SPLİT KLİMALI BİR OFİS ORTAMINDA FARKLI HAVA GİRİŞ ŞARTLARINA GÖRE TERMAL KONFORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE İNCELENMESİ

Giray GONCAGÜL

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPLİT KLİMALI BİR OFİS ORTAMINDA FARKLI HAVA GİRİŞ ŞARTLARINA GÖRE TERMAL KONFORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE İNCELENMESİ

Giray GONCAGÜL
ORCID:0000-0002-8309-6444

Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TERMODİNAMİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Giray GONCAGÜL tarafından hazırlanan "SPLİT KLİMALI BİR OFİS ORTAMINDA FARKLI HAVA GİRİŞ ŞARTLARINA GÖRE TERMAL KONFORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

Başkan	**:**	Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ 0000-0003-1657-2604 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Termodinamik Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU 0000-0003-4970-4490 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Termodinamik Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Dr. Öğr. Üyesi Ali Hüsnü BADEMLİOĞLU 0000-0001-6944-4900 Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Termodinamik Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü
../../….

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

…/…/……
Giray GONCAGÜL

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ	Giray GONCAGÜL
Tarih	Tarih
İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.	İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ TEZ TANITIMI
ÖĞRENCİ VE DANIŞMAN FORMU

FR 3.4.6_27

ÖĞRENCİ
Adı SOYADI :Giray GONCAGÜL
ÜNVANI :Makine Mühendisi
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TERMODİNAMİK ABD
E-POSTA : giraygoncagul@gmail.com
PROGRAMI:YÜKSEK LİSANS
ORCID :0000-0002-8309-6444
TÜBİTAK ID :TBTK-0171-9166
WOS RESEARCHER ID :LXU-8383-2024
SCOPUS AUTHOR ID :
Google Scholar ID : k0MxRbMAAAAJ

DANIŞMAN
Adı SOYADI :Nurettin YAMANKARADENİZ
ÜNVANI :Prof.Dr.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TERMODİNAMİK ABD
E-POSTA : nyk@uludag.edu.tr
YÖKSİS ARAŞTIRMACI ID :154884
ORCID :0000-0003-1657-2604
TÜBİTAK ID :TBTK-0019-6711
WOS RESEARCHER ID :AAA-1753-2021
SCOPUS AUTHOR ID :26645227400
Google Scholar ID :BoARs5wAAAAJ

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ YÜKSEK LİSANS/DOKTORA EĞİTİMİ BOYUNCA

BİLİMSEL ÇALIŞMALARI VE FAALİYETLERİ*

1. Ufat Hande , Goncagül Giray, Yamankaradeniz Recep Ameliyathane iklimlendirme sistemlerinde hava giriş sıcaklığının mahal içerisindeki hava dağılımına etkisi , 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan 2019 İzmir (1103-1116)
2. Ufat Hande, Goncagül Giray, Yamankaradeniz Nurettin Split klima ile ısıtılan bir ofis ortamının farklı hava giriş sıcaklıkları ve hızlarında içerideki sıcaklık dağılımının CFD Analizi ile incelenmesi 11. Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu Düzce Türkiye 5-7 Ekim 2023 ss. 19
3. ……
4. ……
5. ……
6. ……
7. ……
8. ……
9. ……
10. ……
11. ……

BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA HEDEFLERİ

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

■

6.115.284 Thermal Comfort

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

☐

Anahtar Kelimeler

Anahtar kelimeler aşağıdaki bağlantı üzerinden seçilecektir.
https://incites.help.clarivate.com/Content/Resources/Docs/SDG2023.xlsx

ÖZET

Yüksek Lisans

SPLİT KLİMALI BİR OFİS ORTAMINDA FARKLI HAVA GİRİŞ ŞARTLARINA GÖRE TERMAL KONFORUN HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (HAD) İLE İNCELENMESİ

Giray GONCAGÜL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Termodinamik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

Klima sistemi, bir ortamdaki havanın sıcaklığını, nemini düzenleyen bu sayede termal konforu sağlayan bir sistemdir. Özellikle klima sistemi ile ısıtılan bir çalışma ortamı olan ofislerde termal yönden konforlu bir durumda olması temin ediliyorsa, klima sisteminin iyi bir performansta çalıştığı anlaşılır. Üretim yapan bir fabrika ortamında çalışma ofisleri genel olarak 3 ile 5 kişinin çalışma şartlarına göre dizayn edilmiştir. Çalışma ofisleri, üretim alanlarından gürültü kirliliği gibi olumsuz şartlardan etkilenilmemesi için kapalı olarak tasarlanmaktadır. Ofis ortamlarının kapalı tasarlanması da hava sıcaklığı ve sirkülasyonu açısından iç hava kalitesinin eşit dağılımının olmayışıyla zaman zaman sorunlar yaşanmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasında bir adet split klima bulunan ofiste, farklı sıcaklık ve hava hızı dağılımlarını araştırmak için önce Solidworks programı kullanılarak ofisin üç boyutlu modeli oluşturulmuş, bu modelinin doğruluğu çalışma ofisi ile teyidi yapılmıştır. Daha sonra Ansys Fluent programı yardımıyla, birbirinden farklı sıcaklık ve hava hızı değerlerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri yapılmıştır. Çalışmada, değişken sıcaklık değerleri (23°C, 25°C ve 27°C) ile farklı üfleme hızları nın (0,5 m/s, 1 m/s ve 2 m/s) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında 0,5 m/s hızda 27°C üfleme sıcaklığında bile ortamdaki sıcaklığın 19-20°C dolaylarında olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık değeri kış aylarında konfor açısından uygun olmayacaktır. Sıcaklık açısından bakıldığında 25°C ve 2 m/s üfleme sıcaklığında ortam konforlu görünmekle birlikte hız açısından değerlendirildiğinde mevcut masa yerleşiminde çalışanlar açısından bir problem oluşturmamakla birlikte masaların orta boşluğunun olduğu alanda hava hızı yüksektir. Hava hızının rahatsız ettiği durumda 27°C sıcaklık ve 1 m/s hız şartlarında da ortam sıcaklığı ve hava hızı da ortam için konfor şartlarını oluşturabilir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, farklı hava giriş şartları, termal konfor
2025, vii + 78 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THERMAL COMFORT WİTH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) ACCORDING TO DIFFERENT AIR INTAKE CONDITIONS IN AN SPLIT AIR-CONDITIONED OFFICE ENVİRONMENT

Giray GONCAGÜL

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Thermodynamics

Supervisor: Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

The air conditioning system is a system that regulates the temperature and humidity of the air in an environment, thus providing thermal comfort. It is understood that the air conditioning system works at a good performance, especially if it is ensured to be in a thermally comfortable condition in offices, which is a working environment heated by the air conditioning system. In a production factory environment, work offices are generally designed according to the working conditions of 3 to 5 people. Working offices are designed to be closed in order not to be affected by adverse conditions such as noise pollution from production areas. The closed design of office environments also causes problems from time to time with the lack of equal distribution of indoor air quality in terms of air temperature and circulation. In this thesis, in order to investigate different temperature and air velocity distributions in an office with one split air conditioner, a three-dimensional model of the office was first created using the SolidWorks program, and the accuracy of this model was confirmed with the working office. Then, with the help of Ansys Fluent program, computational fluid dynamics analysis of different temperature and air velocity values were performed. In the study, variable temperature values (23°C, 25°C and 27°C) and different air inlet velocities (0.5 m/s, 1 m/s and 2 m/s) were analyzed. Looking at the analysis results, it is seen that the ambient temperature is around 19-20°C even at a blowing temperature of 27°C at a speed of 0.5 m/s. This temperature value will not be suitable for comfort in winter months. In terms of temperature, the environment seems comfortable at 25°C and 2 m/s blowing temperature, but when evaluated in terms of speed, it does not pose a problem for the employees in the current table layout, but the air velocity is high in the area where the middle space of the tables is located. In case the air velocity is uncomfortable, the ambient temperature and air velocity can also create comfort conditions for the environment under 27°C temperature and 1 m/s speed conditions.

.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, different air inlet conditions, thermal comfort. Regenerate **2025, vii + 78 pages**.

ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu belirlenmesinde kişisel görüşlerime önem veren, tez çalışmam döneminde akademik desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ'e şükranlarımı sunuyorum.
Çalışmamın temelini oluşturan akışkanlar mekaniğinin bir kolu olan hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin bilgisayar üzerinde analizleri sırasında her türlü desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Hande UFAT'a sonsuz teşekkür ediyorum.
Yaşamım boyunca evlatları olarak her türlü desteklerini esirgemeyen, annem Gülşen GONCAGÜL'e ve babam Fikret GONCAGÜL'e, her şeyi ile beni bütünleyen hayatta ki en büyük şansım olan sevgili eşim Sibel GONCAGÜL'e, sevgisiyle bizi motive eden biricik kızım Sedef GONCAGÜL'e ve canım oğlum Güney GONCAGÜL'e iyi ki varsınız diyerek, teşekkürlerimi ifade etmeyi bir borç biliyorum.

Giray GONCAGÜL
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa
ÖZET……..viii
ABSTRACT….....ix
ÖNSÖZ ve/veya TEŞEKKÜR……..x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ……. ...xii
ŞEKİLLER DİZİNİ…….. .xiii
1.GİRİŞ……..1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI……5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....10
3.1. ANSYS Fluent ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi.....10
3.2. HAD Analizinde Kullanılan Algoritma 10
3.3.Termal Konfor.....13
3.4.Termal Konfor ve iç hava kalitesi.....14
3.5. Korunum Denklemleri 16
3.5.1. Kütlenin Korunumu 16
3.5.2. Momentumun Korunumu Denklemi.....16
3.5.3. Enerjinin Korunumu Denklemi.....17
3.6. Türbülans Modelleri.....17
3.6.1. Standart k-ε Model.....17
3.7. HAD Analizi 20
3.8. SOLİDWORKS Kullanarak Hesaplamalı Modelleme 22
3.9. Havalandırma Sistem Verileri.....22
3.10. Ofis Tanıtımı.....22
3.11. Sayısal Yöntemin Doğruluğunun Belirlenmesi……...25
4. BULGULAR.....28
4.1. Hava giriş sıcaklığı 23°C olduğu durumda;.....28
4.1.1. V_g = 0,5 m/s ve T_g = 23°C.....28
4.1.2. V_g = 1m/s ve T_g = 23°C.....32
4.1.3. V_g = 2 m/s ve T_g = 23°C.....36
4.2. Hava giriş sıcaklığı 25°C olduğu durumda;.....41
4.2.1. V_g = 0,5 m/s ve T_g = 25°C;.....41
4.2.2. V_g = 1 m/s ve T_g = 25°C;.....45
4.2.3. V_g = 2 m/s ve T_g = 25°C;.....49
4.3. Hava giriş sıcaklığı 27°C olduğu durumda;.....53
4.3.1. V_g = 0,5 m/s ve T_g = 27°C;.....53
4.3.2. V_g = 1 m/s ve T_g = 27°C;.....57
4.3.3. V_g = 2 m/s ve T_g = 27°C;.....61
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....65
KAYNAKLAR 68
EKLER…….....77
ÖZGEÇMİŞ……78

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
V_g	Üfleme Hızı
T_g	Hava giriş sıcaklığı
K-ε	K-epsilon türbülans modeli
S_m	Faz değişimi sırasında değişen kütle miktarı
$\bar{\bar{\tau}}$	Gerilme tensörü
μ	Dinamik viskozite
I	Birim matris
p	Durgun basınç
S	Zorlanma tensör modülü
$\vec{v}$	Hız vektörü
∇	Diverjans operatörü
E	Birim kütlede toplam enerji
h_j	Entalpi
J_j	Difüzyon akısı
S_h	Harici ısı kaynakları ve ısı üretimi
ρ	Yoğunluk
$\vec{F}$	Harici kuvetler
k	Türbülans kinetik enerjisi
u_i	Hız bileşeni
μ_t	Türbülans viskozitesi
σ_k	Türbülans kinetik enerjisi difüzyon katsayısı
Y_M	Mikro Karıştırma
G_k	Türbülans kinetik enerjisinin üretimi
G_b	Buoyancy (kaldırma) etkisi
S_ε	Harici kaynaklardan gelen etkileri
β	Termal genleşme katsayısı
M_t	Türbülans Mach sayısı

Kısaltmalar	Açıklama
ISO	International Organization for Standardization
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
IAQ	İç Hava Kalitesi
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
AC	Air Conditioner (Klima)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 3.1.	Solidworks programı ile çizilmiş ofis modeli	11
Şekil 3.2.	Solidworks programı ile çizilmiş modelin Ansys aktarılmış hali	11
Şekil 3.3.	İnsandan çevreye ısı transferinin takibi	12
Şekil 3.4.	Termal Konfor Faktörleri	14
Şekil 3.5.	Ansys programında termal konfor analiz adımları	21
Şekil 3.6.	Solidwork programında çizilmiş ofis katı modeli	23
Şekil 3.7.	Ofis dış duvarına ait kesiti	23
Şekil 3.8.	Ofisin üretim alanına bakan duvarlarına ait kesiti	24
Şekil 3.9.	Farklı mesh seviyelerinde model ağ yapıları	26
Şekil 3.10.	X yönünde 2 m uzaklık için hız - yükseklik grafiği	27
Şekil 4.1.	Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	29
Şekil 4.2.	X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	29
Şekil 4.3.	Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	30
Şekil 4.4.	Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	30
Şekil 4.5.	Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	31
Şekil 4.6.	T_g=23°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı	32
Şekil 4.7.	Y=2,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	33
Şekil 4.8.	X=5,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	33
Şekil 4.9.	Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	34
Şekil 4.10.	Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	34
Şekil 4.11.	Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	35
Şekil 4.12.	T_g=23°C ve V_g= 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı	36
Şekil 4.13.	Y=2,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	37
Şekil 4.14.	X=5,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	37
Şekil 4.15.	Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	38
Şekil 4.16.	Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	38
Şekil 4.17.	Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı	39
Şekil 4.18.	T_g =23°C ve V_g = 2 m/s için ofis içindeki hız dağılımı	40

Şekil 4.19. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 41
Şekil 4.20. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 42
Şekil 4.21. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 42
Şekil 4.22. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 43
Şekil 4.23. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 43
Şekil 4.24. T_g =25°C ve V_g = 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 44
Şekil 4.25. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 45
Şekil 4.26. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 46
Şekil 4.27. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 46
Şekil 4.28. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 47
Şekil 4.29. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 47
Şekil 4.30. T_g =25°C ve V_g = 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 48
Şekil 4.31. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 49
Şekil 4.32. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 50
Şekil 4.33. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 50
Şekil 4.34. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 51
Şekil 4.35. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 51
Şekil 4.36. T_g=25°C ve V_g= 2 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 52
Şekil 4.37. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 53
Şekil 4.38. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 54
Şekil 4.39. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 54
Şekil 4.40. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 55
Şekil 4.41. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 55
Şekil 4.42. T_g=27°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 56
Şekil 4.43. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 57
Şekil 4.44. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 58
Şekil 4.45. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 58
Şekil 4.46. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 59
Şekil 4.47. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 59
Şekil 4.48. T_g =27°C ve V_g = 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 60
Şekil 4.49. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 61
Şekil 4.50. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılım 62
Şekil 4.51. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 62
Şekil 4.52. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 63
Şekil 4.53. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı 63
Şekil 4.54. T_g =27°C ve V_g = 2 m/s için ofis içindeki hız dağılımı 64

ÇİZELGELER DİZİNİ

			Sayfa
Çizelge	3.1.	Beton duvar (Hafif Beton) yapı özellikleri	24
Çizelge	3.2.	Cam duvarlara (Borosilikat Cam) ait yapı özellikleri	24
Çizelge	3.3.	İç ve dış mahal ısı taşınım ve sıcaklık değerleri	25

1. GİRİŞ

İnsanların yaşam koşulları değerlendirildiğinde yaşamlarının yaklaşık %90'ını iç mekanlarda geçirirler. Bu sebeple iç mekanların havalandırma sistemleri, sıcaklıkları ve hava hareketleri, hava kalitesi yönüyle insanların konforuna etki etmektedir (Raczkowski, & Wywiórka,2010). Mekanik havalandırmalı odalardaki termal konfor ile sağlanması ile ilgili bir çok araştırma yapılmıştır (Almesri,, Awbi, Foda, & Sirén, 2013; Catalina, Virgone,& Kuznik, 2009; Tomasi, Krajčík, Simone, & Olesen, 2013; Chen, Moshfegh, & Cehlin, 2013; Ratajczak, Amanowicz, Pałaszyńska, Pawlak, & Sinacka,2023; Orman, Majewski, Radek, & Pietraszek, 2022). İç mekan konforu ve verimli enerji kullanımı açısından bina içi boşluklu modifikasyonlar arasında, hava sızdırmazlığı için tam ölçekli bölmelerin montajı etkili uygulamalardandır. Özellikle fazla küçük hacme bölünme işlemi klima ünitesinin çalışma süresi yönünden enerji kazanımını sağlamaktadır. Bununla birlikte bu tür bölme tasarımları, sadece kullanıcı termal konforu için değil, beraberinde zaman üretkenliği ve birey sağlığı içinde önemlidir. Yeni yapı yönetmelikleri hava kalitesini ifade edildiği gibi insan sağlığını ve üretkenliğini olumsuz düzeyde etkilemeyeceği yapıları teşvik etmektedir (Aryal, & Leephakpreeda, 2016; Kraus, & Kubečková, 2014; Seinre, Kurnitski, & Voll, 2014; Dimitroulopoulou vd. 2023). Seppänen (2012)'in ofis ortamında çalışanların ortam hava kalitesinden memnuniyeti üzerine yaptığı araştırma da her yıl ofis çalışanlarının % 23'ünün hava kalitesinden şikayetçi olduğunu bildirmiştir (Seppänen, 2012). Özellikle çalışma ortamlarında istenilen iç mekan iklimlendirmesinin olmayışı işverenlere ve bina sahiplerine para kaybına neden olmakta, buna karşın iyileştirme girişimlerinin termal konfor ve sağlık yönünden çalışan başına yılda 330 € tasarruf edilmesini sağlayabileceği bildirilmektedir (Seppanen, Fisk, & Lei, 2005). Optimum termal konfor koşullarını elde etmek için, enerji gereksinimlerini azaltan yeni havalandırma hava dağıtım tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Termal konfor açısından yaşam ortamlarının iklimlendirmesi için kullanılan split klimalar hava sıcaklığını, hareketini ve nemini sağlayan sistem olarak yaygın kullanılmaktadır (Amoabeng, Opoku, Boahen, & Obeng, 2023). İnsanların ofis gibi yaşam ortamlarında konforlarının sağlanmasında kullanılan iklimlendirme sistemlerinde, insanların vücudu, tükettiği gıdalarda bulunan karbon ve hidrojen bileşenlerini aldığı oksijenle oksitleyerek elde ettiği enerjiyi ısıya dönüştürdüğü

düşünüldüğünde ortama insanın yaydığı ısının hızı da termal konfor açısından etkindir (ASHRAE,2008; Zhang, & Zhang, 2011; Jie, 2017; Özdamar, & Umaroğulları, 2018). Termal konforu tanımlamak için, Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) ve Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Amerikan Topluluğu (ASHRAE) topluluklarının her sektöre uygulanan standartlaştırma oluşturmuşlardır. ISO 7730:2015 göre, termal konfor, termal bir ortamda tatmin edici bir koşuldur (ISO 7730:2015). ASHRAE 55 Standardı'na gelindiğinde, bu tanım, kişinin kendini fiziksel ve zihinsel konfor içinde hissettiği farklı ortamların toplamıyla birlikte, öznel bir koşula dönüşür (ASHRAE, 2019).

Şehirde yaşayan insanları büyük çoğunluğu zamanlarının % 90'nından fazlasını, soğuk kapalı ortamlarda geçirdiği ve uygun olmayan bu termal koşulların, ideal standartlara getirmek için harcanacak enerji maliyetinin oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir. Ortamda bulunan insanlarda meydana gelen bu metabolik faaliyetler sonucunda bulunulan ortama salınan karbondioksit ve su buharı hava kalitesini etkilemektedir (Zhang, & Zhang 2011; Lin vd 2023). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), kapalı alanlarda akışkan akışının dağılımını tahmin etmede özellikle hesaplama yetenekleri ve işlem hızındaki hızlı gelişmeler nedeniyle kullanımı oldukça uygundur.

Bu analizi de, hesaplama alanı içinde ayrıklaştırılan ve sayısal olarak çözülen sıvı akışını yöneten denklemlerin dayanan çeşitli metodolojiler kullanır.

HAD, düşük maliyet ile ayrıntılı ve değişkenlik oluşturularak, teorik ve deneysel araştırmayı mevcut bilgisayarların hesaplama yetenekleriyle harmanlayan bir teknolojidir.

İş hayatının geçirildiği ofislerde insan vücudunu çevreleyen mikro iklimi analiz etme ve tasarlama çalışmalarında yaygın kullanılan HAD ile insan vücudunun etrafındaki akış ve sıcaklık alanlarının, insan vücudu tarafından solunan ve dışarı verilen havanın kalitesinin analizi ve hatta göz çevresindeki mikro iklim üzerine etkileri açısından kuru göz sendromu ile ilgili açılamalar bildirilmiştir (Mishra, 2023; Murakami, 2004).

Bir çok iç mekan havasının kalitesi hakkında bilimsel çalışma yapılmıştır. Yaşadıkları alanlar açısından değerlendirildiğinde, bireyler tarafından algılanan termal konfor ve hava kalitesine dayalı ofis ortamları (Yapıcı, Gençer, & Ay,2019; Yavuz, Yıldız, & Çakmak, 2021; Stamou, & Katsiris, 2006; Felgueiras, Mourão, Moreira, & Gabriel, 2024) , endüstriyel tesisler (Rohdin, & Moshfegh, 2011), eğitim kurumları (Mogra, Pandey, & Gupta, 2020; Noh, Han, & Oh, 2008; Permaul, & Phipatanakul, 2018; Babich, Torriani, Corona, & Lara-Ibeas, 2023), konutlar (Bojic, Yik, & Lo, 2002; Kunduracı, Karagözler, & Karcı, 2023; Kurmanbekova, Du, & Sharples,2024), müzeler (Papakonstantinou, Kiranoudis, & Markatos, 2000; Martinez-Molina, Boarin, Tort-Ausina, & Vivancos, 2018), yolcu konforu açısından araçlar (Gürbüz, Akçay, Asghar, & Ali, 2016; Taftian, 2020; Abou Jaoude, Thiagalingam, El Khoury, & Crehan, 2020), bir tren istasyonu binası (Li vd 2009), kapalı stadyumunda ritmik jimnastik ve masa tenisi spor salonu (Stamou, Katsiris, & Schaelin, 2008; Jia, Zhao, Gao, & Zhai, 2022), bilgisayar odaları (Guo vd 2012), hatta askeri uçak kabininde (Köse, 2022) konfor parametrelerini ve iç hava kalitesini araştırmak için HAD uygulanmıştır.

Bunun dışında günümüzün iç tasarım trendleriyle birlikte, iç ortamda yeterli ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme daha önemli hale geliyor. Özellikle artan sayıda ticari şirket ve kamu kuruluşu, konfor, sağlık ve üretkenliğin değerini fark ederek yüksek kaliteli iç hava talebini her geçen gün artmaktadır. İşletmelerde ve ofislerde artan teknik donanım buna bağlı olarak bu ortamlarda iletişim hattı ve kablo tesisatlarının yoğunluğu, bilgisayar, yazıcı, faks gibi makineler kötü iç hava kalitesine katkı sağlayan diğer unsurlardır (Zhang, & Smith, 2003; Stiapis, 2022).

