

Pickett, A. R. and Bell, M. L. (2011). Assessment of indoor air pollution in homes with infants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(12), 4502-4520.

Raffnsøe, L. M. (2007).Thermal Performance of Air Flow Windows.*Technical university of denmark department of civil engineering.* Master Thesis. 81.

Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P., and Cho, Y. I. (1998). Handbook of heat transfer. *McGraw-Hill New York.*

Şahan, R. (2015). Asbest maruziyetinin iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmesi, yüksek lisans tezi, *istanbul gedik üniversitesi, sosyal bilimleri enstitüsü*, 67.

Sarven, M. Y. M. (2010). İç Hava Kalitesi.*Ttmmob makina mühendisleri odası,* Makale. 23.

Skaff, M. C. and Gosselin, L. (2014). Summer performance of ventilated windows with absorbing or smart glazings. *Solar Energy*, 105(2-13.

Standard, A. Standard 55-2010,(2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Atlanta, USA: American Society of Heating Refrigerating Air-Conditioning Engineers*. Retrieved on 2018-07-20.

Standard, A. Standard 55-2013 (2013) Thermal environmental conditions for human occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA.*

Standard, A. Standard 55-81 (1981)" Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,". *American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia*.

Standard, A. (1791). Standard 62.1-2007. Ventilation for acceptable indoor air quality. 2007. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*.

Standard, A. (1981). Standard 55–1981: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA.*

Standard, A. (1981). Standard 55-1981 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating. *Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Inc.(1791 Tullie Circle, Atlanta, Georgia 30329)*.

Standard, A. (1992). Standard 55-1992,"Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy". *Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. Inc.*

Standard, A. (1992). Standard 55-1992. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating. *Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta*.

Standard, A. (2004). Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA*.

Standard, A. (2004). Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy. *Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc*.

Standard, A. (2004). 62.1, 2007. Ventilation for acceptable indoor air quality, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Air-Conditioning and Refrigeration Institute.*

Standard, A. (2007). Standard 62.1-2007. Ventilation for acceptable indoor air quality, *The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers is an American.*

Standard, A. (2007). Standard 62.1-2007, the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Inc., Atlanta*, 14.

Standard, A. (2010). Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. Inc.*

Standard, A. (2010). Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, *Atlanta, Georgia, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Inc.*

Standard, A. (2010). Standard 62.1-2010. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.Air-Conditioning and Refrigeration Institute.National Institute of Standards and Technology (U.S.).*

Standard, A. (2010). Standard 62.1-2010 (2010). ventilation for acceptable indoor air quality, atlanta, ga. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc*.

Stavrakakis, G., Koukou, M., Vrachopoulos, M. G., and Markatos, N. (2008). Natural cross-ventilation in buildings: Building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation. *Energy and buildings*, 40(9), 1666-1681.

Sun, H., Zhao, L., and Zhang, Y. (2007). Evaluation of RNG kappa-epsilon and LES non-isothermal models for indoor airflow using PIV measurement data. *Transactions of the ASABE*.

Tao, Y., Zhang, H., Zhang, L., Zhang, G., Tu, J., and Shi, L. (2021). Ventilation performance of a naturally ventilated double-skin façade in buildings. *Renewable Energy*, 167(184-198.

Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., and Hoyt, T. (2020). CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12(100563.

Taşkın, S. ve Heperkan, H. (2015).konutlarda iç hava kalitesi ve uygulamalari. *12. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi, Makina mühendisleri odası*, 331.

Taylor, S. T. (1996). Determining ventilation rates: Revisions to Standard 62-1989. *ASHRAE journal*, 38(2).

Tom Lawrence PhD, P. (2010). The Ins & Outs Of IEQ. *ASHRAE Journal*, 34.

Topaçoğlu, Y. (2013). Seralarda Doğal Havalandırma Etkinliğinin Sayısal Yöntemler Kullanılarak Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Tosun, M. A. (2006). Soğutmada hirbrid sistemleri, Yüksek lisans tezi *sakarya üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, makine mühendisliği*, Sakarya, 98.

Tsoukias, N. M., Tannous, Z., Wilson, A. F., and George, S. C. (1998). Single-exhalation profiles of NO and CO_2 in humans: effect of dynamically changing flow rate. *Journal of Applied Physiology*, 85(2), 642-652.

Tymkow, P., Tassou, S., Kolokotroni, M., and Jouhara, H. (2013). Building services design for energy efficient buildings. *(1sted.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203840733.*

Ünlü, Y. (2013).Bağıl nem ve oksijen konsantrasyonuna duyarlı bir mahal havalandırma sistemi, Yüksek Lisans Tezi. *Bozok üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,mekatronik mühendisliği anabilim dalı*, 133.

Vaizoğlu, S. (2007). Bazı Kapalı Ortamlarda Formaldehit Etkilenimi VIII. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İç Hava Kalitesi Sempozyumu, Temmuz*.

Vural, S. M. and Balanlı, A. (2005). Yapi Ürünü Kaynakli İç Hava Kirliliği Ve Risk Değerlendirmede Ön Araştirma. *Megaron*, 1(1), 28.

Yang, W. and Zhang, G. (2008). Thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned buildings in humid subtropical climate zone in China. *International Journal of Biometeorology*, 52(5), 385-398.

Yaşa, E. (2004). Avlulu binalarda doğal havalandırma ve soğutma açısından rüzgar etkisi ile oluşacak hava akımlarına yüzey açıklıklarının etkisinin deneysel incelenmesi, Yüksek lisans tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 182.

Yeşilyurt, C. ve Akcan, N. (2001). Hava kalitesi izleme metodolojileri ve örneklem kriterleri. *TC Sağlık Bakanlığı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi Başkanlığı Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, Ankara*.

Yılmaz, B., Arditi, D., and Korkmaz, S. (2010). Yüksek Performanslı (Yeşil) Binalarda Bütünleşik Tasarım Sistemi, 1. *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, (29).

Zhang, N., Jin, W., and He, J. (2016). Experimental study on the influence of ventilated window on indoor air quality and energy consumption. *Procedia Engineering*, 146(296-302.

Zhang, Y., Olofsson, T., Nair, G., Zhao, C., Yang, B., and Li, A.(2020). Cold windows induced airflow effects on the thermal environment for a large single-zone building. *E3S Web of Conferences.*



GAZİ GELECEKTİR..