Özellikle beyaz yakalıların çalışma ortamını geçirdikleri ofis ortamlarında, yapılan farklı araştırmalarla hava sıcaklığı ve hava hızının termal konfor üzerindeki etkisi sayısal simülasyon kullanılarak, üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak araştırılmış ve hava hızı deseni, sıcaklık dağılımı ve dikey hava sıcaklığı kullanılarak termal konfor üzerine etkileri değerlendirilmiştir (Li, Fazio, & Rao, 2012; Bamodu, Yang, & Halim, 2015; Sadrizadeh, 2019; Nada, El-Batsh, Elattar, & Ali, 2016).

Son zamanlarda, soğutma talebini ve kanal sistemlerinin tasarımını tahmin etmek için HAD ve ANSYS yazılımı gibi bazı simülasyon yazılım paketleri kullanılmaktadır.

Bu simülasyon yazılım paketleri, hava hareketinin değerlendirilmesi, basınç farklarının ve akışkan özelliklerinin çok düşük seviyede tahmin edilmesi için kullanılabilir. Ayrıca, bu simülasyon yazılım paketleri, test sırasında deneysel olarak pratik olmayan parametrelerin elde edilmesine ve analiz edilmesine yardımcı olabilir (Shah, & Patil, H. 2019; Aytaç Yılmaz, & Aktaş, 2020).

Bu tez çalışmasında kullanılan metodoloji, çözümleme alanı ve gözlemlerle ilgili özgünlükler içermektedir. Genellikle literatürde, split kliması incelenmesi yerine merkezi iklimlendirme sistemleri ve doğal havalandırma sistemleri kullanılmıştır. Farklı hava giriş sıcaklığı ve üfleme hızlarında oluşturulan parametrelerin incelenmesi ile mevcut literatürdeki daha genel ve sabit koşullarla yapılan çalışmalardan ayrılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, bir ofis ortamı için farklı sıcaklık ve hava akış hızlarında (V_g) hava dağılımlarını HAD analizi ile simülasyon sonuçlarını değerlendirerek daha iyi havalandırma stratejisini ve çalışma verimini arttırmaya yönelik kriterleri belirlemektir. Bu tez çalışmasıyla, bir ofis ortamında, iç ortam hava kalitesi ve enerji verimliliği açısından mekanların havalandırmasında yeni stratejiler geliştirilmesi, ofis ortamları için özel parametreler ekleyerek hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleme yöntemlerinin analiz güvenilirliğini ve uygulanabilirliğinin arttırılması, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında, çalışma verimi ve çalışan sağlığına katkı sağlanması ile beraberinde, iç ortam hava kalitesi, HVAC sistemleri ve çevresel sürdürülebilirlik alanında referans olabilecek bulgular ve yöntemler sunarak akademik ve uygulamalı bilime katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Termal konfor denilince, nem, sıcaklık ve hava akımı gibi çevresel koşullar açısından, bireylerin bulundukları ortam değerlendirilerek, bireylerin fiziksel ve zihinsel aktivitelerini rahat bir şekilde sürdürebilme durumunu ifade eder. Termal konfor başlangıçta, kapalı bir ortamda, fark edilmese de, özellikle uzun süreli o ortamda termal konforun sağlanamaması durumunda bireylerin ortamda öncelikle huzursuz olurlar, sonrasında ise rahatsızlık hissi duymaya başlarlar. Çalışma ortamlarındaki ısı konforunun sağlanamaması iş kazalarının artmasına ve üretimin azalmasına gibi verim düşüklüğüne neden olmaktadır (Zhao, Lian, & Lai, 2021).

İç mekan konforu kişilerin üretkenliğini ve verimliliğini etkilediği bilimsel olarak kanıtlanmış olduğu en temel parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Termal konfor, iklimlendirme sisteminin veya havalandırma sisteminin optimum tasarımında önemli bir rol oynayan, iklimlendirme mahallindeki sıcaklık ve hava akışı dağılımları ile ilgilidir (Mogra, Pandey, & Gupta, 2020).

Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemleri, konforlu ve sağlıklı bir iç ortamın korunmasının ayrılmaz bir parçasıdır. Sıcaklık, hava akışı ve hava kalitesini düzenleyerek optimum yaşam ve çalışma koşulları sağlarlar. Ansys Fluent, optimum termal konfor, enerji verimliliği ve hava kalitesi elde etmeye odaklanarak tek odalı bir ortamda, hava akışını, termal konforu ve hızı analiz etmek için ayrıntılı HAD simülasyonlarını kullanmışlardır. Hava hızı ile soğutma etkinliği arasında açık bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır . Ayrıca stratejik hava ünitesi yerleşiminin önemini ortaya koyarak daha fazla verimlilik, daha iyi hava dağılımı ve optimize edilmiş oda hava akışı dinamikleri ile optimal ortam koşulları sağlanmıştır (Barau, ve ark., 2024).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan iklimlendirme sistemlerinin amacı, insanların yaşamsal alanlarında termal konfor ve temiz iç ortam havasının teminidir. Isıl konforun çalışanların verimini etkilemesi dolayısıyla çalışma ortamının sıcaklığı, nemi, ortam hava hızı gibi çevresel parametrelerin yanında, bireylerin metabolik aktivite düzeyi de önemlidir (Atmaca, & Yiğit, 2009).

İnsanlarda bu metabolik aktivite ile insan vücudu termodinamik bir sitem olarak düşünüle bilir. İnsan vücut çalıştığı ortam açısından değerlendirildiğinde çevre ile enerji dengesi kolayca kurulabiliyorsa, diğer bir deyişle, bireylerin kendini konfor içerisinde rahat hissetmesi için, fizyolojik kontrol mekanizmalarının daha az aktif olması gerekir. (ASHRAE, 1993).

Özellikle ofis ortamlarında çalışan insanların haftalık 45 saat çalıştığı bilindiğine göre, günlük yaşantıların %37,5'ini ofislerde geçirmektedirler (4857 Sayılı İş Kanunu, 2003).

Holiday ve arkadaşları, bir ofis odasındaki sirkülasyonunu görselleştirmek için bir klima ünitesinden gelen hava akışı simüle edilmiştir.Bu araştırmada SolidWorks akış simülasyonu kullanılmıştır.Aynı zamanda ofisteki mobilyaların boyutları SolidWorks Part dosyaları oluşturulmuş ve ofisin zemini, çatısı ve yan duvarları ile birleştirilmiş. Klima ünitesi sisteminde 61024 in3/sec (i.e. 1 m3/sec) hava debisi ayarlanmıştır. Hava akışını arttırmışlardır (Holiday, Andreou, & Hayder, 2015).

Oda veya ofis içindeki hava akışıyla ilgili olarak, hareketli bir akışkanın akış çapı daraltıldığında, akış hızının arttığı ve basıncının azaldığı gözlenir. Bu durum, düşük basınçlı bir bölge oluşumuna yol açar. Böylece, bu bölgeye doğru yüksek basınçtan alçak basınca bir kuvvet oluşur. Bu durum Venturi etkisi olarak adlandırılır. (Cengel, & Cimbala, 2013).

Li, (2012) yaptığı araştırmada, bir sınıf içindeki hava akışının etkisini araştırmak için hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu gerçekleştirdi. Split tip ve merkezi sistem olmak üzere iki tip klima sistemi seçtiler. Her iki sistem tipinin hava akışını analiz ettiler ve karşılaştırdılar. Dökülen klimaya kıyasla merkezi sistemde daha iyi hava akışı dağılımı doğru bulmuşlardır.

Klimalı bir tek giriş ve çıkışlı bir ortamda akış modeli ve hız dağılımı üzerine yapılan deneysel bir çalışmada sıcaklık ve akış dağılımı HAD modellemesiyle bir çalışma yapılmış, kapalı alanda akış paterni hız ve sıcaklık dağılımları üç boyutlu HAD deneysel olarak incelenmiş ve doğrulanmıştır (Sarkar, & Mandal, 2008).

Yine yapılmış farklı bir araştırmada Bilgisayar Destekli Tasarım laboratuvarının iklimlendirmesinin HAD analiziyle, klima sisteminin hava akış dağılımı gösterilmiştir (Rahaman,& Kumar, 2015).

Sun ve arkadaşlarının iç mekan olarak bir odanın HAD modeline, matematiksel olarak modellenmiş bir PID denetleyicisine ve bir çalıştırma modeline dayalı olarak HVAC kontrol sistemlerini değerlendirmek için dinamik bir simülasyon kullanmışlardır. HAD modeli özellikle model girdilerini ölçmede yardımcı Kontrol modeli bu mevcut araştırmanın kapsamı dışı bir rehber olarak değerlendirmişlerdir (Sun, & Wang, 2010).

Bir binadaki split klima ünitesinden etkilenen ısıl konforu ve enerji tüketimini belirlemek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği üzerine yapılmış çalışmada bölünmüş ünitelerde, binanın bazı bölümlerinde enerji tüketimi %24 oranında arttığı, ısıl konfor seviyesinin düştüğünü belirlenmiştir (Aryal, & Leephakpreeda, 2015).

Bamodu ve arkadaşları (2017) bir ofis ortamında 4 yollu bir kaset klimanın HAD analizini gerçekleştirmişler. Ayrıca duvara monte tipik havalandırma ile 4 yollu kaset klima arasında bir karşılaştırma yapmışlar. Sayısal simülasyon sonucuna göre 4 yollu kaset klimanın duvara monte tipik havalandırmaya göre daha yüksek performans gösterdiği saptanmıştır (Bamodu, Xia, & Tang, 2017).

Klimalı ortamlarda düzgün sıcaklık dağılımlarında geliştirilen metodoloji ile depolama alanlarının, hastanelerin, ofisler gibi mahallerin tasarlanması üzerine çalışma yapılmıştır (Sempey, Inard, Ghiaus, & Allery, 2009).

HAD'nin iç ortamdaki yeni gelişmeleri ve kalite hususları, binalarda enerji tüketimi, termal konfor ve iç hava kalitesi çalışmalarında, kütle kesri taşıma denkleminde Smith ve Hutton probleminin kullanılmasıyla Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin kalite seviyesini ve ilgili şemalarıyla, üç boyutlu duvarlı bir odadaki akışın - k e model, model ve Reynolds Gerilme modeli gibi farklı türbülans modelleri kullanılarak tahmin edilmesinin önemli olduğunu bildirmiştir (Nielsen, 2004).

Li ve Nielsen (2011) yaptıkları çalışmada bilgisayar donanımlarında kapasite 1000–10.000 kat artışı, binalarda karmaşık hava dağıtım ve havalandırma sistemleri üzerine yapılan araştırmalarda HAD'nin mühendislik geliştirme çalışmalarında önemini dile getirmişlerdir. HAD doğrulamaya yönelik sayısal çözümleri desteklemek için analitik ve deneysel yöntemlerle yeni araştırma alanları ile HAD'nin kullanım alanlarının artacağı öngörmektedirler (Li, & Nielsen, 2011)

Havalandırmalı alanlardaki hava hareketinin tahmini için HAD araştırmalarda benimsenmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır (Nielsen,. 2015).

Kişisel havalandırma sistemlerini incelerken mevcut HAD'ni uygulamalarının son teknoloji ürünü analizleri sayesinde, bir ön kılavuz oluşturması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır (Liu, Zhu, Kim, & Srebric, 2019).

Kişisel havalandırma sistemlerini tek bir mikro iklim bölgesi oluşturmayı amaçlarken, enerjinin gerçekten ihtiyaç duyulan yerde kullanılarak termal konforun sağlayarak ayrıca % 60 'a varan enerji kullanımlarının azalacağını vurgulamışlardır (Veselý, & Zeiler, 2014).

Gürbüz ve arkadaşları (2016) ANSYS programı kullanılarak, bir otobüs ortamındaki sıcaklığın homojen olarak, 20°C'ye kademeli olarak düşürülmesi sürecinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, otobüste klima sistemi ile termal konfor açısından basınç ve hız dağılımı analiz edilmiştir (Gürbüz, Akçay, Asghar, & Ali, 2016).

Yine bir başka araştırma da binek araçtaki termal ortam ve hava kalitesi, sürücü ve yolcuların sağlığını, performansını ve konforunu etkileyecek olan araç kabinindeki durum değişkenlerinin ve sınır koşullarının uzamsal ve zamansal olarak değişmesi nedeniyle, HVAC'nin, sürücü ve yolcuların sağlığını ve performansını etkileyecek şekilde tasarlanması gerekmediği bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak bireysel fizyolojik ve psikolojik tepkilere bağlanmıştır. Bu durum, fizyolojik ve psikolojik tepkilere ilişkin giysi yalıtımı, aktivite, hava sıcaklığı ve hava hareketi tercihi gibi bireysel farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Araç HVAC sisteminde deneysel çalışma yapmak çok maliyetli olabileceği için çalışmada hava akışını ve sıcaklığı analiz etmek için sayısal bir simülasyon kullanılmıştır. Elde edilen simülasyon verileri daha sonra deneysel verilerle karşılaştırılmış ve bu veriler arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür (Aris, ve ark.,2021).

Endonezya 'da 596 çalışanın bulunduğu çok katlı bir ofis binasında çalışanlar üzerinde yapılan araştırmada ısıl yük indeksine bağlı termal ortamların, insan konforu açısından değerlendirilmiştir. (Shimazaki, & Aisaka, 2018).

Myhren Jonn ve arkadaşları (2014) kış ortam koşullarında ofis içerisinde sıcaklık farklarını, hava hızını ve enerji kullanımı açısından, iç mekan iklimine etkisini değerlendirmekve belirlemek için HAD kullanmışlardır (Myhren & Holmberg 2014).

Isıl konfor ve iç hava kalitesinin değerlendirildiği, zemin altı ısıtma sistemiyle donatılmış ve solunum fonksiyonuna sahip bir ısıl mankenin yer aldığı bir ofis ortamı, başka bir araştırmada incelenmiştir. (Yüce, & Pulat 2019).

Hatta yapılan diğer bir çalışma ile termal konfor ve kabin sağlık koşulları açısından uçak kabinlerinin hava dağılımı CFD modellerinin uçaklardaki doğru hava dağılımını tespit etmede etkili olduğunu bildirmişlerdir (Liu, ve ark 2012).

Çalışma ortamlarında cinsiyetin termal konfor üzerine etkilerinin değerlendirildiği araştırmada biri klimalı ve diğer ikisi karışık sistemli olmak üzere 3 iş yerinde 83 saha çalışanıyla yapılan değerlendirme de erkek ve kadın deneklerin termal konfor yanıtlarında önemli farklılıkların varlığını göstermektedir (Maykot, Ricardo, & Enedir, 2018).

Gautam ve Agarwal (2022) yaptığı çalışmada , ANSYS fluent kullanarak bir ofis odası için dört yönlü kasetli AC giriş konumunu değiştirerek daha iyi termal konforun etkilerini araştırmaktır (Gautam &. Agarwal 2022).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

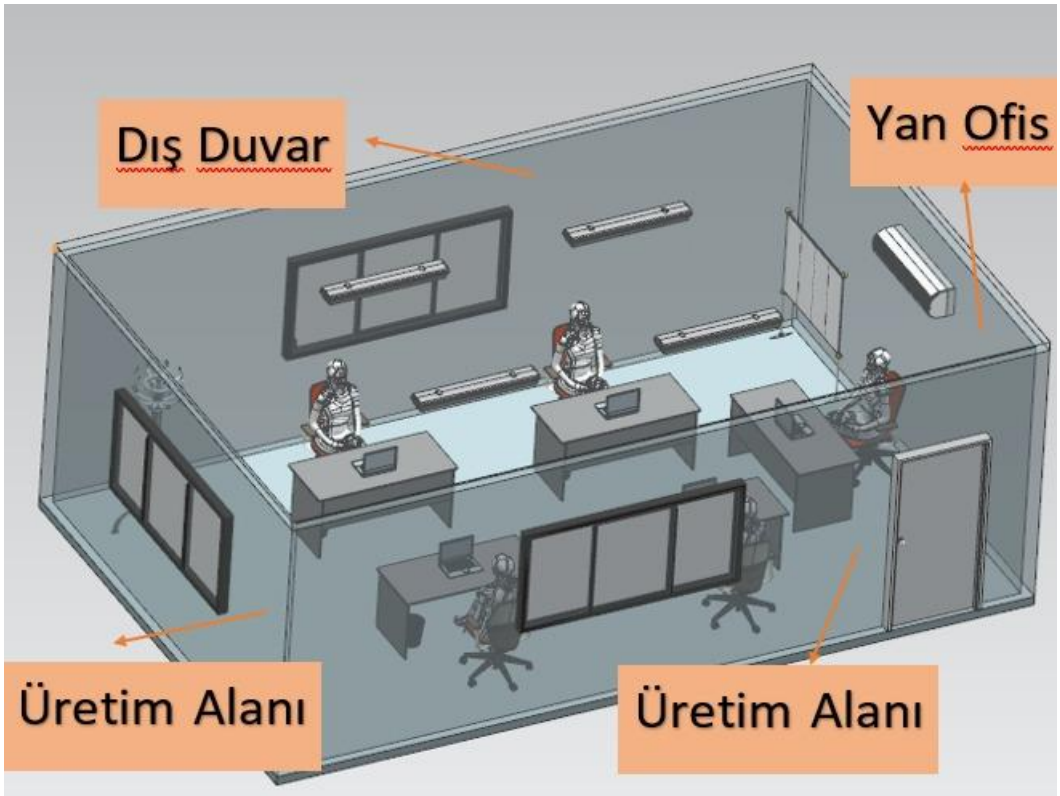
Bu çalışma, akışkan dinamiğini simüle etmek için özel analiz yazılımının kullanımını ele almaktadır. Bu çalışmada kullanılan yazılım paketleri ANSYS ve (CFD) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olarak bilinmektedir. CFD, dinamik bir akışı bulan bir hesaplama teknolojisidir (Megri, & Ali, 2015).

3.1. ANSYS Fluent ile Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) Analizi

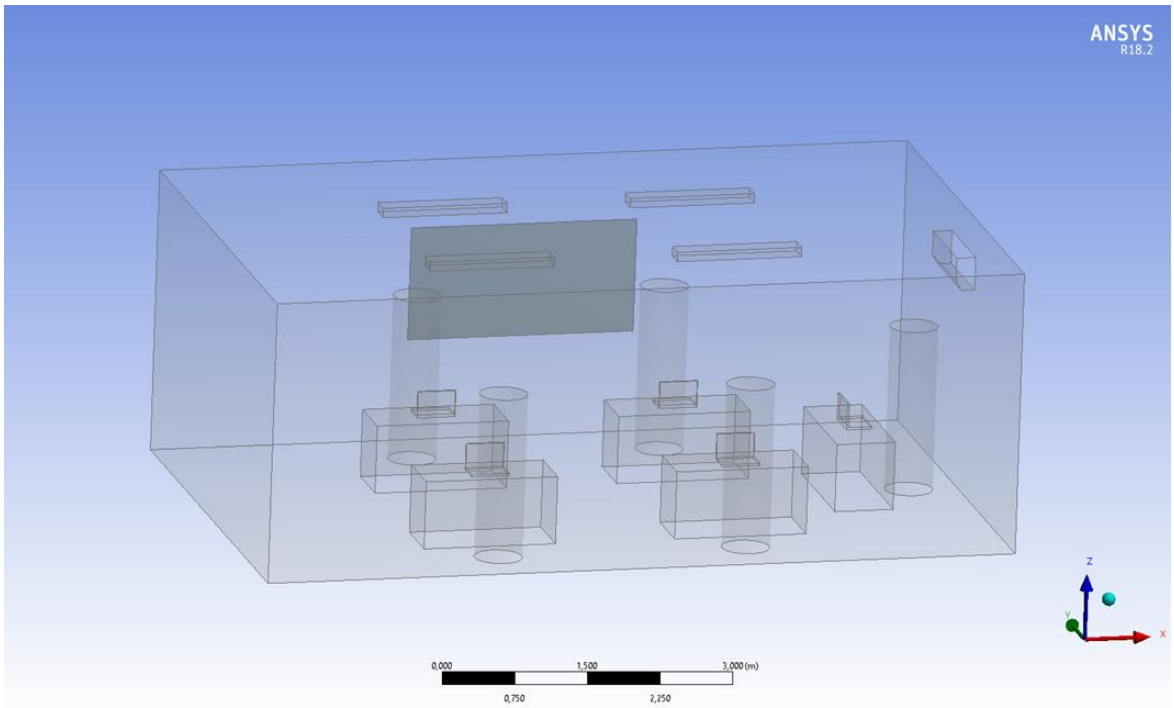
Ofis odası için bilgisayar destekli akışkan dinamiği analizi ANSYS Fluent ile gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalı analizi gerçekleştirmek için, süreklilik denklemi, momentum denklemi, enerji denklemleri ve K-ε denklemleri gibi temel denklemler kullanılmıştır.

3.2. HAD Analizinde Kullanılan Algoritma

Bir HAD ofis alanı modeli, SOLİDWORKS programı kullanılarak tasarlanmıştır. Ofisin bir duvarı dış ortama, diğer bir duvar yan ofis duvarı, diğer 2 duvar ise çalışan ve müşterilerin görsel konforu açısından üretim ortamına bitişik cam olarak tasarlandı.
Ofisin bina dış duvarı haricinde, duvarlar, tavan ve zeminin tüm yüzeyleri, sistem ile çevre arasında enerji akışının olmadığı (adyabatik) şekilde değerlendirilmiştir. Ofis alanının yaklaşık boyutu 5 x 8 x 3 m'lik olacak şekilde modellendi.



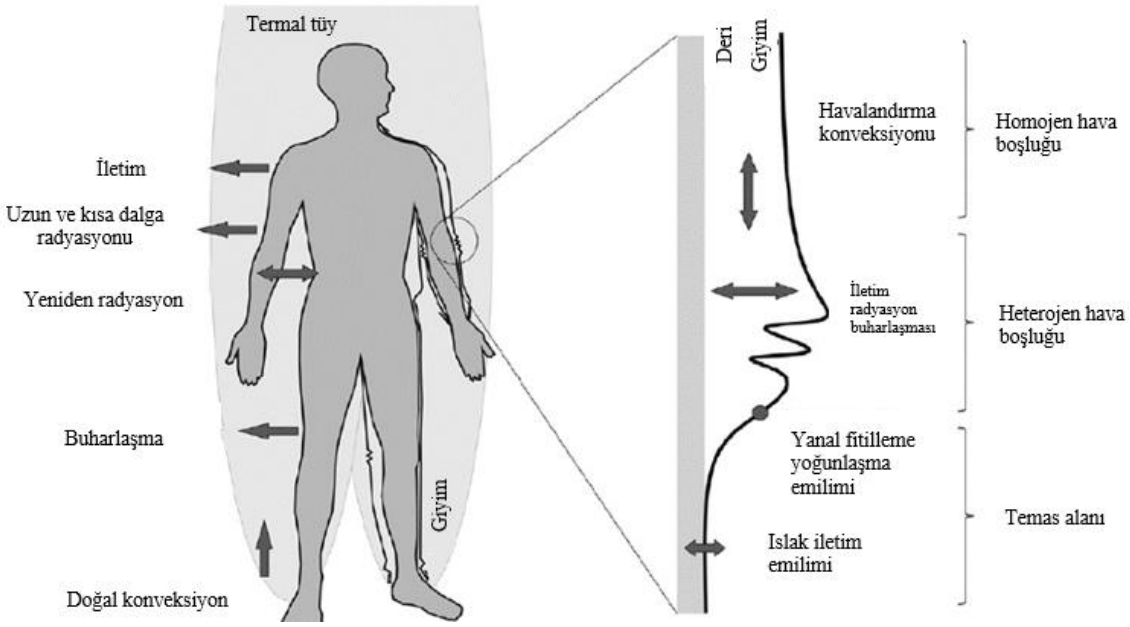
Şekil 3.1. Solidworks programı ile çizilmiş ofis alanı modeli



Şekil 3.2. Solidworks programı ile çizilmiş modelin Ansys aktarılmış hali

Binalarda iç hava kalitesine sahip konforlu ortam sağlayabilmek için havalandırma oluşturulmalıdır. Havalandırma ile bina içerisinde hava sıcaklığı, bağıl nem ve havada bulunan kimyasal tür konsantrasyonlar gibi iç hava parametrelerini düzenlenebilir.
Bina içi hava parametrelerini düzenlemek için, binalarda havalandırma performansını tahmin edecek uygun araçlara sahip olmak çok önemlidir. Havalandırma performansı tahmini, bina inşa edilmeden önce bile bir oda veya binadaki iç hava parametreleri ile ilgili bilgileri sağlamaktır.

Çoğunlukla bir odadaki havanın hava sıcaklığı ve kimyasal tür konsantrasyonlarının dağılımı yönüyle iyice karıştığı varsayılarak tekdüze dağılım gösterdiği kabul edilir.
Küçük ofisler, otel odaları ve yatak odaları gibi küçük odalar için böyle bir varsayım genellikle kabul edilebilir. Ancak, tiyatrolar, otel lobileri ve spor salonları gibi geniş alanlar için tam karıştırma varsayımı kabul edilebilir uygun olmayabilir. Bu durumda havalandırma performansını değerlendirmek için hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı ve kimyasal tür konsantrasyonlarının dağılımlarına ihtiyaç duyulacaktır.



Şekil 3.3. İnsandan çevreye ısı transferinin takibi (Psikuta ve ark.,2017)

3.3. Termal Konfor

Bir bireyin rahatlık hissetmesinin veya rahatsızlıktan şikayet etmesinin genelleştirilmesi karmaşık bir olgudur. Termal konforu tanımlamak zordur, elde etmek ise daha da zordur. Termal konforla ilişkilendirilen karmaşıklık, benzer ortamı paylaşan kapalı mekanda oturanlar arasında zıt bir görüştür. Benzer kıyafetlere sahip olan ve ortak bir iklim koşulunu paylaşan sakinler, termal konfor konusunda farklı görüşlere sahiptir. Bazı görüşler birbirine oldukça zıttır. Sonuç olarak, termal konforun mutlak standartları olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak, termal konfor, düşük cilt nemi ve minimum fizyolojik efor düzenlemesi ile vücut sıcaklıkları mümkün olduğunca dar bir aralıkta tutulduğunda elde edilir. Termal konfor insan uygarlığının başladığı zamandan bu yana dikkate alınsa da, konuyla ilgili bilimsel çalışmalar son 20-30 yıl önceye dayanmaktadır. O yıllardan beri insanlar iç ve dış ortam değişikliği ile başa çıkmak için kıyafetlerini, aktivitelerini, barınaklarını vb. 20. yüzyılın başlarındaki çalışmaların çoğu, termal konforu ölçmek için bir endeks olarak tek bir sayı sağlamak üzere ilgili termal konfor parametrelerini entegre eden bir sistem geliştirmeye harcandı. Bazı erken keşifler, 1916'da Leonard Hill ve arkadaşları tarafından Kata termometrenin geliştirilmesine işaret etmektedir. Ancak 1962 yılında Macpherson termal konfor araştırmaları alanına öncülük etti ve termal konforu etkileyen toplam 6 faktörü belirlediğinde çığır açan bir dönüm noktasına ulaştı (Macpherson, 1962). Bu altı faktör, içerisinde yer alan hava sıcaklığı, hava hızı, bağıl nem ve ortalama radyan sıcaklık olarak bilinen 4 fiziksel parametre ile iki kişisel parametre (kıyafet yalıtımı ve aktivite seviyesi, yani metabolik hız) olarak bölümlendirilebilir. Keşifleri, takip eden yıllarda yapılacak araştırmaların temelini attı ve sonunda hızla devrim yaratan endüstriyel dünyada sakinlere termal konfor sağlama konusunda birçok araştırmacının dikkatini çekti.

Kapalı ortamlarda bulunan insanlar için, Ashrae standartlarında, yazın sırasıyla sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, 22-26°C, %20-60, <0,25 m/s belirtilirken, kışın ise 20-24°C, %30-65, <0,15 m/s, olarak bildirilmiştir (Persily, 2015).

Şekil 3.4. Termal Konfor Faktörleri (Chrenko, 1967)

3.4.Termal Konfor ve iç Hava Kalitesi

Genel olarak, ısıl konfor ve iç mekan hava kalitesi (IAQ) alanında kapsamlı bir literatür bulunmaktadır. Konutlarda, ofislerde, sınıflarda, amfilerde, hastanelerde ve farklı binalarda ısıl konfor ile iç mekan hava kalitesinin araştırmasının yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bir iç ortamdaki termal konfor ve hava kalitesi üzerine araştırmalar, HAD, tam ölçekli ölçümler, indirgenmiş ölçekli ölçüm, analitik yöntem vb. bina tasarımından bağımsız olarak iç mekan durumunu gerçek zamanlı olarak tam olarak incelenebilmektedir. Bununla birlikte, genel sınır koşullarını kontrol etmek ve hava parametrelerini tüm noktalarda ölçmek genellikle imkansızdır (Tominaga, ve ark., 2008; Jia, Hve ark., 2021). Küçültülmüş ölçekli yöntemde, genellikle kontrollü bir laboratuvar içinde gerçekleştirildikleri için sınır koşulunun kontrolü mümkündür, ancak benzerlik kısıtlaması önemli bir konudur. Analitik yöntem, yüksek hesaplama gücüne ihtiyaç duymadan basit, kolay ve güvenilirdir. Bununla birlikte, yöntem genellikle yapı geometrisi ve ilgili fizik dahil olmak üzere basit durumlar için uygundur (Chen, 2009).

Öte yandan, HAD, ayrıntılı iç hava akış davranışını ve tüm hesaplama alanını tahmin etmek için potansiyel bir araç olarak ortaya çıkmıştır. HAD, tam ölçekli simülasyona izin

verir ve sınır koşulları, modelde mükemmel şekilde taklit edilebilir. HAD ve sayısal analizdeki son gelişmeler, karmaşık bir termo-akışkan sınır koşullarında ve geometride hava akışını makul bir doğrulukla tahmin etme yeteneğine sahiptir. Ek olarak, doğal ve mekanik olarak havalandırılan binalarda iç hava akışını, termal hissi, kirletici madde dağılımını ve hava kalitesini araştırmak için HAD uygulaması, diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesi çoğunlukla zor olduğundan, sürekli olarak artmaktadır. Artan popülariteye ve çeşitli avantajlara rağmen, HAD aracılığıyla, iç mekan hava akışını tahmin etmenin doğruluğu ve güvenilirliği çok sayıda araştırmacı tarafından hala önyargıyla da yaklaşılmaktadır. Bu nedenle, elde edilen HAD sonuçlarının doğrulamaları eşit derecede önemlidir ve eş zamanlı olarak gerçekleştirilmelidir. Termal konfor, HAD kullanılarak gerçekleştirilen iç hava kalitesi ve ölçümler alanındaki mükemmel literatürden bazıları aşağıda tartışılmaktadır.

Lee & Awbi (2004) yaptıkları farklı bir araştırmada, mekan içerisindeki bölümlemenin iç mekan hava kalitesi ve havalandırma performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Lee, & Awbi, 2004), Çalışma için, tavandan karışım havalandırması olan küçük bir model test odası seçilmiştir. Bölme yüksekliği, konumu ve altındaki boşluk gibi değişken bölme parametreleriyle farklı koşulları değerlendirmek için HAD teknikleri uygulanıştır. Ayrıştırmanın kirletici madde giderme etkinliği ve hava değişim etkinliği üzerindeki önemli etkisi rapor edilmiştir. Araştırma, küçük ölçekli bir maket test odasında izotermal koşullarda gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın pratik odağı, açık alan planlı ofislerde kullanılan yarı ölçekli bölmelerin etkisiydi, bu nedenle elde edilen sonuçlar, iç mekan iklimlendirme alanlarının sınırlandırılmasında kullanılan tam ölçekli bölmeler durumunda geçerli olmayabilir.

Bu araştırmada; SOLİDWORKS programı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilen ofiste farklı hava giriş sıcaklığı ve hızlarında ortamda homojen hava dağılımı için , sistem tasarımı HAD metodunu kullanan Ansys Fluent programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir.

Literatür taramasında termal konfor ve HAD analiziyle, farklı ortamlarda klima sisteminin hava akış dağılımı incelenmiştir. Ayrıca bu farklı ortamlarda iyi termal

konforun etkileri değerlendirilmiştir. Materyal ve metot kısmında ise, ofiste farklı hava giriş sıcaklığı ve hızlarında yapılan analizler hakkında bilgi verilmiştir.
Bulgular ve Tartışma bölümünde ofis ortamında farklı üfleme hızı ve sıcaklığı ile ofisin ısıtılmasının Ansys Fluent programı ile sayısal analizi yapılarak incelenmiştir. Çalışanlar için uygun ortam şartları değerlendirilerek, elde edilen veriler bu kısımda sunulmuştur.

Araştırmanın Tartışma ve Sonuç kısmında ideal termal konfor şartlarını sağlayan homojen hava hızı dağılımı ve sıcaklığının sonuçları özetlenmiştir.

Bu teknolojide 5 kişilik bir ofiste, 23°C, 25°C, 27°C olan ofisin hava sıcaklığı ve hava hızı (0,5 m/s , 1 m/s , 2 m/s) dağılımı analizi Ansys Fulent programında yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, ofis içerisinde termal konforda en ideal şartları bulmaya çalışılmıştır.

3.5. Korunum Denklemleri

Analizlerde kullanılan sürekli akış rejim için korunum denklemleri şu şekildedir.

3.5.1. Kütlenin Korunumu

Aşağıdaki denklem, kütlenin korunumu ilkesine dayanır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \qquad (3.1)$$

S_m terimi genellikle, faz değişimi sırasında değişen kütle miktarını ifade etmek için kullanılır.

3.5.2. Momentumun Korunumu Denklemi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla.(\rho \vec{v}\,\vec{v}) = -\nabla p + \nabla.(\bar{\bar{\tau}}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \qquad (3.2)$$

$\bar{\bar{\tau}}$ (gerilme tensörü), bir akışkanın birim alandaki içsel kuvvetleri veya gerilmeyi temsil eden bir vektör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\bar{\bar{\tau}} = \mu\left[(\nabla\vec{v} + \nabla\vec{v}^T) - \frac{2}{3}\nabla.\vec{v}I\right] \tag{3.3}$$

μ: Dinamik viskozite

I: Birim matris

p: Durgun basınç

3.5.3. Enerjinin Korunumu Denklemi

En genel haliyle enerji korunumu denklemi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla.\left(\vec{v}(\rho\vec{v} + p)\right) = -\nabla.\left(\sum_j h_j J_j\right) + S_h \tag{3.4}$$

3.6. Türbülans Modelleri

Kaynak araştırmalarına göre 3 boyutlu oda iklimlendirmelerinde en yaygın kullanılan modelleri arasında Standart k-ε (Chow & Yang, 2003, Loomans ve ark., 2008, Han ve ark., 2011) ve RNG k-ε (Gharbi ve ark., 2012; Smith ve ark., 2013) modelleridir. Bu çalışmada ise çözüm, Standart k-ε modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Standart k-ε Model

Aşağıdaki transport denklemleriyle, türbülans kinetik enerjisi, k ve onun yayılma oranı, ε elde edilir:

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

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

Karışım viskozitesi μ_t;

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3.7}$$

Olarak tanımlanır. C_μ sabit bir sayı olarak kabul edilir ve 0,09 hesaba katılır. C_μ sabitinin 0,09 olması bu değerin çeşitli akışkan dinamiği ve türbülans teorilerinde yapılan deneyler ve hesaplamalar sonucu belirlenmiş bir referans değer olduğu anlamına gelir. Bu değer türbülanslı viskoziteyi tahmin etmek amacıyla yaygın olarak kabul edilmiş bir değerdir ve deneysel verilerle de doğrulanmıştır.

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, σ_k ve σ_ε değerler aşağıdaki gibi belirtilir.

$C_{1\varepsilon}$=1.44, $C_{2\varepsilon}$=1.92, ∂_k=1.0 ve ∂_ε=1.3

$$G_k = -\rho \overline{u_l u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \tag{3.8}$$

Kaldırma kuvvetinin etkisini hesaba katmak için Boussines q modeline bağlı olarak G_k değeri şu şekilde yazılır,

$$G_k = \mu_t S^2 \tag{3.9}$$

S, zorlanma tensörünün modülünü ifade eder.

$$S \equiv \sqrt{2S_{ij}} S_{ij} \tag{3.10}$$

şeklinde ifade edilir.

G_b, Buoyancy etkisine (bir akışkan içerisindeki yoğunluk farkları nedeniyle meydana gelen hareketi açıklar) dayalı türbülans kinetik enerjisidir ve şu şekilde açıklanır.

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \tag{3.11}$$

Pr_t: Prandtl sayısı
g_i: i yönündeki yerçekimi vektörü

Boussines, doğal taşınımla ısı transferinde yoğunluk değişiminin etkisi hesaba katmak kullanılan bir yaklaşım modelidir.
Standart k-ε modelinde Pr_t değeri 0,85 olarak kabul edilirken, β ise aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p \tag{3.12}$$

Y_M, sıkıştırılabilir türbülansın dalgalı yayılmasının dağılım üzerindeki genel etkilerini temsil eder.

$$Y_M = 2\rho\varepsilon M_t^2 \tag{3.13}$$

şeklinde bulunur.

M_t türbülans mach sayısı olup

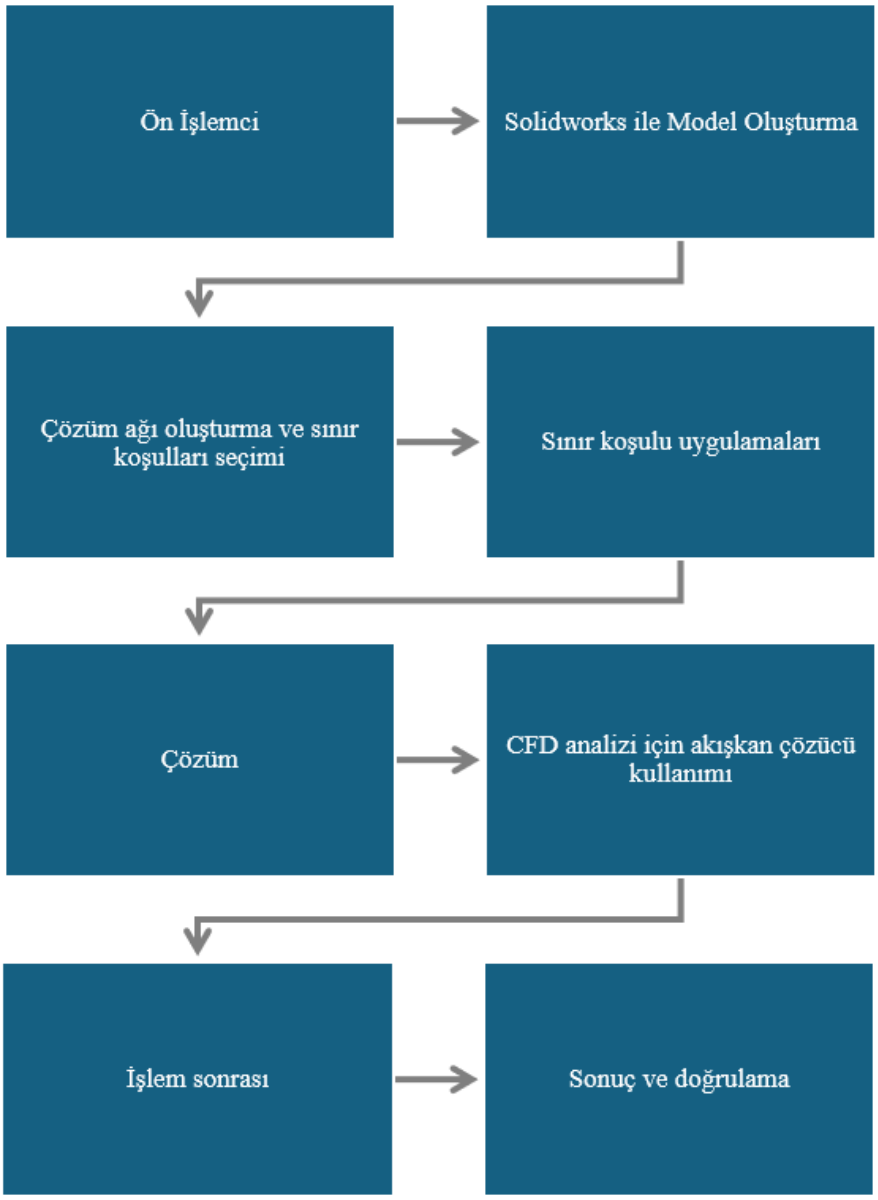
$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}} \tag{3.14}$$

şeklindedir. a ses hızı olup $a(\equiv \gamma RT)$ şeklinde bulunur.

3.7. HAD Analizi

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, akışkan akışıyla ilgili konuları ele almak için matematiksel teknikler kullanan bir akışkan fiziği dalıdır. Mahal iç ortam tasarımlarına ait farklı parametrelerin (ses etkinliği, sıcaklık dağılımı, hava akışı ve hava kalitesi vb.) araştırılmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, yapılan kompleks hesaplamaları çözümleme gücü, türbülans modellemeleri, ekonomik olması ve hızlı sonuçlar vermesi gibi birçok sebepten tercih edilmektedir.

Isı ve kütle transferlerinde yüksek güvenilirlik seviyesine sahip Navier-Stokes denklemlerine dayanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programları, mahal içerisindeki termal koşullar ile dağılımlarının hem niceliksel hem de görsel olarak analiz edilmesinde oldukça etkilidir.



Şekil 3.5. Ansys programında termal konfor analiz adımları

Bu metot, verilerin doğru formatta ve belirli bir standartta olmasını sağlayarak, verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için uygun hale getirir. Özellikle bilimsel araştırmalarda, HAD analizi gibi simülasyonların yapılması için preprocessor (ön işlemci), girdi dosyalarını hazırlama, geometri oluşturma, malzeme özelliklerini tanımlama, sınır koşullarını belirleme gibi işlemleri gerçekleştirir. Bu sayede, HAD analizi için gerekli olan tüm veriler, analiz programı tarafından okunabilecek uygun bir formatta sunulmuş olur.

3.8. SOLİDWORKS Kullanarak Hesaplamalı Modelleme

Hesaplamalı Modelleme, Solidworks kullanarak, bir model tasarlama ve yerleştirme için faktörlerin niteliklerini barındıran bir yöntem kullanan bir 3D mekanik CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) çizim kodu yazılım aracıdır.

SOLIDWORKS Flow Simulation uygulaması, tasarımınızın başarısı açısından kritik olan sıvı akışı, ısı transferi ve sıvı kuvvetlerini hızlı ve kolay bir şekilde simüle etmenize olanak tanır ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerindeki zorlukları ortadan kaldırır.

3.9. Havalandırma Sistem Verileri

Deplasmanlı havalandırma uygulamaları için, havalandırma oranını ve besleme havası sıcaklığını bulmak için birkaç adım gereklidir.

Isıtma yükü havalandırma hava debisi için gerekli hava debisi denklemleri ile belirlenir. Ofisin içerisinde yer aldığı binanın duvarları betondan inşaa edilmiştir.

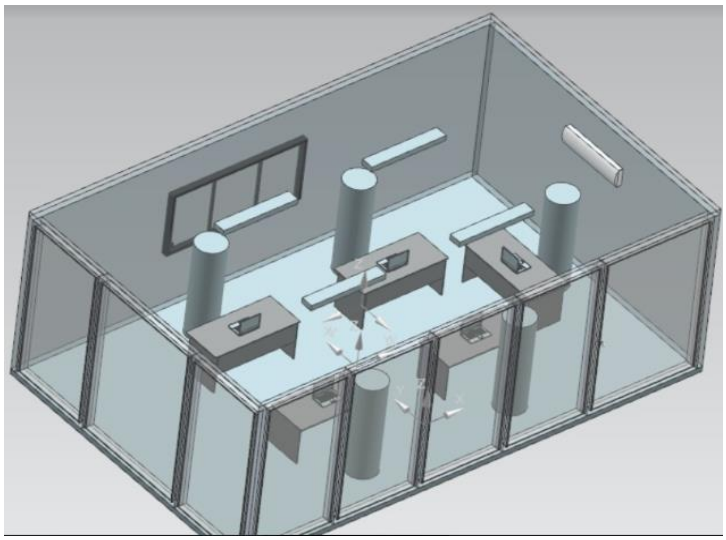
3.10. Ofis Tanıtımı

Bir ofis odası için, termal konfor ve hava akışının modelini etkileyen birkaç faktör vardır. Hava besleme ve tahliyesinin yeri, ortam hava akışının davranışını ve dolayısıyla odanın ısıl iklimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir.

Bu çalışma, şekiller (3.1 ve 3.2)'de gösterildiği gibi, bir ofisteki ısı kaynakları ile ilgili olarak bu ofisin en iyi havalandırmasını belirlemek için yer değiştirme stratejisini dikkate alarak bunların iç mekan termal konfor davranışı üzerindeki etkilerini belirler.

Boyutları 5 m x 8 m x 3 m olan ofis göz önünde bulundurarak tipik bir küçük ofisin yer aldığı binada, bu ofisite oturan beş insan figürü, şekil (3.1)'de gösterildiği gibi, beş dizüstü bilgisayar ve 4 lambanın ısı akıları göz önüne alınarak simule edildi.

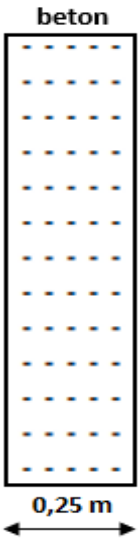
İnsanlar, aydınlatma ve bilgisayarlar için seçilen sabit yüzey sıcaklıkları sırasıyla 34°C, 33°C, 40°C dir.



Şekil 3.6. Solidworks programında çizilmiş ofis katı modeli

Ofisin üretim alanına bakan duvarları camdan oluşmakta ve dış duvarı betondan oluşmaktadır. Yan duvarı, zemini ve tavanı adyabatik olarak kabul edilmiştir.

Ofisin dış duvarına ait kesit aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.7. Ofis dış duvarına ait kesiti

Beton duvara ait özellikler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Beton duvar (Hafif Beton) yapı özellikleri (Yiğit, & Kılıç, 2024)

Beton Duvar Özellikleri	
Yoğunluk	1920 kg/m^3
Özgül Isı	790 J/kgK
Termal İletkenlik	0,9 W/mK

Ofisin üretim alanına bakan alanlarına ait kesit aşağıdaki gibidir.

Şekil 3.8. Ofisin üretim alanına bakan duvarlarına ait kesiti

Cama ait özellikler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Cam duvarlara (Borosilikat Cam) ait yapı özellikleri (Yiğit, & Kılıç, 2024)

Cam Özellikleri	
Yoğunluk	2800 kg/m^3
Özgül Isı	750 J/kgK
Termal İletkenlik	0,7 W/mK

Ofis ortamına ait iç ve dış ısı taşınım katsayıları ile mahal sıcaklıkları aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.3. İç ve dış mahal ısı taşınım ve sıcaklık değerleri (Yiğit, & Kılıç, 2024)

Mahal	**Isı Taşınım Katsayısı (W/mK)**	**Sıcaklık (^{o}C)**
İç Mahal	7	18
Dış Mahal	21	2

Ofis ortamına ait toplam ısı transfer katsayısı aşağıdaki denklemden faydalanılarak hesaplanabilir.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{dış}} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_{iç}} \tag{3.15}$$

İlgili denklemden faydalanılarak toplam ısı transfer katsayısı 0,4755 W/m^2K olarak hesaplanmıştır.

Tek veya birden fazla katmandan oluşan bir yapı elemanının birim alanı (m²) üzerinden birim zamanda meydana gelen ısı kaybı, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

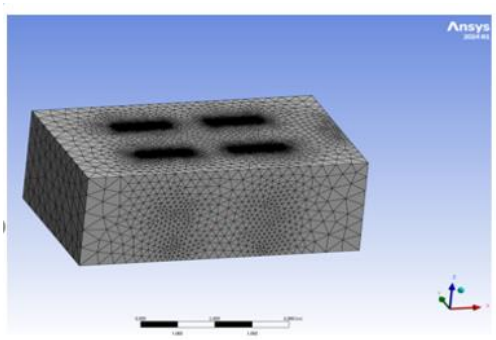
$$q = U(T_i - T_d) \tag{3.16}$$

İlgili denklemden faydalanılarak ısı akısı 7.608 W/m^2 olarak hesaplanmıştır.

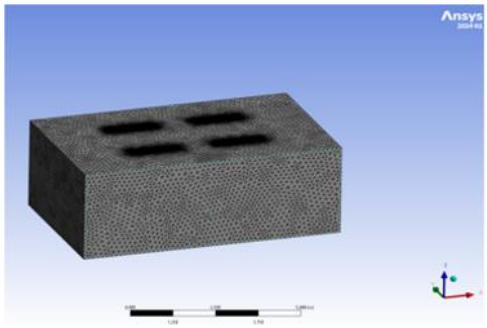
3.11. Sayısal Yöntemin Doğruluğunun Belirlenmesi

Sayısal yöntemlerin doğruluğunu belirlemek için ağ bağımsızlığı analizi kritik bir adımdır. Ağ bağımsızlığı analizinin ve sayısal yöntemin doğruluğunun belirlenmesi için kullanılan farklı mesh seviyeleri, elde edilen sonuçların hassasiyetini etkileyebilir. Düşük, orta ve yüksek seviyelerde yapılan hesaplamalar arasındaki farkların incelenmesi, sayısal çözümün doğruluğunu test etmek için yaygın bir yaklaşımdır. Bu süreçte ofis modeli farklı mesh adetleri üzerinde modellenmiştir. Mesh adeti sırasıyla, 1.035.479 (düşük kalite) (Şekil 3.9.a), 1.552.913 (orta kalite) (Şekil 3.9.b) ve 1.931.854 (yüksek kalite)

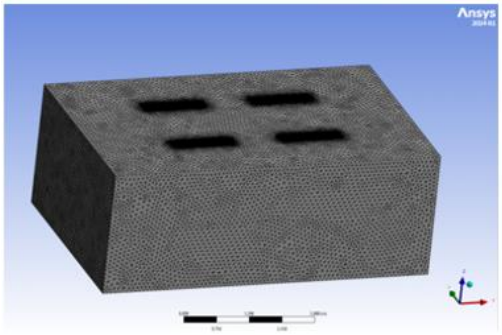
(Şekil 3.9.c) olan modellerde değerlendirme yapılmıştır. Hava giriş sıcaklığı 25°C ve hızı 1m/s olan çözümde, 1.035.479, 1.552.913 ve 1.981.754 mesh sayılarında analizler yapılmış ve x yönünde 2 m uzaklığında klimaya yakın bir noktada zeminden tavana kadar olan bir çizgi üzerinde hız-yükseklik grafiği çizilmiştir. Grafiğe bakıldığında 1.552.913 ve 1.981.754 mesh sayılarındaki grafikler birbirlerine oldukça yakın olması nedeniyle çözüm süresini daha kısa tutmak açısından 1.552.913 mesh sayısında analizler yapılmıştır (Şekil 3.10).



Mesh Sayısı: 1.035.479
(Düşük)
(a)

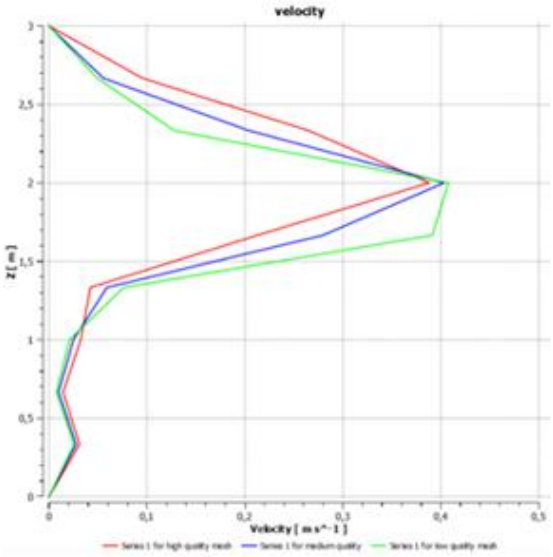


Mesh Sayısı: 1.552.913
(Orta)
(b)



Mesh Sayısı:1.981.754
(Yüksek)
(c)

Şekil 3.9. Farklı mesh seviyelerinde model ağ yapıları



Şekil 3.10. X yönünde 2 m uzaklık için hız - yükseklik grafiği

4. BULGULAR

Bu çalışma sayısal olarak sürdürülmüştür. Çalışmada split klima (Ek 1) ile bir ofisin farklı üfleme hızı ve sıcaklığı ile ortamın ısıtılmasının Ansys Fluent programı ile sayısal analizi yapılarak incelenmiştir.

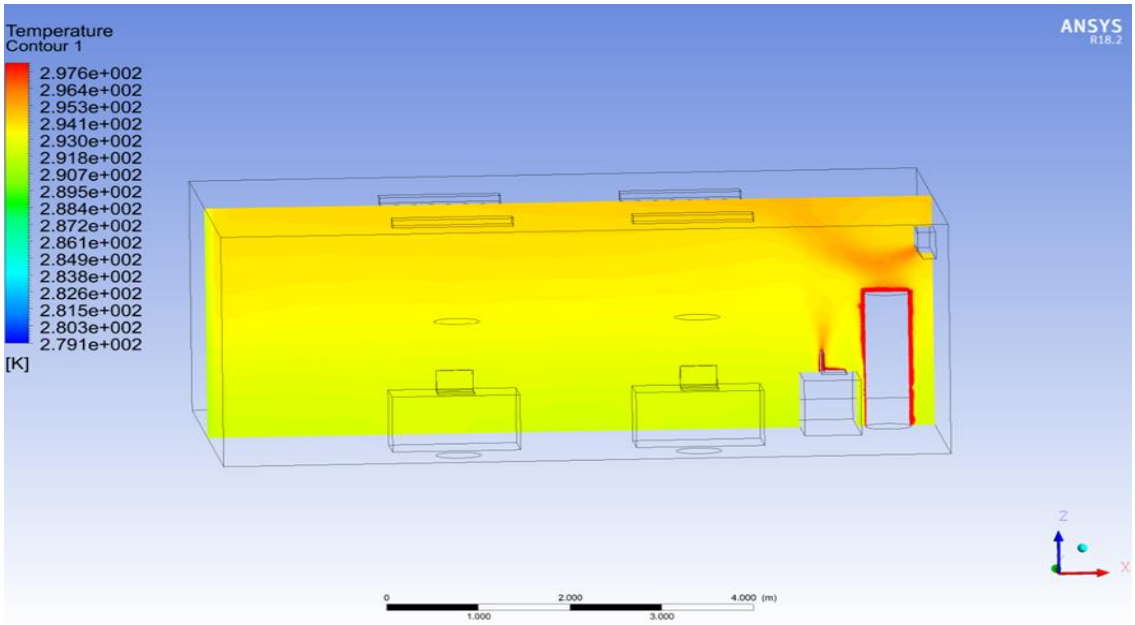
Yapılan analizler sonucunda sıcaklık ve hız dağılımı görsel olarak verilmiştir. T_g = 23°C, 25°C, 27°C ve V_g = 0,5 m/s, 1 m/s, 2 m/s değerleri için analizler yapılmış ve xz ve yz eksenlerinde kesit görüntüleri verilmiştir.

4.1. Hava giriş sıcaklığı 23°C olduğu durumda;

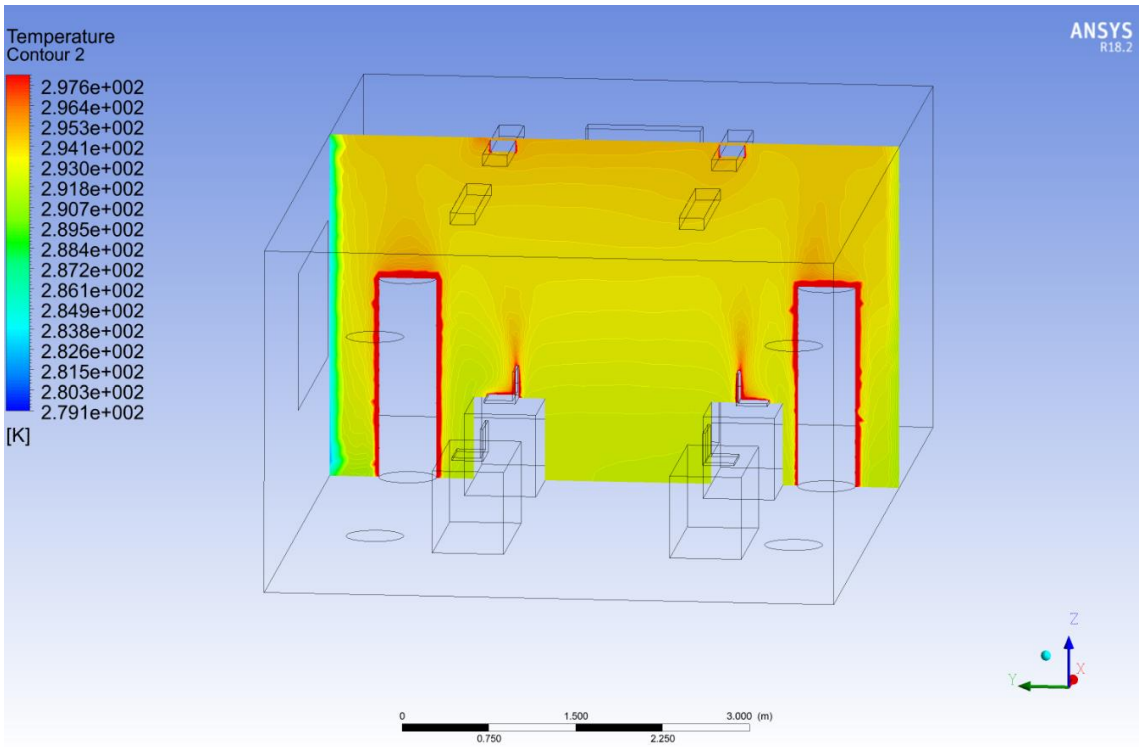
Hava giriş sıcaklığı 23°C olduğunda, farklı hava akış hızları için, ofisteki sıcaklık dağılımları aşağıdaki gibi olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.1. Üfleme Hızı (V_g) = 0,5 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 23°C

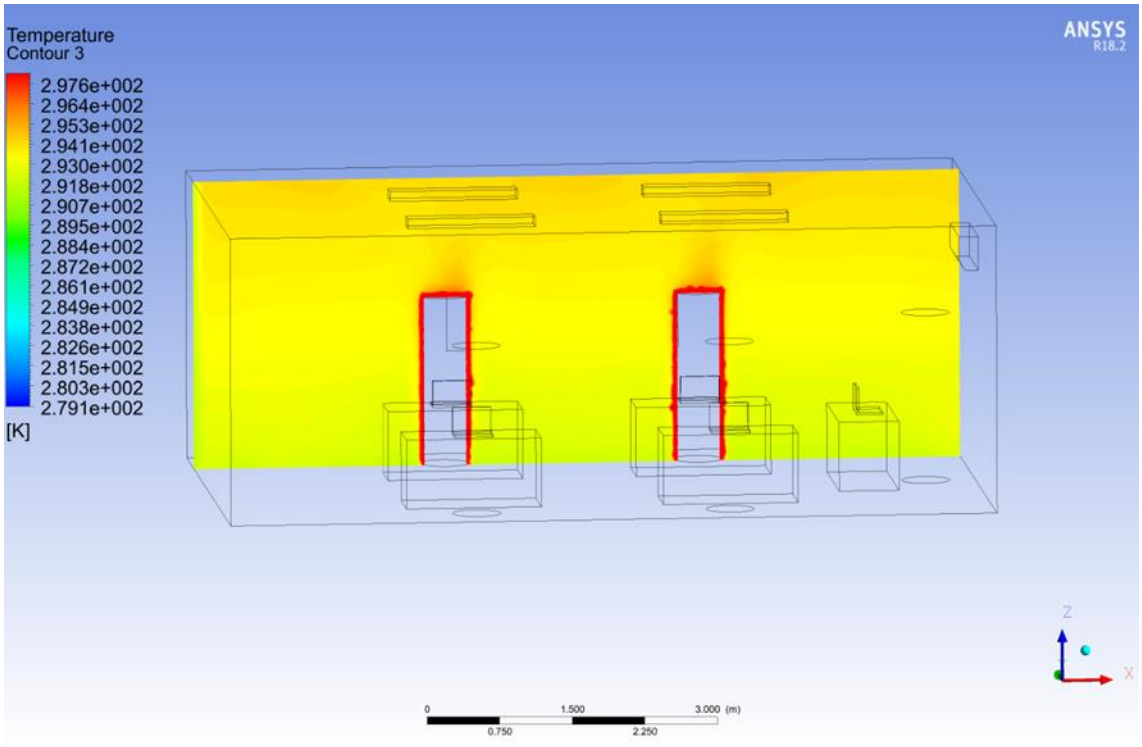
Şekil 4.1.- 4.5. arasında T_g=23°C ve V_g= 0,5m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 20°C civarında olmakla beraber, kış şartlarında kapalı mahallerdeki sıcaklık aralığının (20-24°C) alt sınırına yakın olduğu görülmektedir. Zemine doğru 17-18°C derece dolaylarında olup ayaklarda üşüme gözlemlenme ihtimali yüksektir.



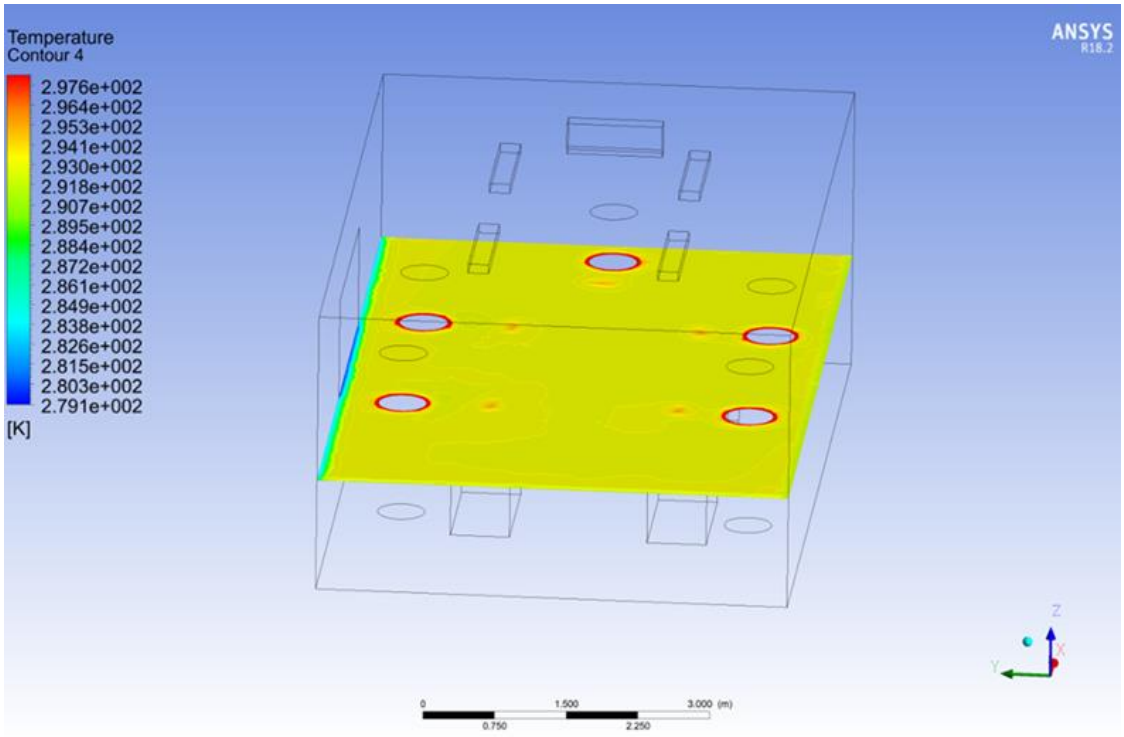
Şekil 4.1. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



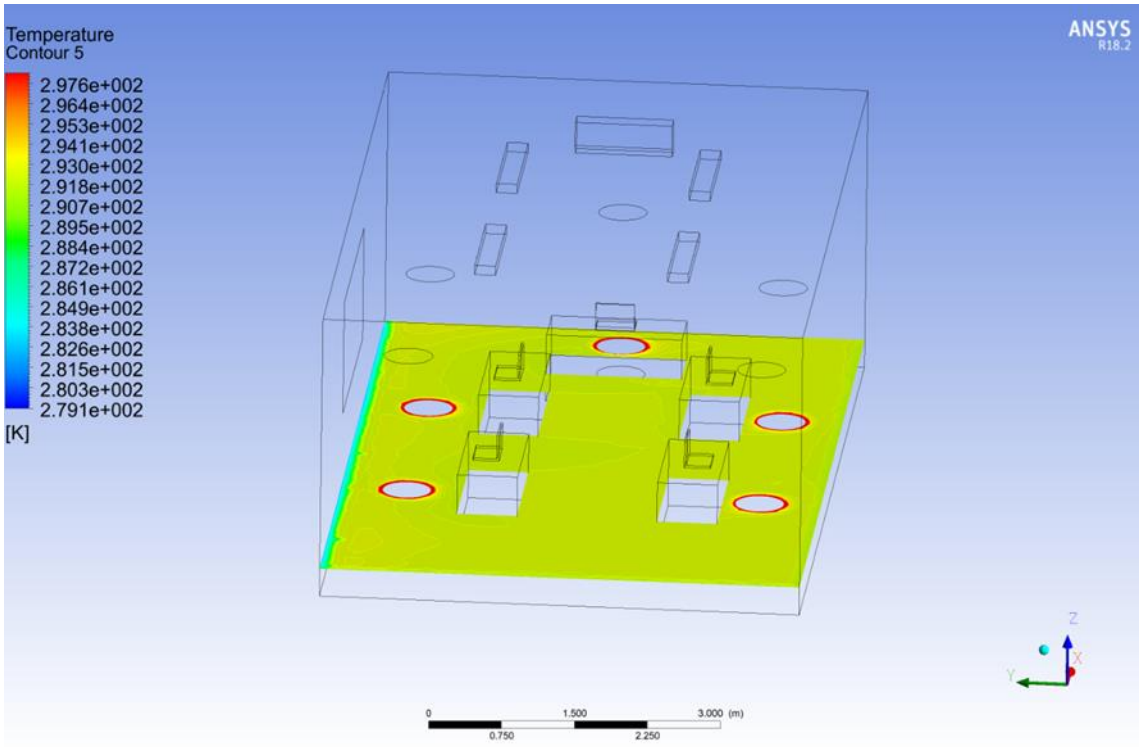
Şekil 4.2. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.3. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

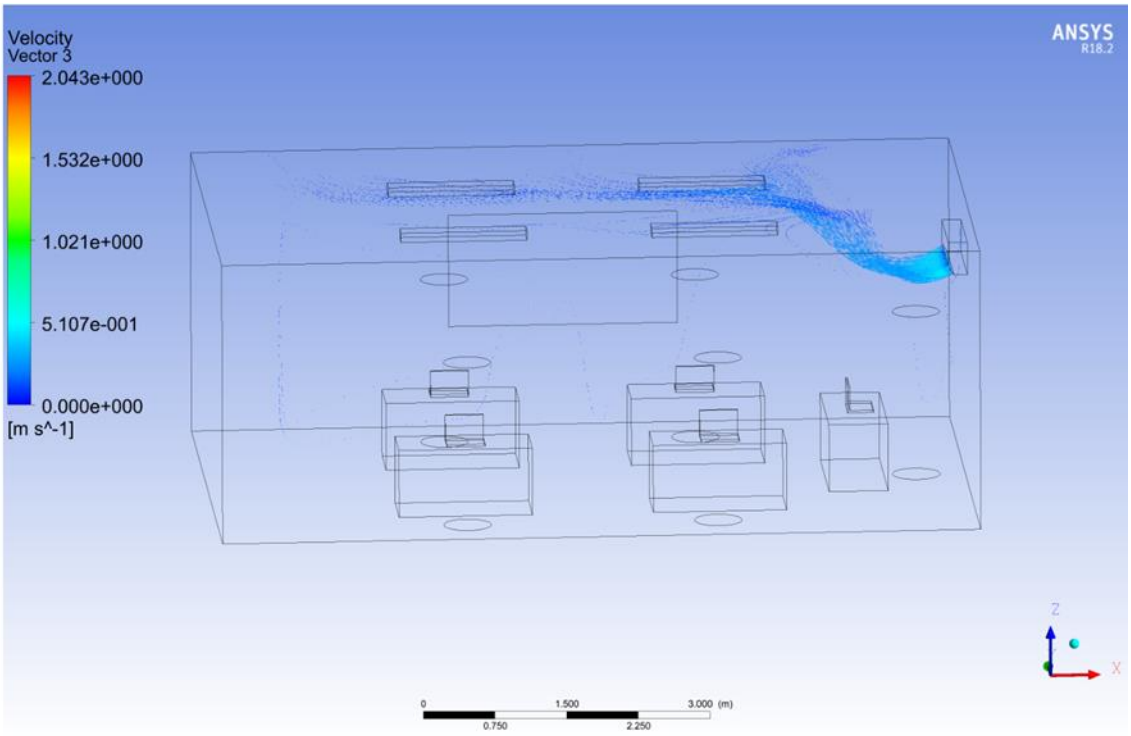


Şekil 4.4. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.5. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

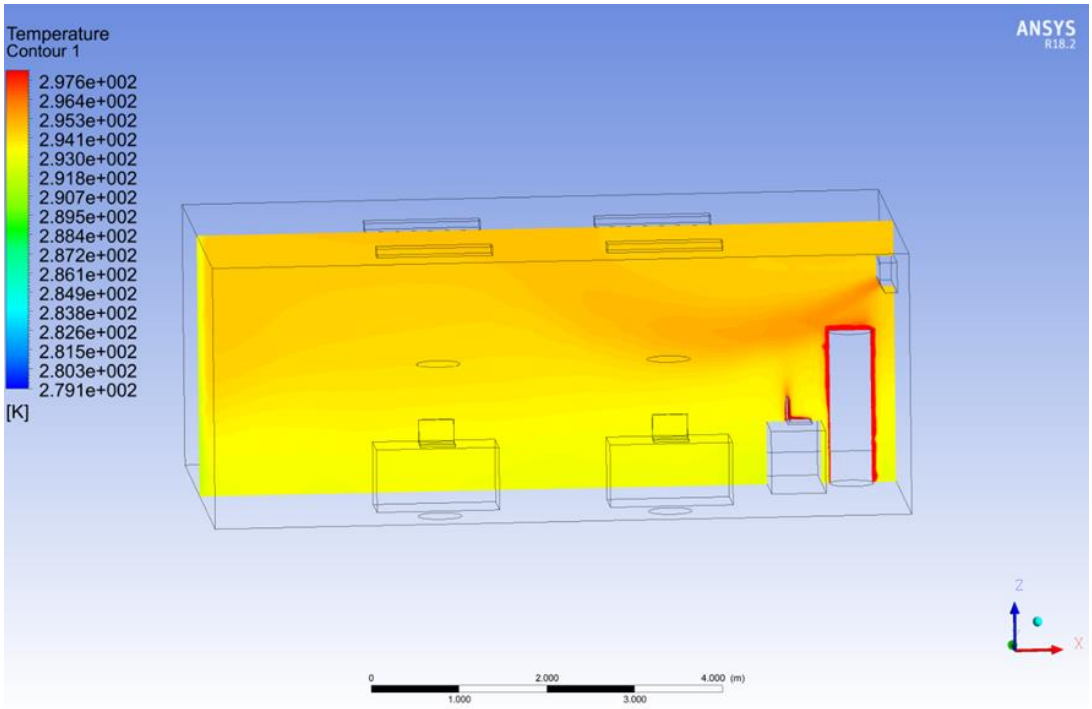
Şekil 4.6. ’da 23°C ve V_g= 0,5 m/s giriş hızında, ofis içinde hava dağılımına bakıldığında, hava hızının yeterli seviyede olmamasından dolayı, havanın klimadan çıkar çıkmaz tavana doğru yükseldiği ve mahal içine dağılmadığı görülmektedir. Bundan dolayı içerisi de iyi ısınmamaktadır.



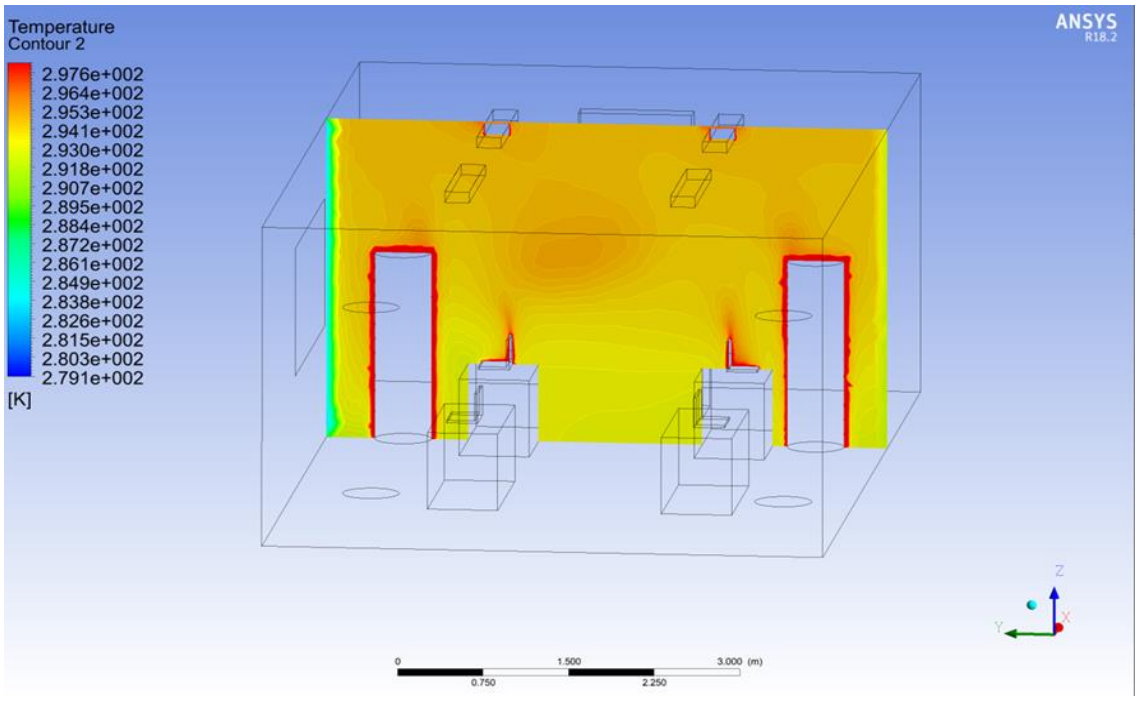
Şekil 4.6. T_g=23°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.1.2. Üfleme Hızı (V_g) = 1m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 23°C

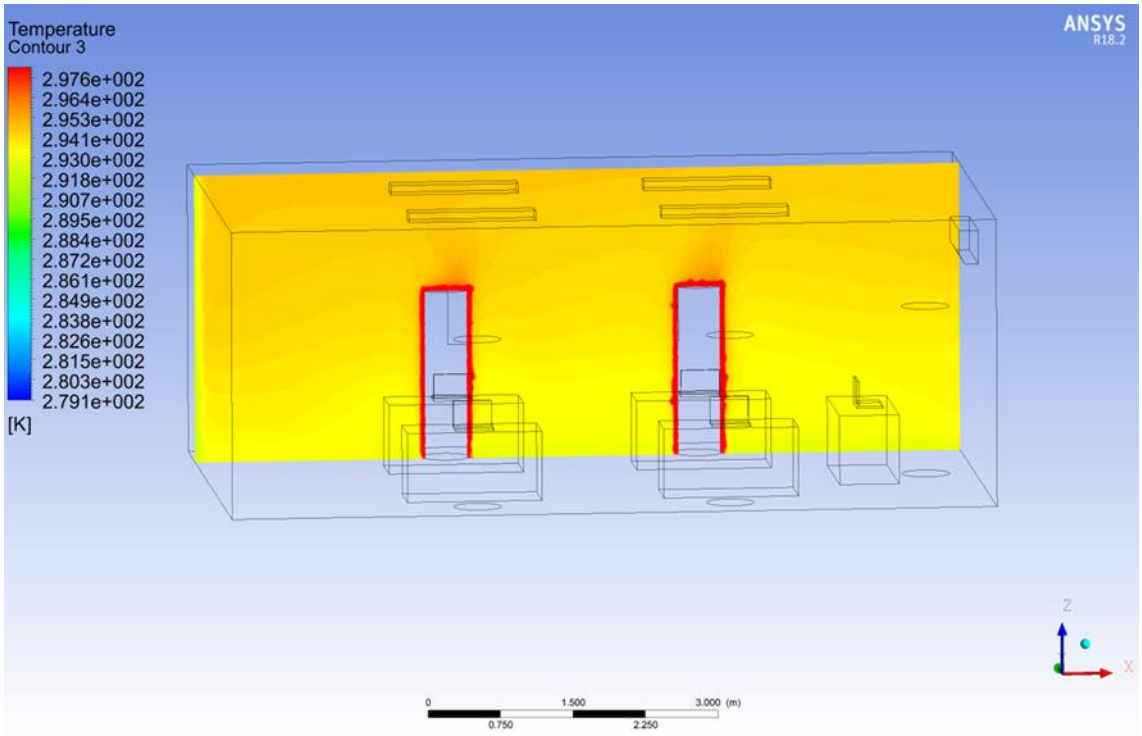
Şekil 4.7. - 4.11. arasında T_g =23°C ve V_g= 1m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 20-21°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarına V_g=0,5 m/s değerine göre daha uygun olduğu kabul edilebilir. Ancak zemine doğru 19°C derece olaylarında olup kişilere göre değişmekle birlikte ayaklarda üşüme gözlemlenebilir.



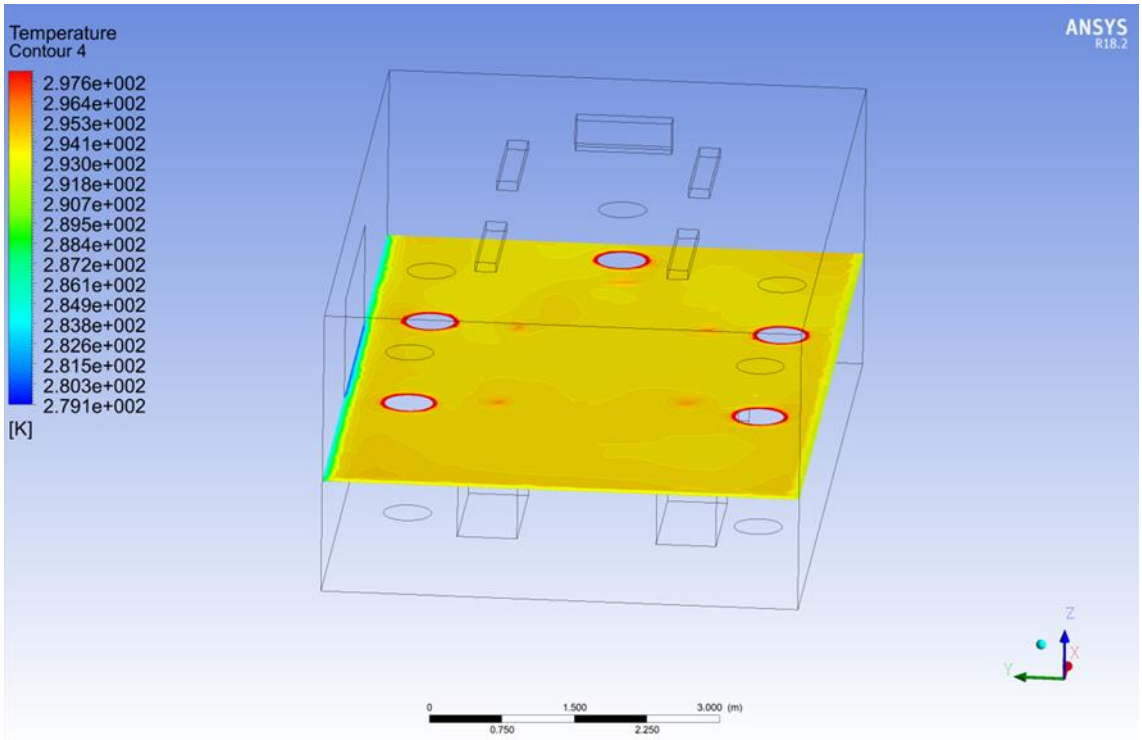
Şekil 4.7. Y=2,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



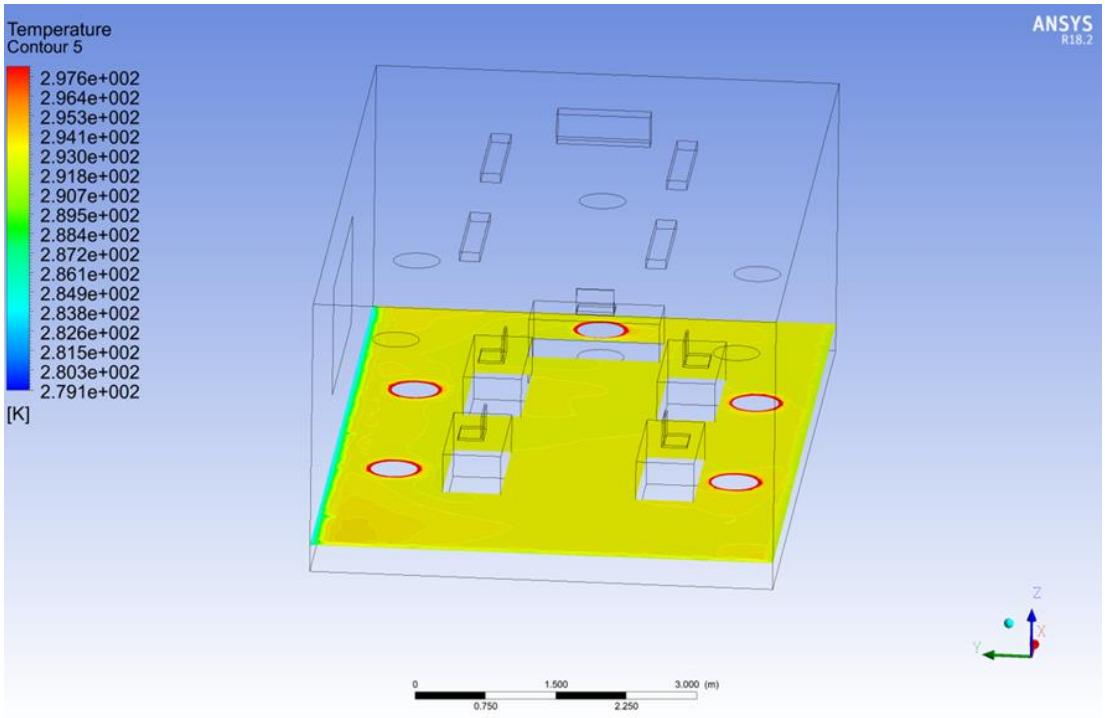
Şekil 4.8. X=5,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.9. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

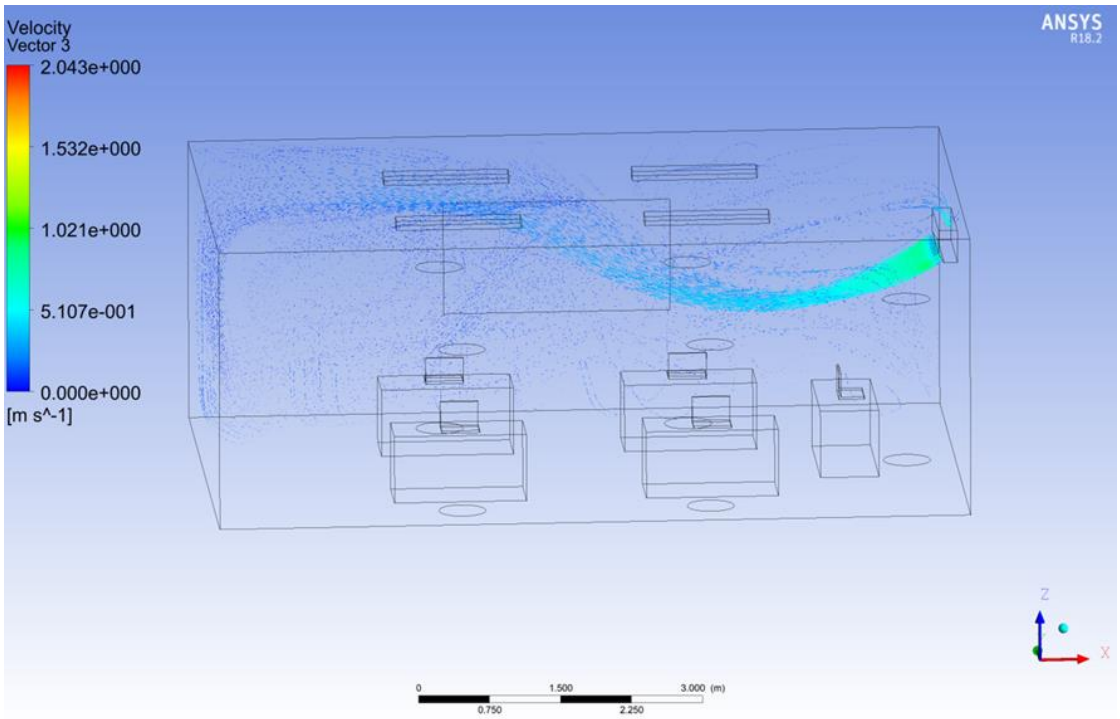


Şekil 4.10. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.11. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.12.'de T_g=23°C ve V_g= 1 m/s için hız dağılımına bakıldığında insanların bulunduğu bölgedeki hava hızı standartlara uygun değerde olup (V=0,2-0,25 m/s) havanın da daha homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir.

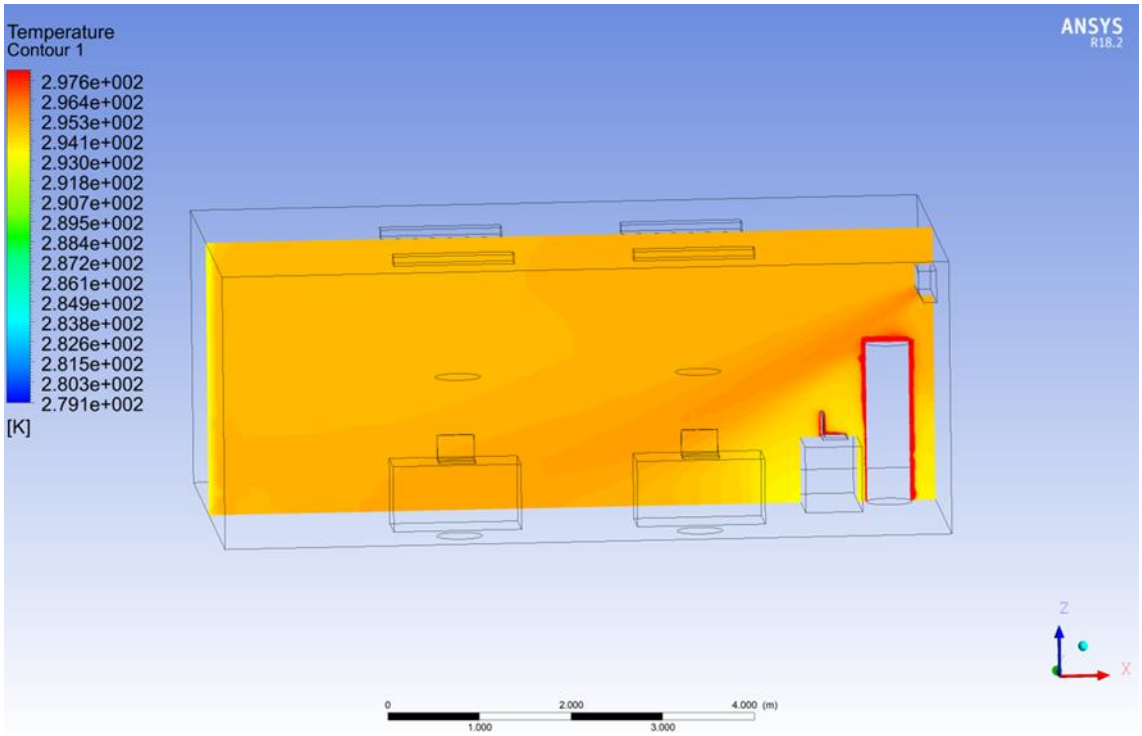


Şekil 4.12. T_g=23°C ve V_g= 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

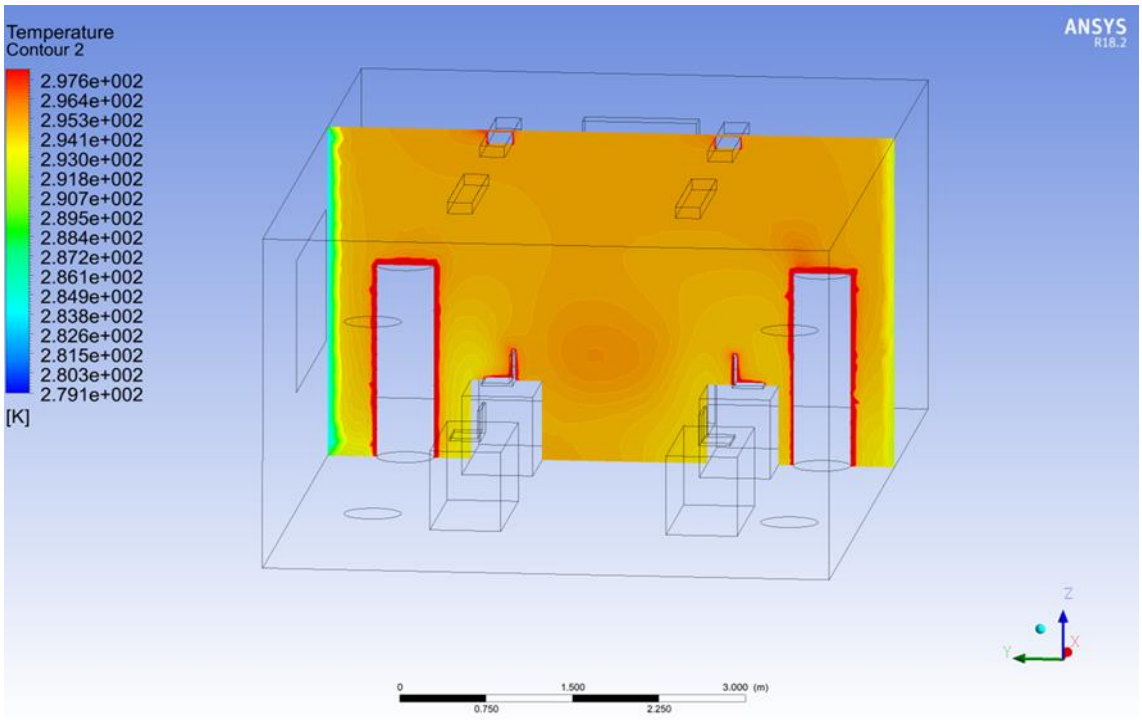
4.1.3. Üfleme Hızı (V_g) = 2 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 23°C

Şekil 4.13 - 4.17. arasında T=23°C ve V_g= 2 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 22-23°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarını kapsayan aralıktadır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 21°C civarında olduğu görülmektedir. Sıcaklık dağılımı açısından değerlendirildiğinde standartlara uygun bir dağılım olduğu söylenebilir.

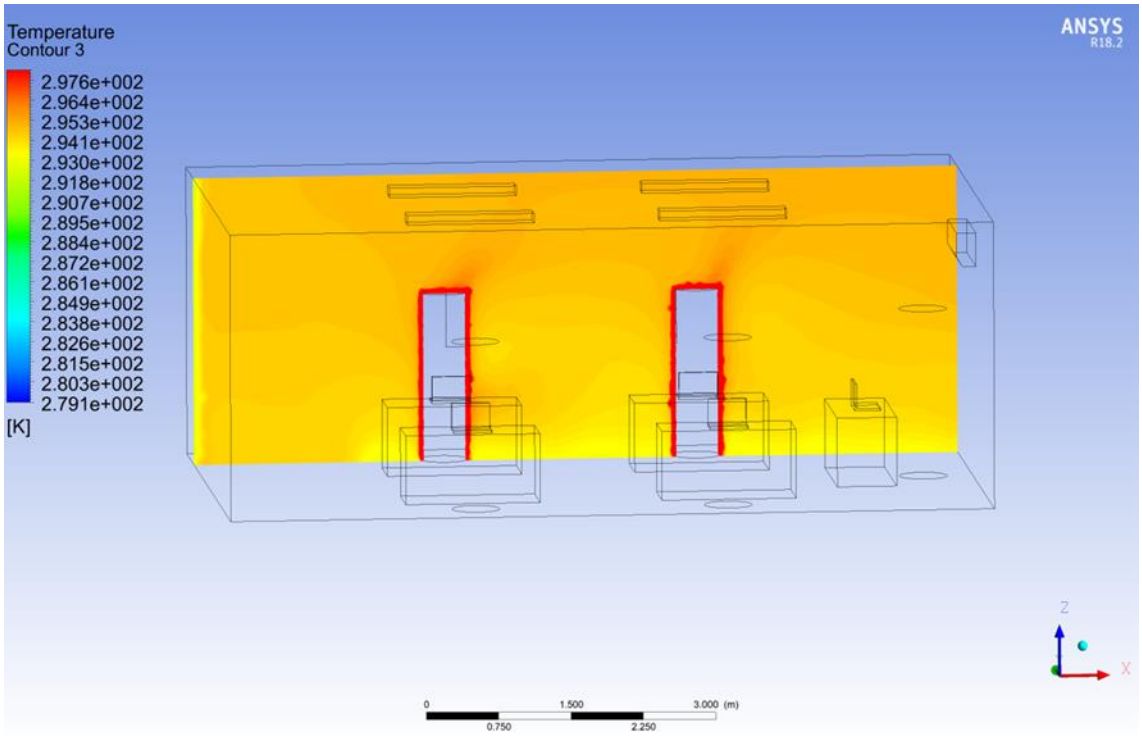
Dış duvar ve pencere önlerinde, incelenen tüm hız değerlerinde ortalama sıcaklıktan daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı pencere önlerinde çalışanlar, ofisteki diğer kişilere göre kendilerini daha az konforlu hissedebilir.



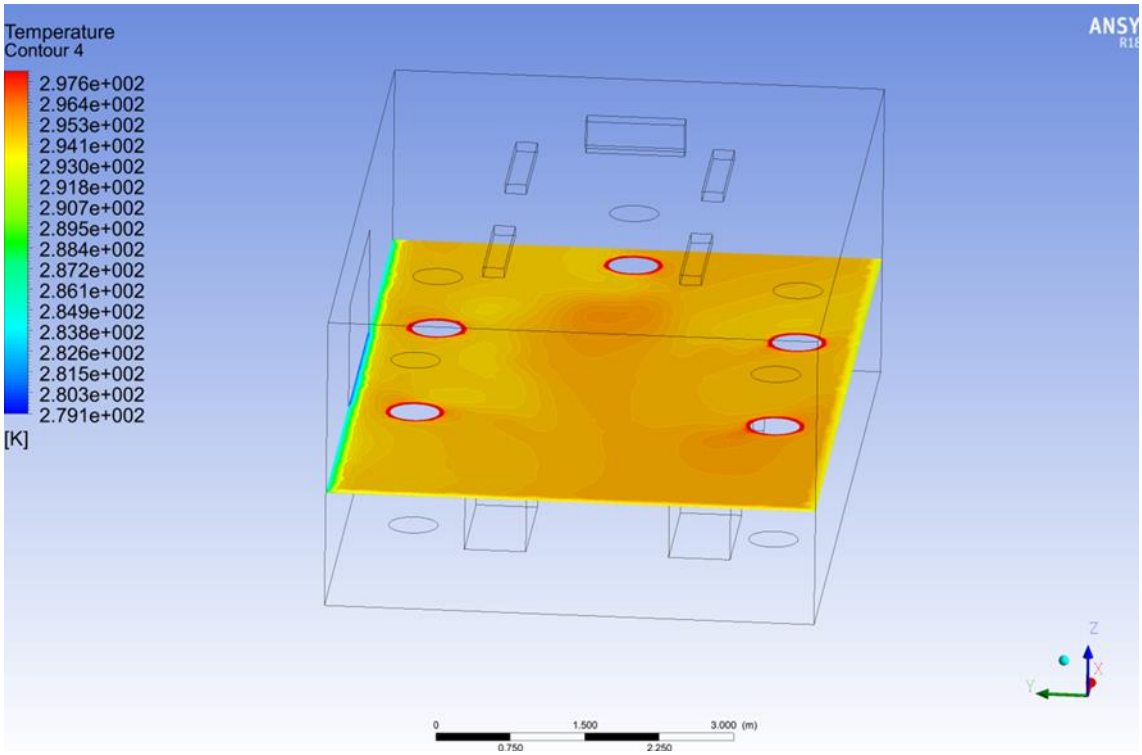
Şekil 4.13. Y=2,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



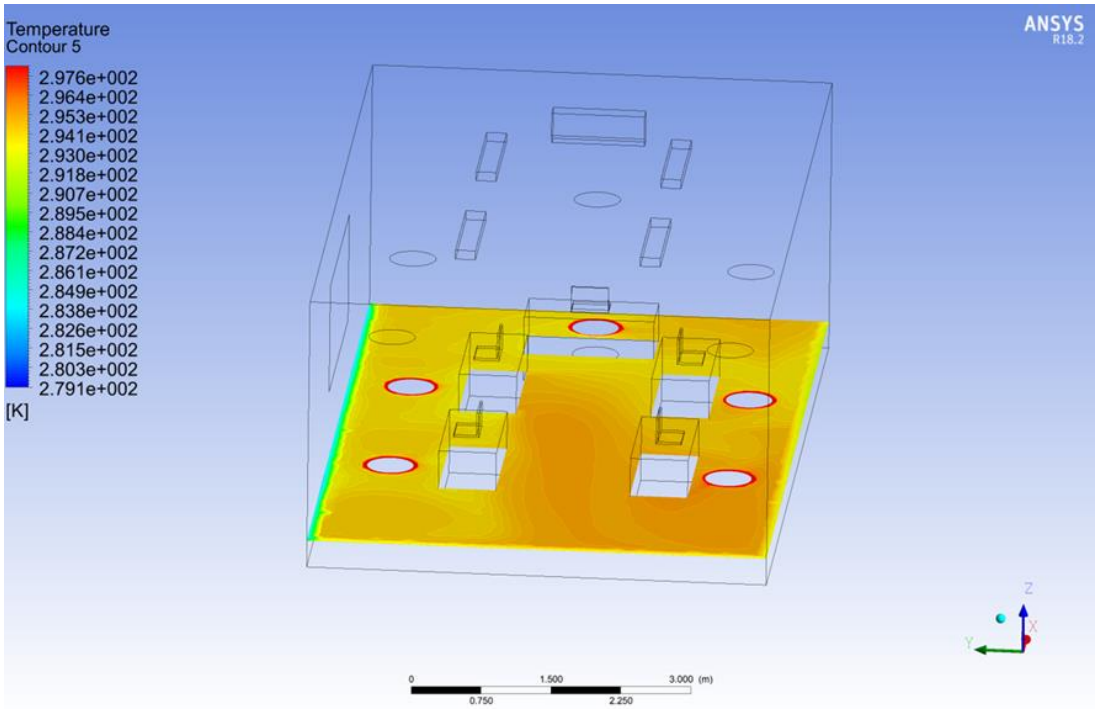
Şekil 4.14. X=5,6 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.15. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

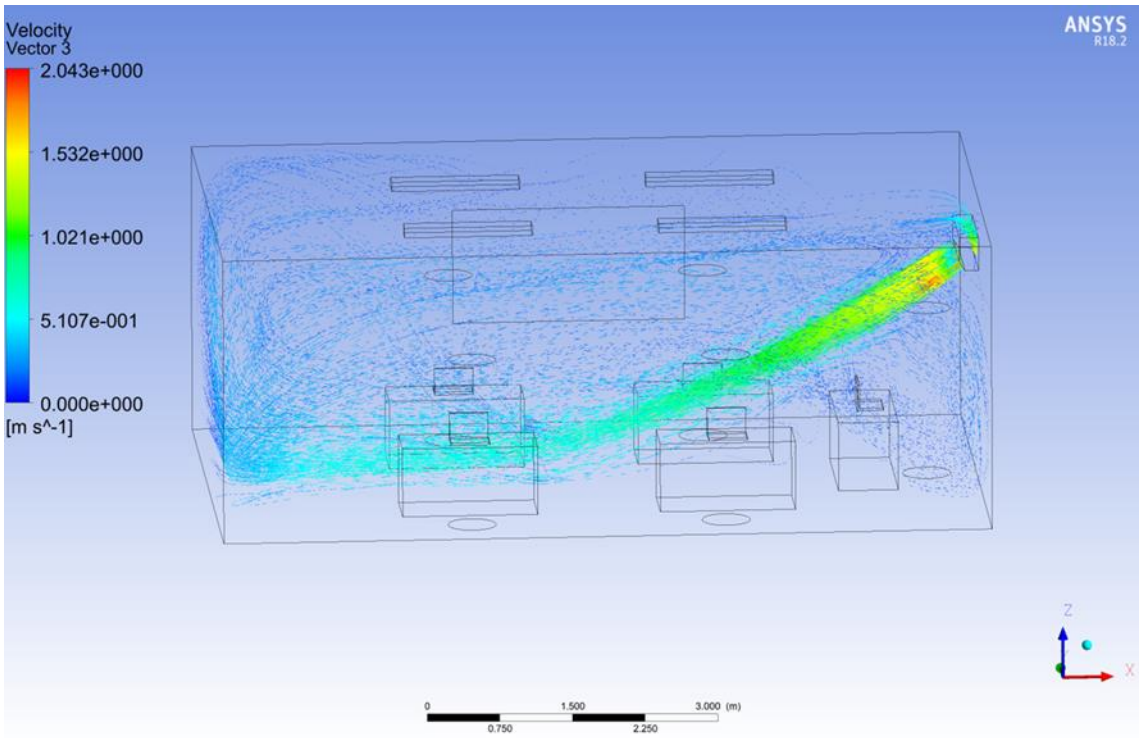


Şekil 4.16. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.17. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.18.'de T_g=23°C ve V_g= 2 m/s için hız dağılımına bakıldığında insanların bulunduğu seviyedeki hız değerlerinin konfor şartlarının üzerinde (0,5 m/s-1m/s arasında) olduğu görülmekte olup, bu hız değerleri cereyan etkisi oluşturarak ortamdaki insanları rahatsız edecek düzeydedir. Bu nedenle belirlenen hava giriş sıcaklığı ve hız değerleri, mahal içi sıcaklık dağılımı açısından standartlara uygun olmakla birlikte hava hızı açısından tercih edilecek değerde değildir.



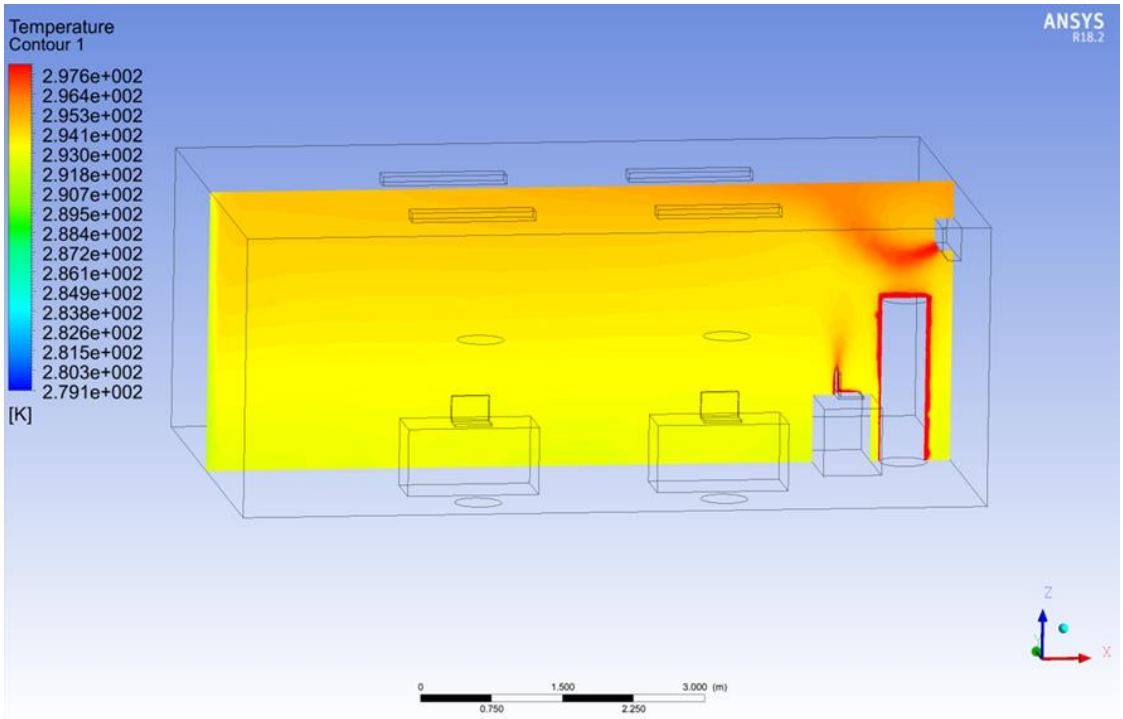
Şekil 4.18. T_g=23°C ve V_g= 2 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.2. Hava giriş sıcaklığı 25°C olduğu durumda;

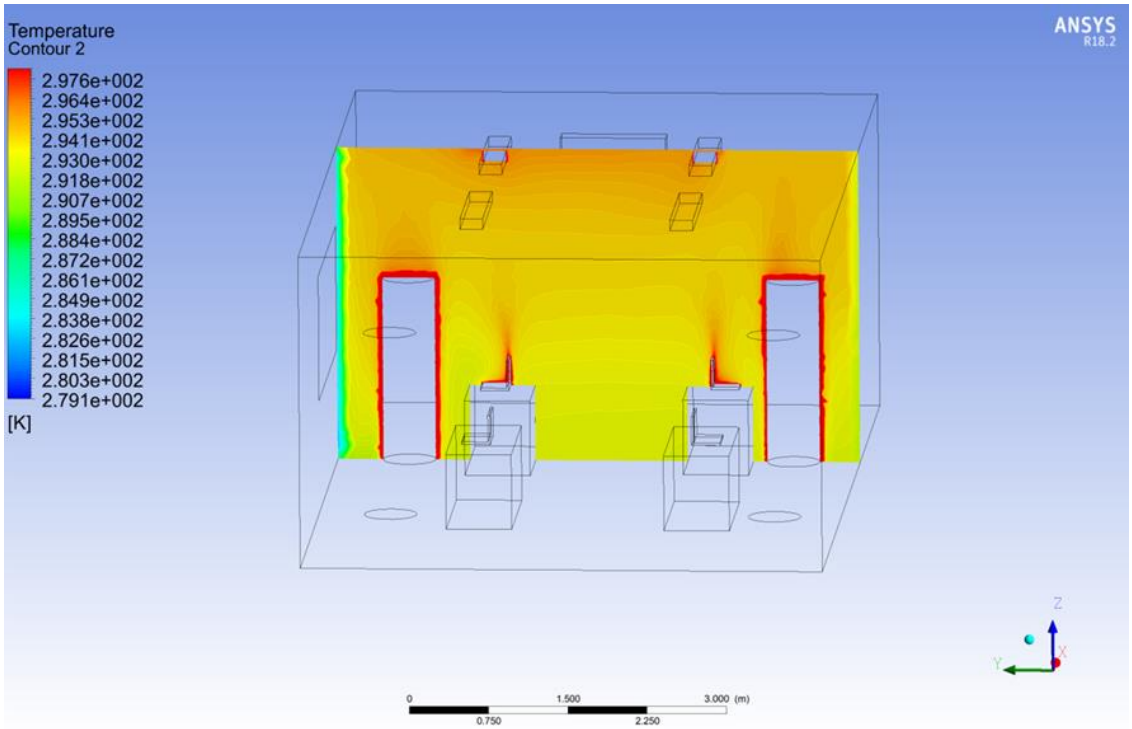
Hava giriş sıcaklığı 25°C olduğunda, farklı hava akış hızları için, ofisteki sıcaklık dağılımları aşağıdaki gibi olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.1. Üfleme Hızı (V_g) = 0,5 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 25ºC;

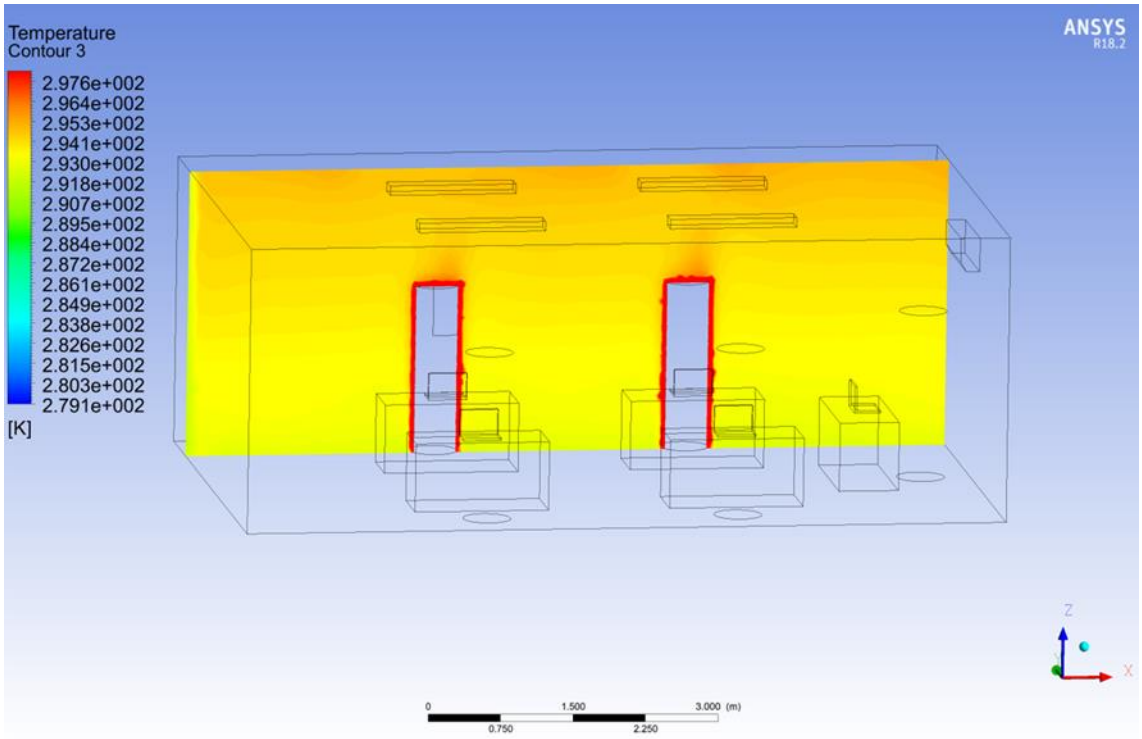
Şekil 4.19.-4.23. arasında T_g=25°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 20-21°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarını kapsayan aralıktadır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 19-20°C civarında olduğu görülmekle birlikte, kış şartlarında kapalı mahallerdeki sıcaklık aralığının (20-24°C) alt sınırına yakın olması nedeniyle ayak bölgesinde üşüme gözlemlenebilir.



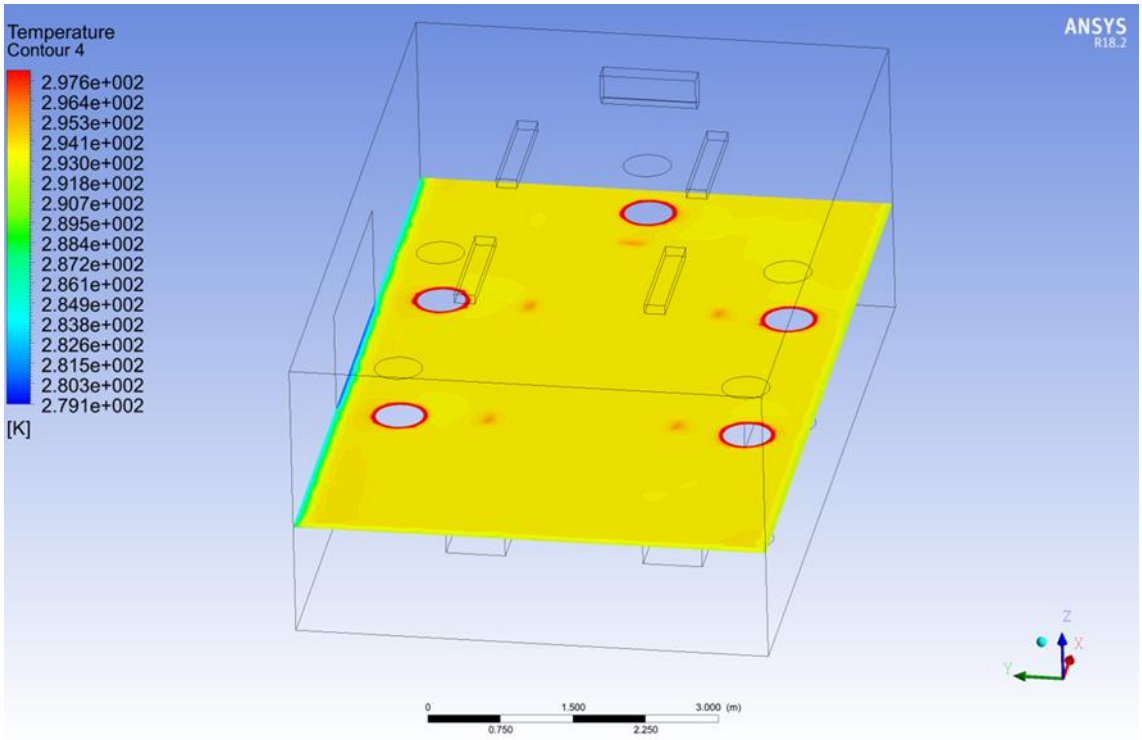
Şekil 4.19. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



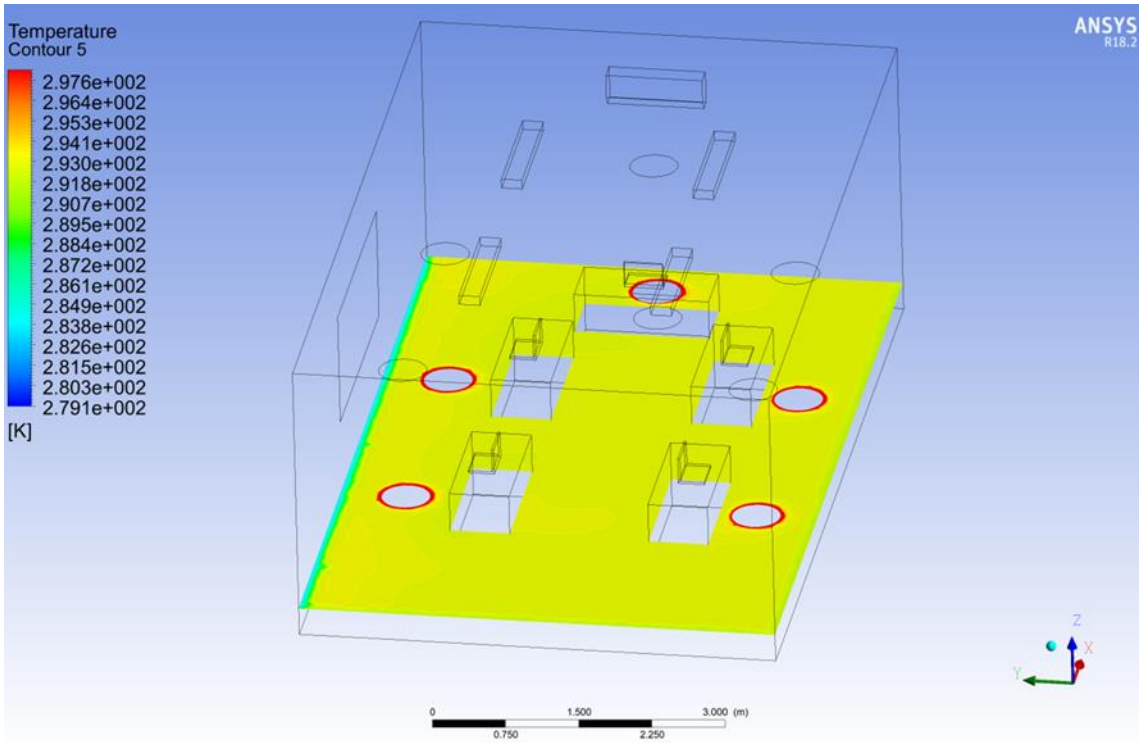
Şekil 4.20. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.21. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

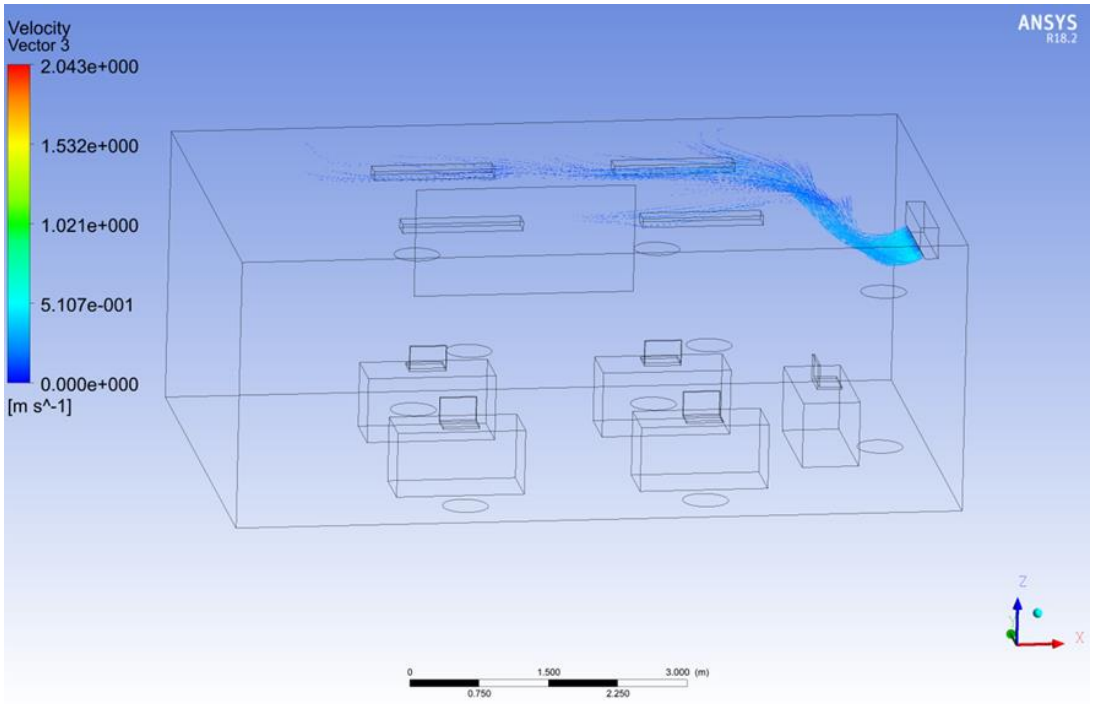


Şekil 4.22. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.23. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

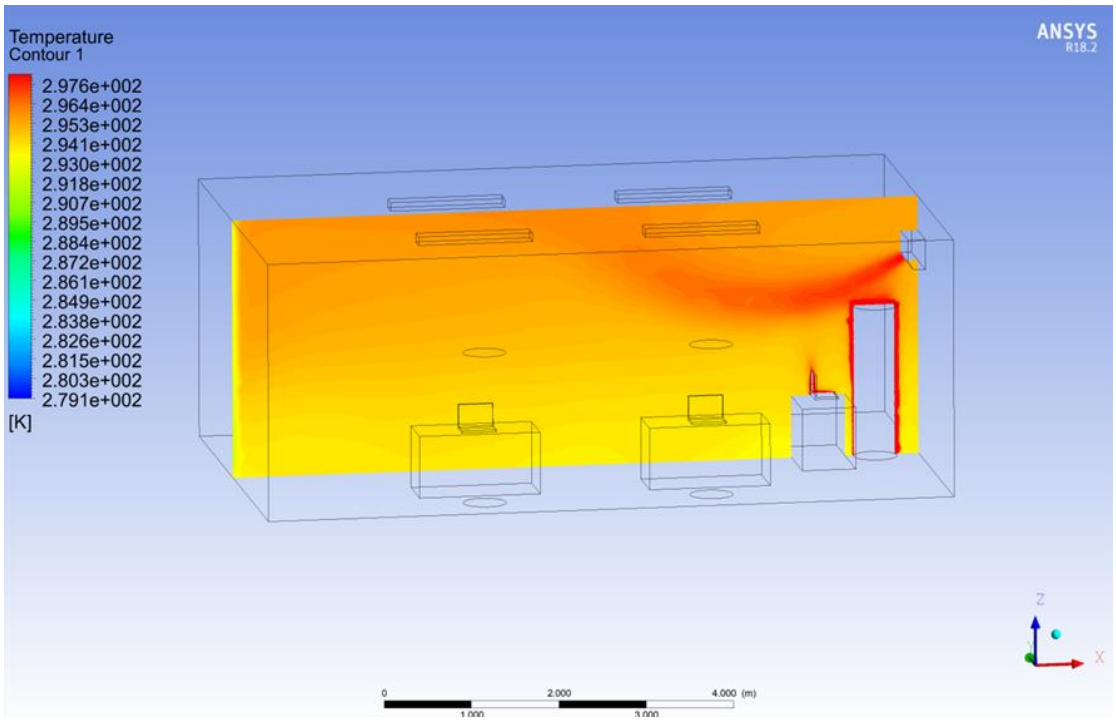
Şekil 4.24.'te 25°C ve V_g= 0,5 m/s giriş hızında, ofis içinde hava dağılımına bakıldığında, havanın klimadan çıktıktan sonra tavana doğru yükseldiği ve mahal içerisinde homojen dağılmadığı görülmektedir. Bu nedenle sıcaklık dağılımı standartlara uygun aralıklarda olmakla birlikte değerler alt sınıra yakın olduğundan mahalin çok iyi ısınmadığı söylenebilir.



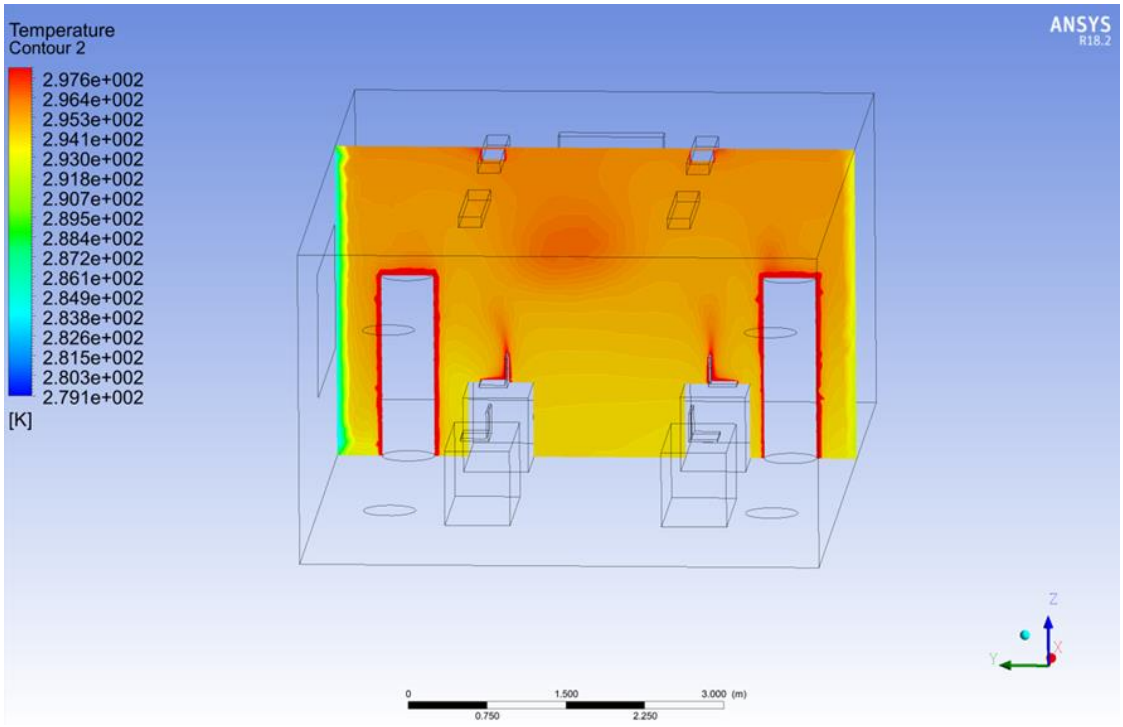
Şekil 4.24. T_g=25°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.2.2. Üfleme Hızı (V_g) = 1 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 25°C;

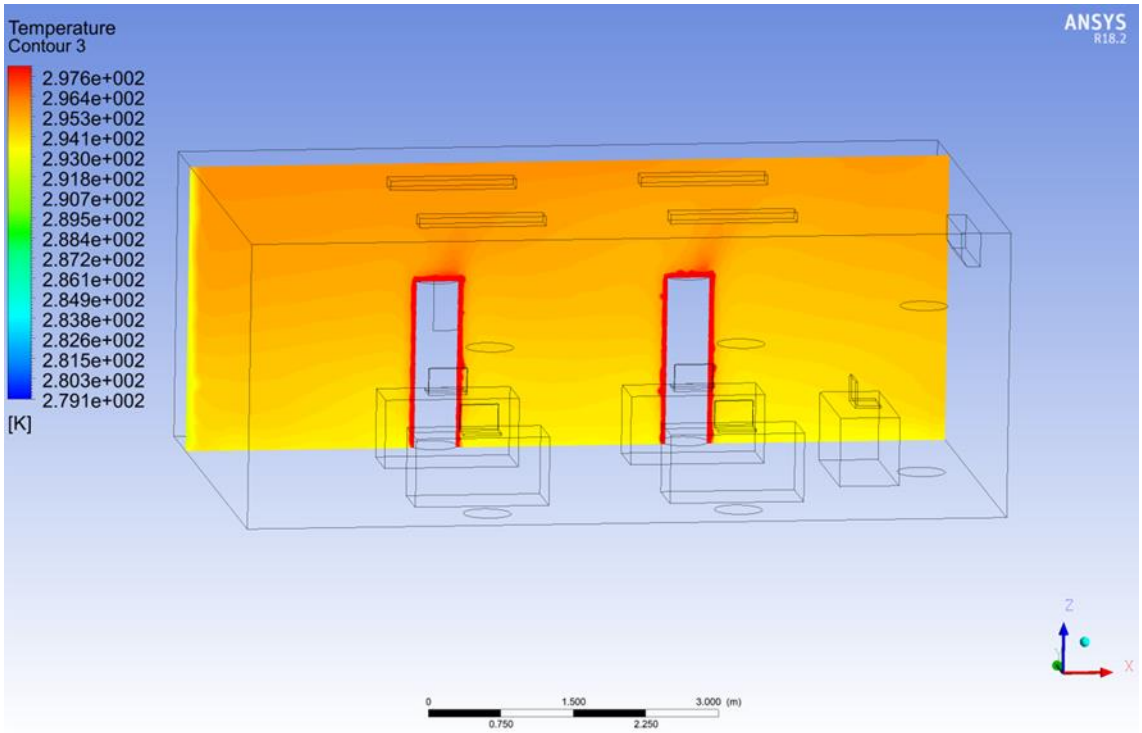
Şekil 4.25. - 4.29. arasında T_g=25°C ve V_g= 1m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 21-22°C arasında olmakla birlikte, konfor şartlarına V_g=0,5 m/s değerine göre daha uygun olduğu görülmektedir. Ancak zemine doğru 20°C derece dolaylarında olup kişilere göre değişmekle birlikte ayaklarda üşüme gözlemlenebilir.



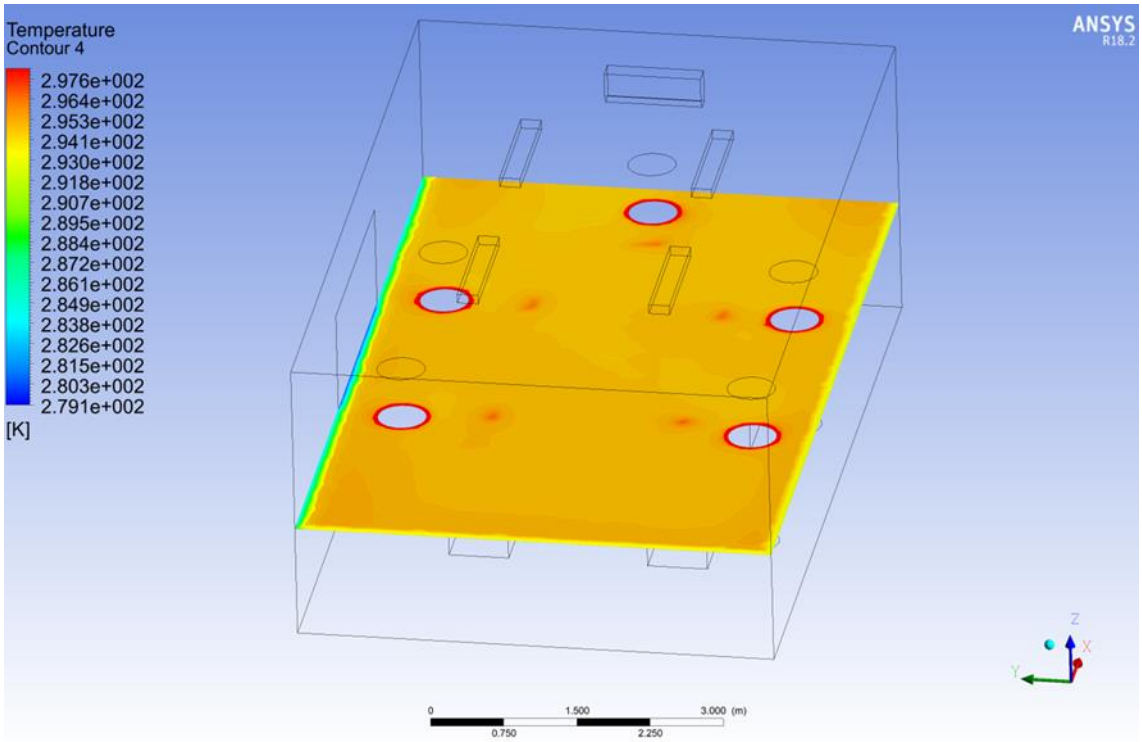
Şekil 4.25. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



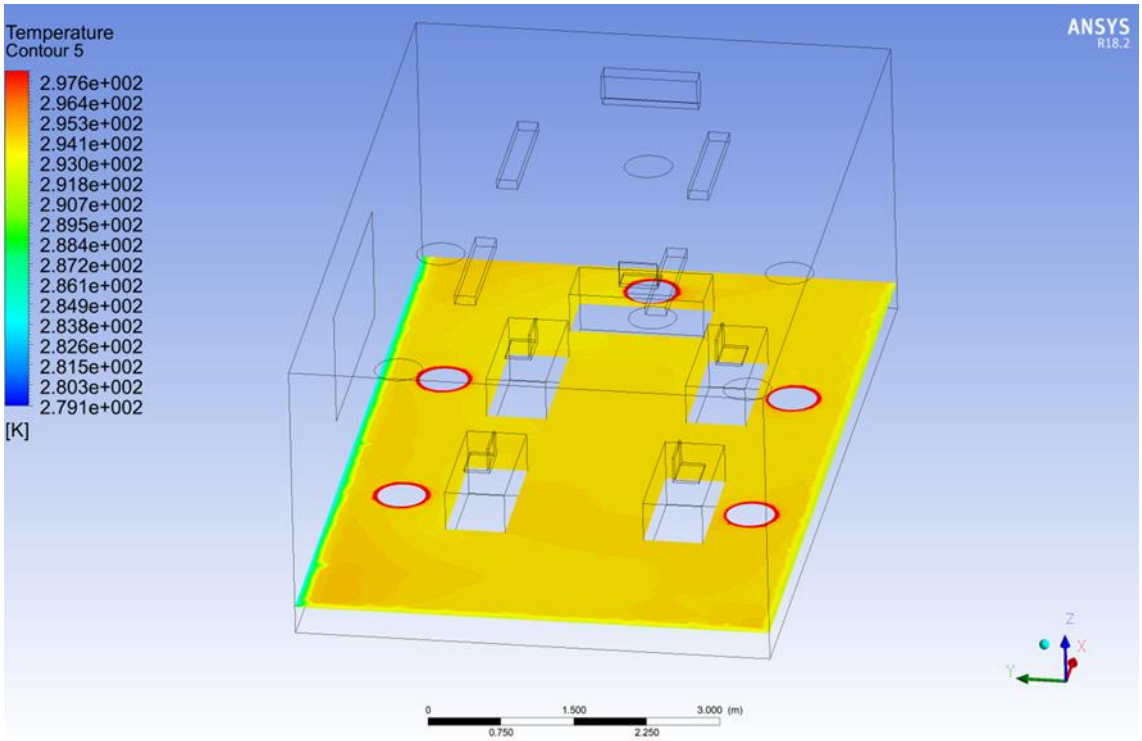
Şekil 4.26. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.27. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

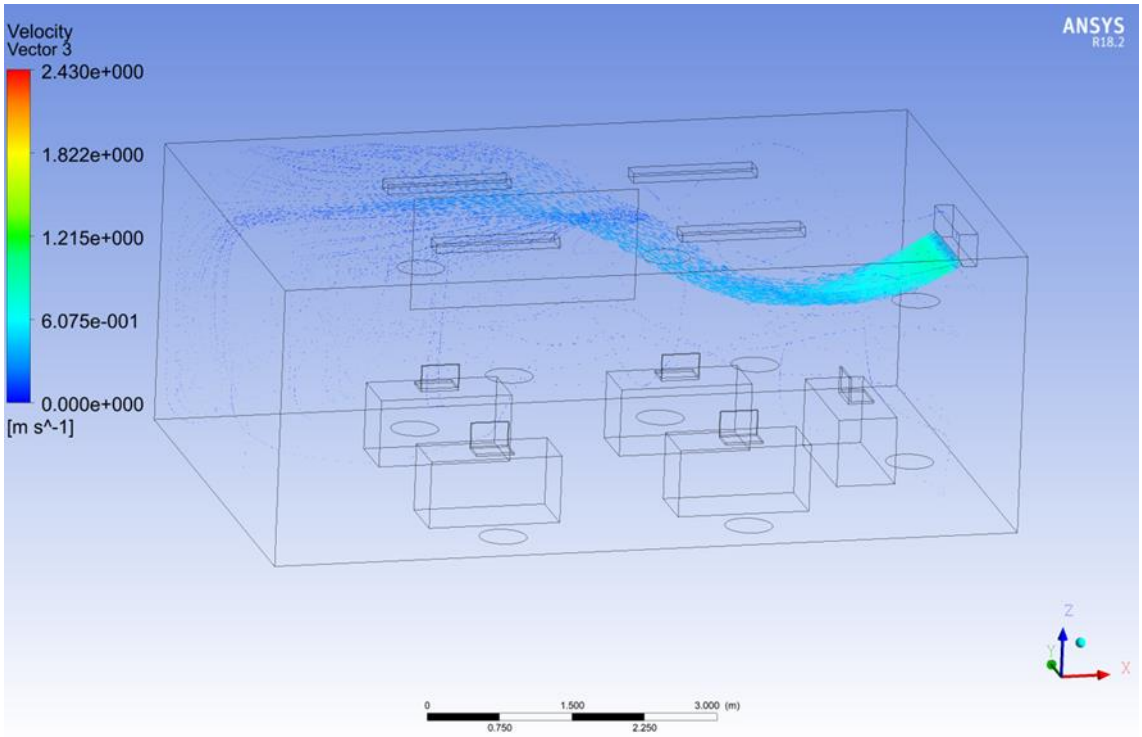


Şekil 4.28. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.29. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

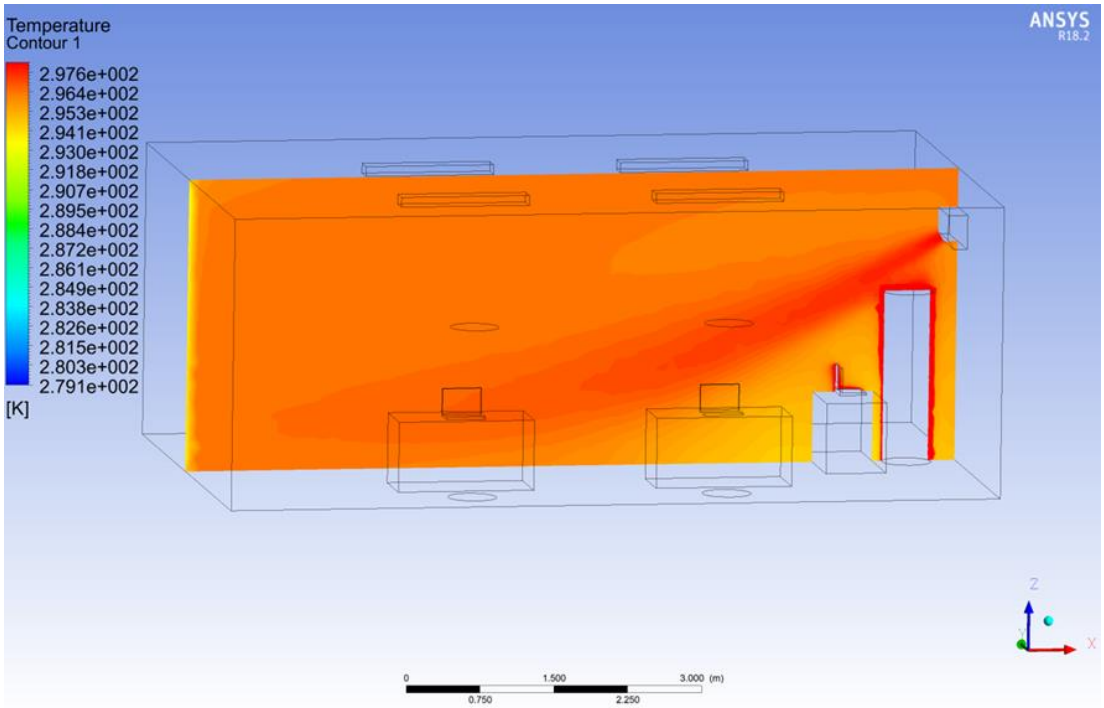
Şekil 4.30.'da T_g=25°C ve V_g= 1 m/s için hız dağılımına bakıldığında insanların bulunduğu bölgedeki hava hızı standartlara uygun değerde olup (V=0,2-0,25 m/s) havanın da V_g= 0,5 m/s göre daha homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Hava giriş sıcaklığı ve hız değerleri, hem sıcaklık dağılımı hem de hız dağılımı açısından uygun olarak değerlendirilebilir.



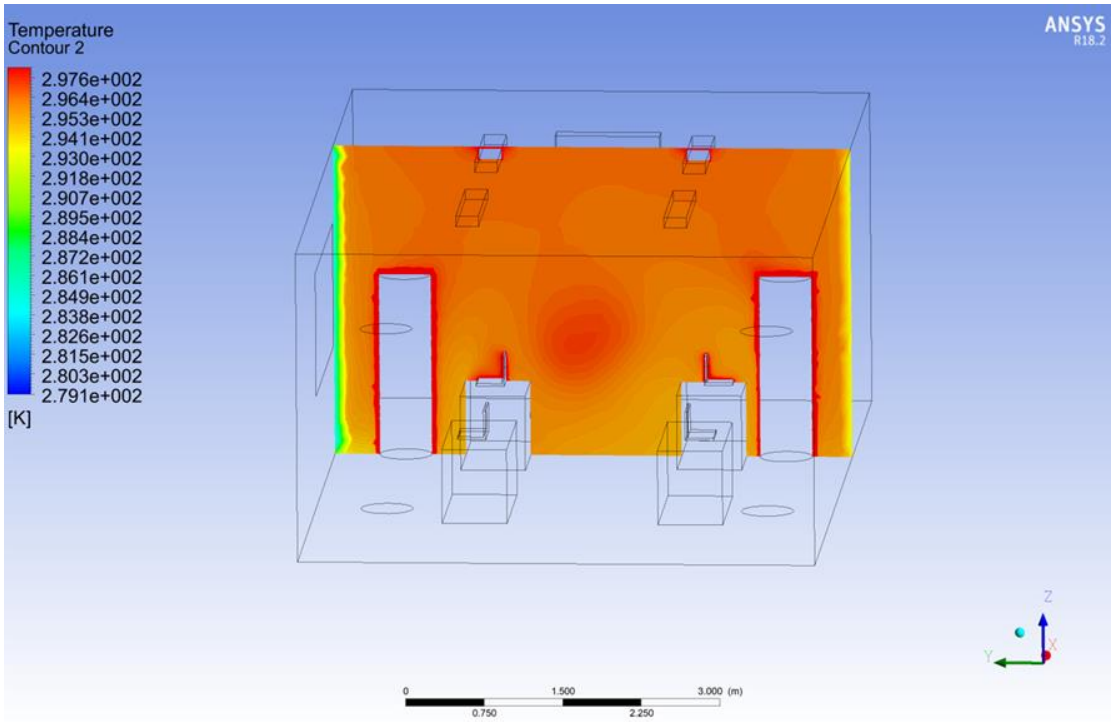
Şekil 4.30. T_g=25°C ve V_g= 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.2.3. Üfleme Hızı (V_g) = 2 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 25°C;

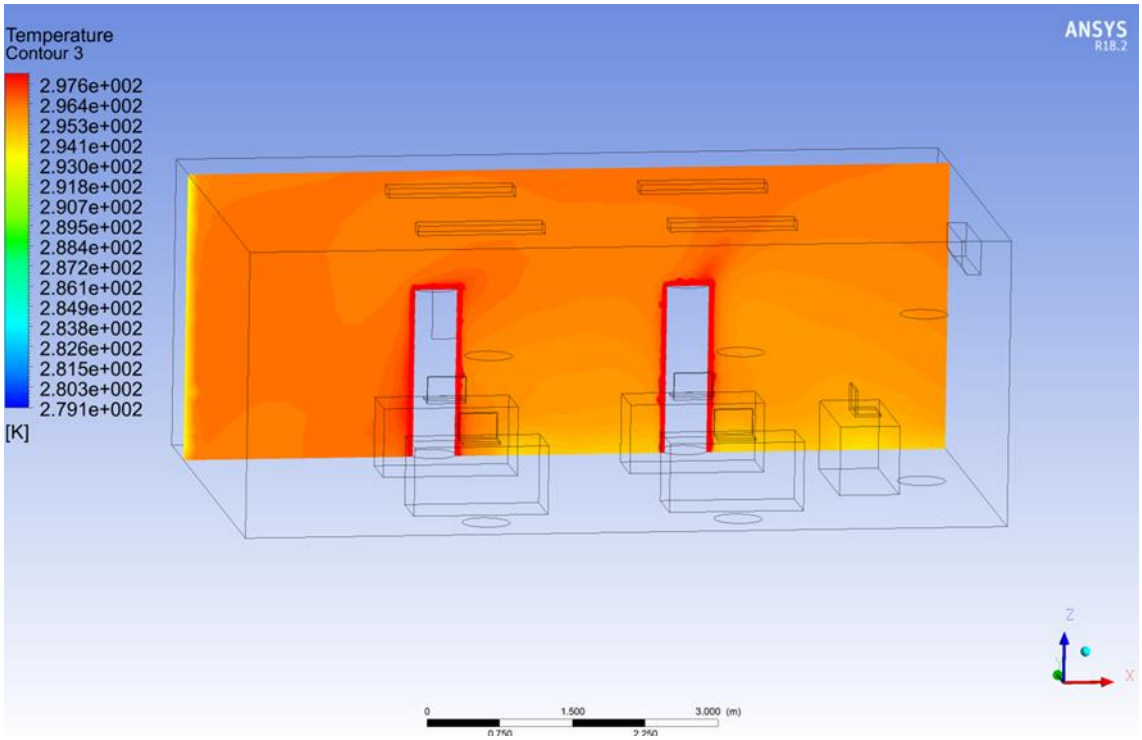
Şekil 4.31. - 4.35. arasında T_g=25°C ve V_g= 2 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 23-24°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarını kapsayan aralıktadır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 21-22°C civarında olduğu görülmekle birlikte ayaklarda üşüme problemi görülme olasılığı düşüktür.



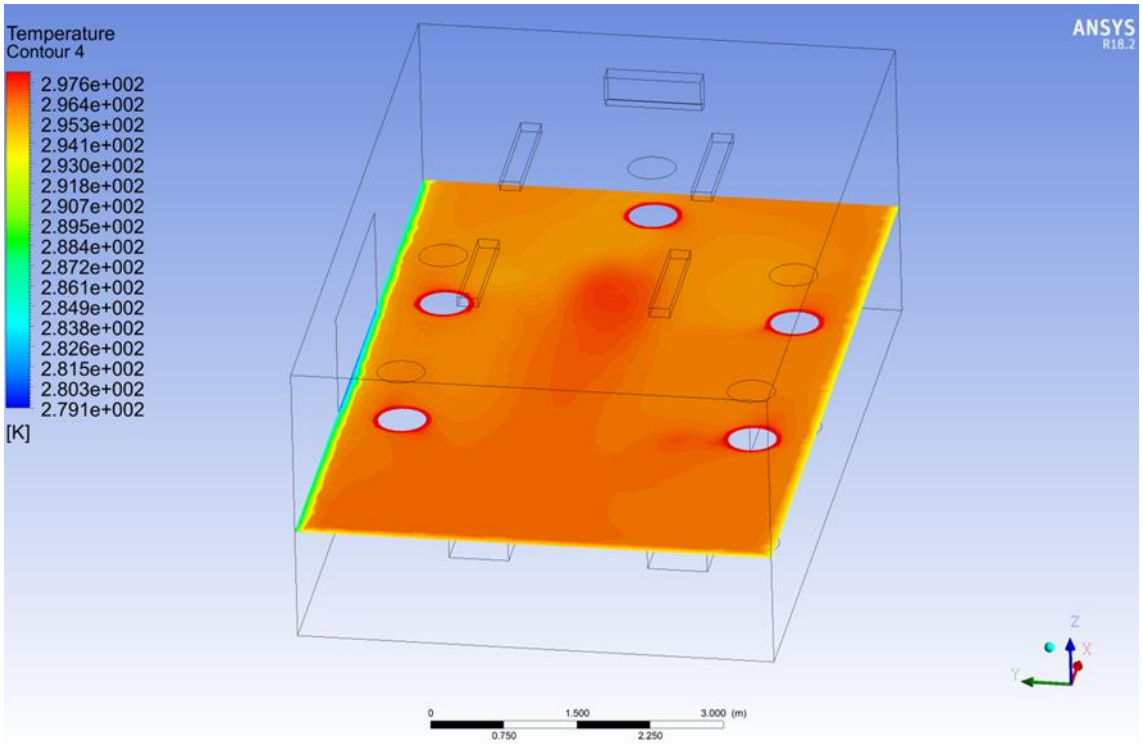
Şekil 4.31. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



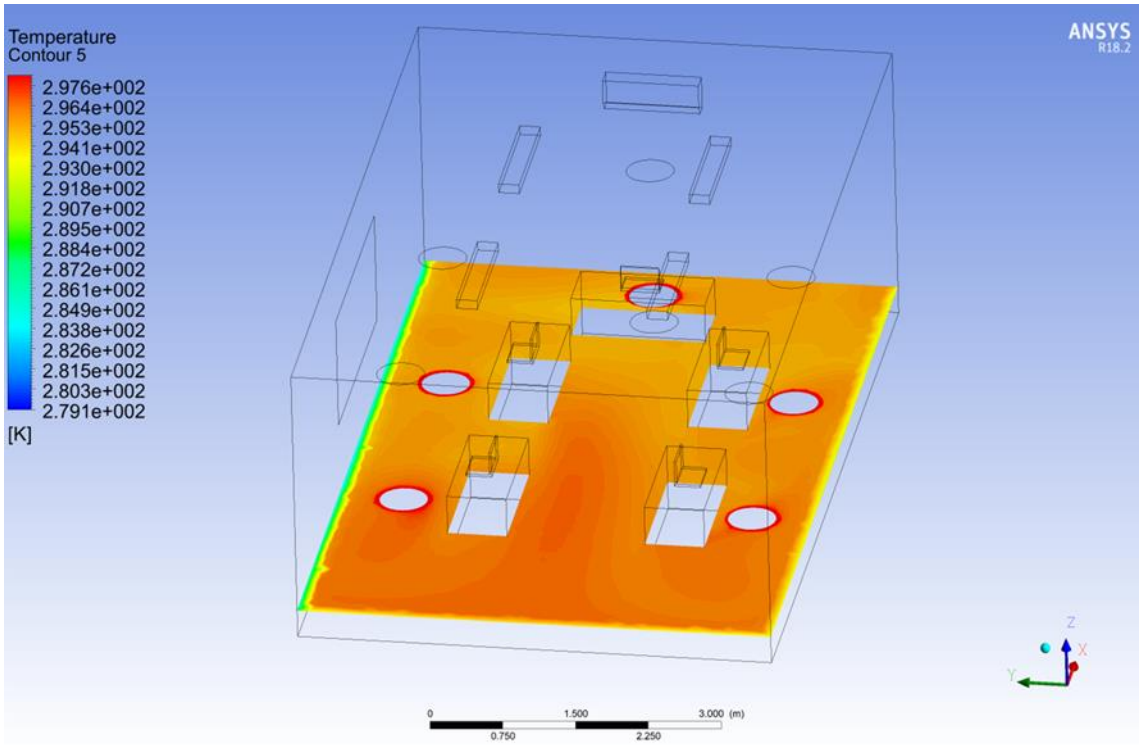
Şekil 4.32. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.33. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

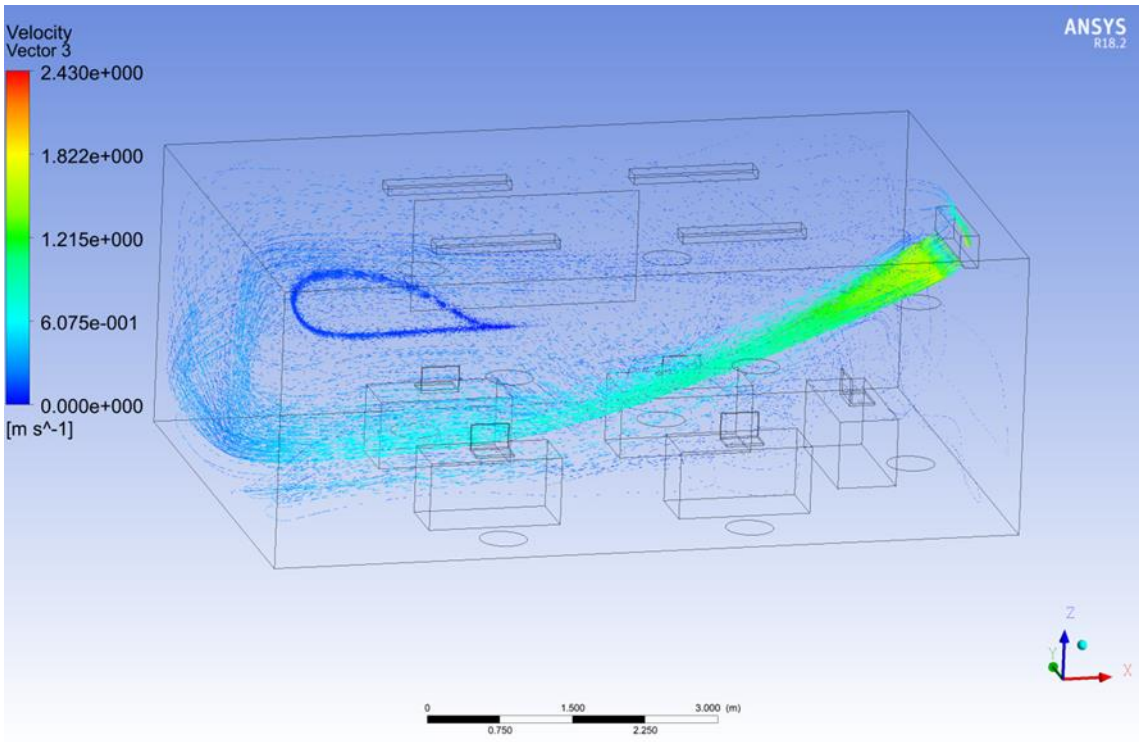


Şekil 4.34. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.35. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.36.'da T_g=25°C ve V_g= 2 m/s için hız dağılımına bakıldığında hız değerlerinin konfor şartlarının üzerinde olduğu görülmekte birlikte mahaldeki insanları rahatsız edecek düzeydedir. Ayrıca bu hız değerinin mahalde cereyan etkisi oluşturarak konfor şartlarını olumsuz etkileyeceği görülmektedir. Hava giriş sıcaklığı ve hız değerleri, sıcaklık dağılımı açısından uygun olmakla birlikte hız dağılımı açısından konforlu değildir.



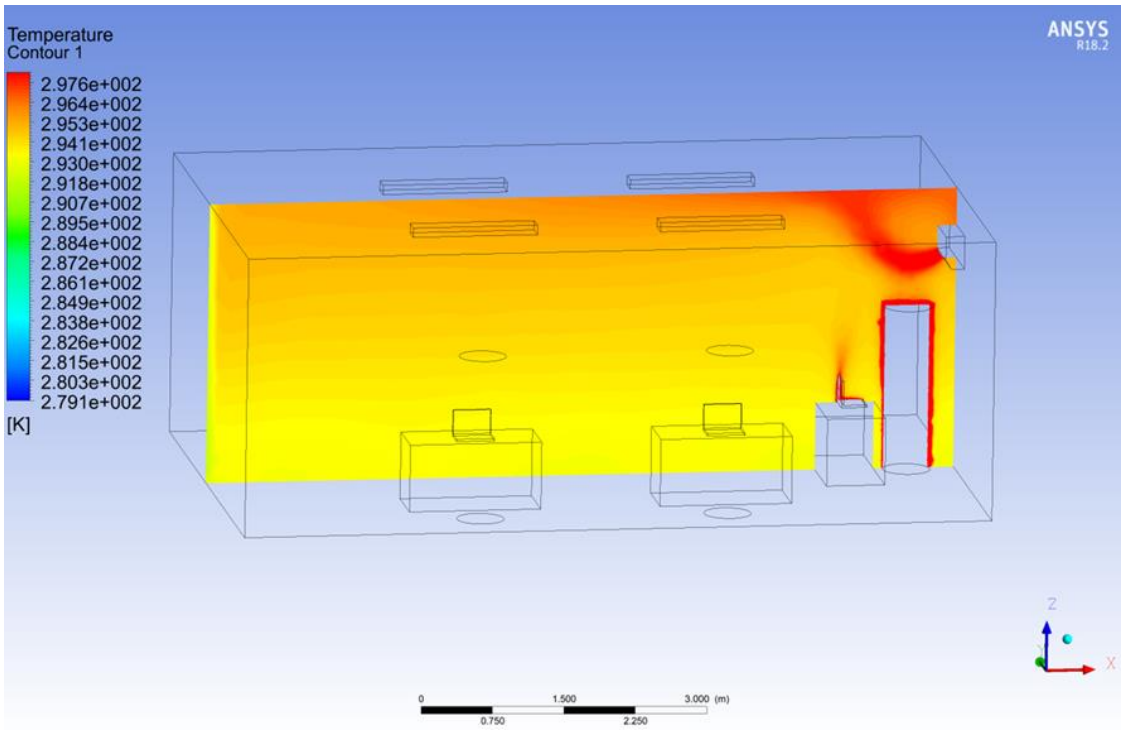
Şekil 4.36. T_g=25°C ve V_g= 2 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.3. Hava giriş sıcaklığı 27ºC olduğu durumda;

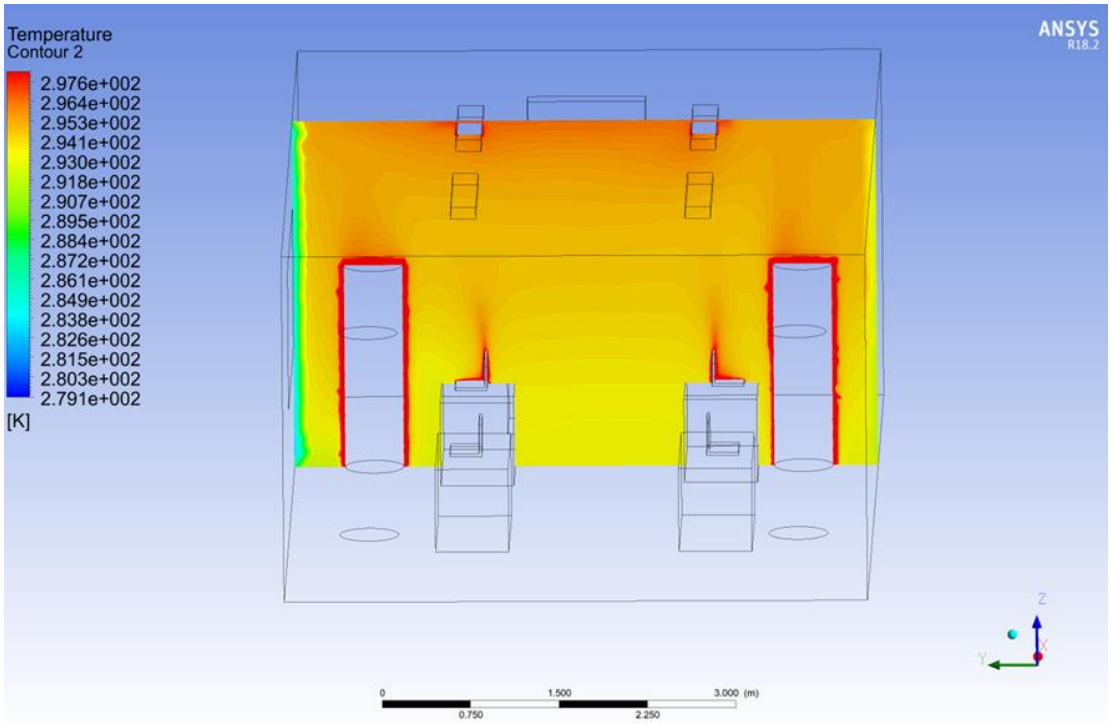
Hava giriş sıcaklığı 27°C olduğunda, farklı hava akış hızları için, ofisteki sıcaklık dağılımları aşağıdaki gibi olduğu gözlemlenmiştir.

4.3.1. Üfleme Hızı (V_g) = 0,5 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 27ºC;

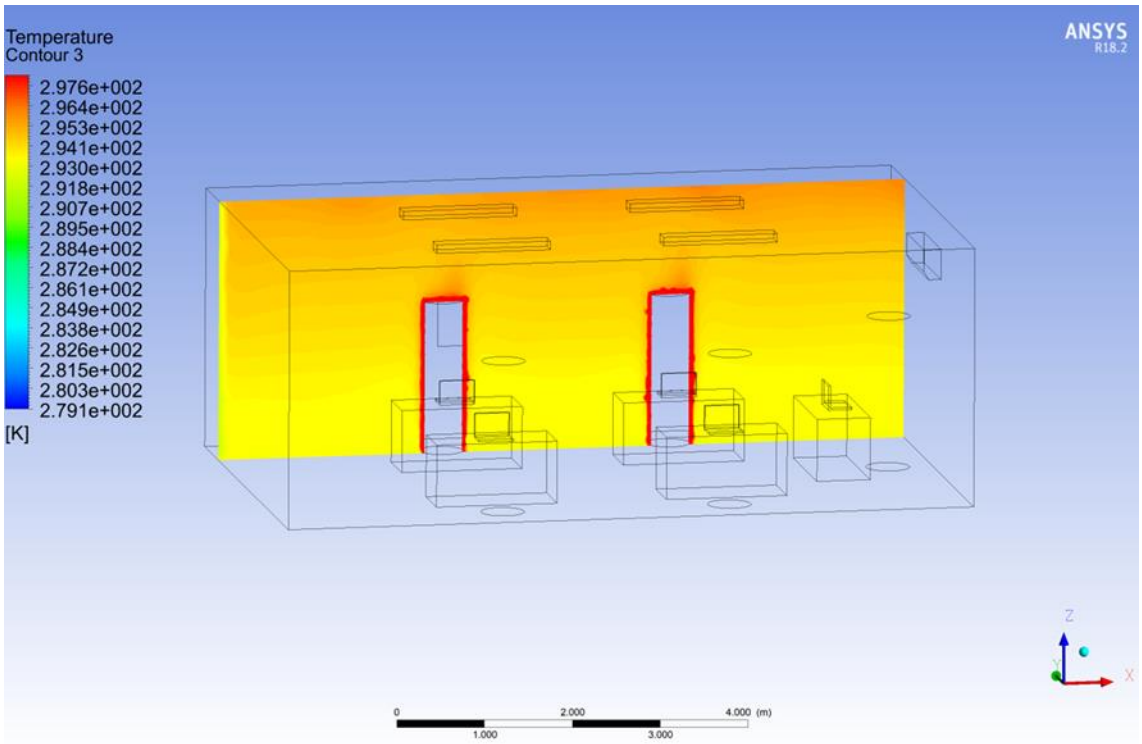
Şekil 4.37. - 4.41. arasında T_g=27°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 21-22°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarını kapsayan aralıktadır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 19-20°C civarında olduğu görülmekle birlikte ayaklarda üşüme problemi gözlemlenebilir.



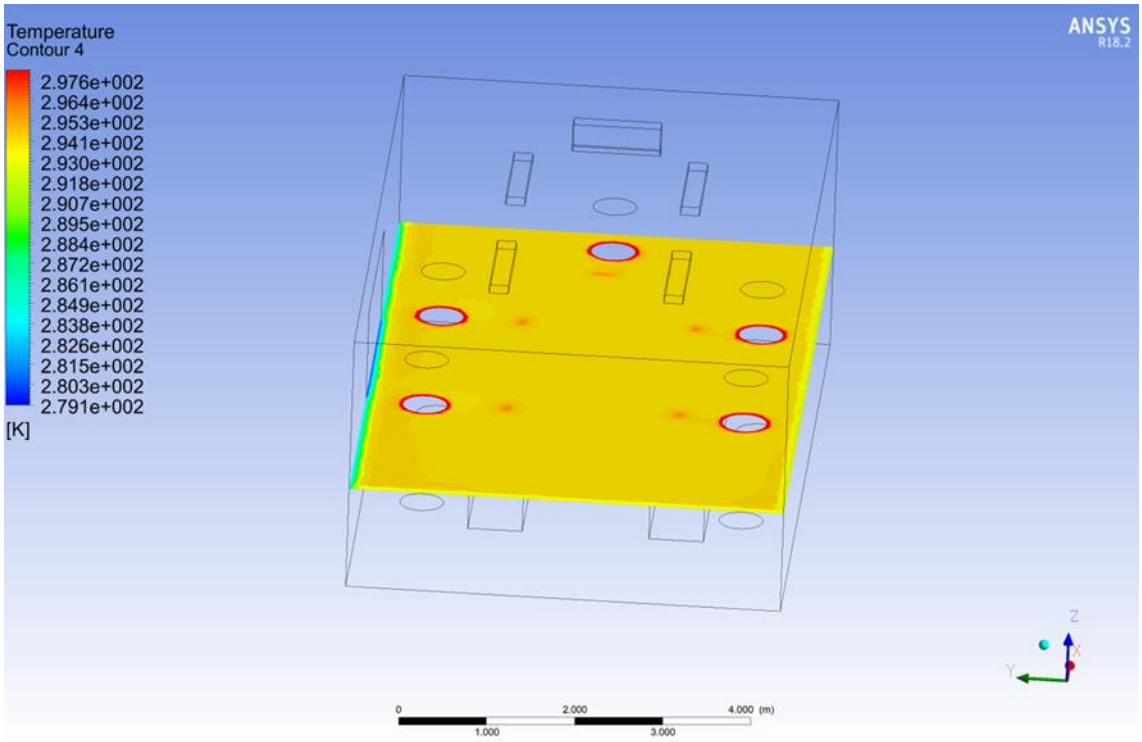
Şekil 4.37. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



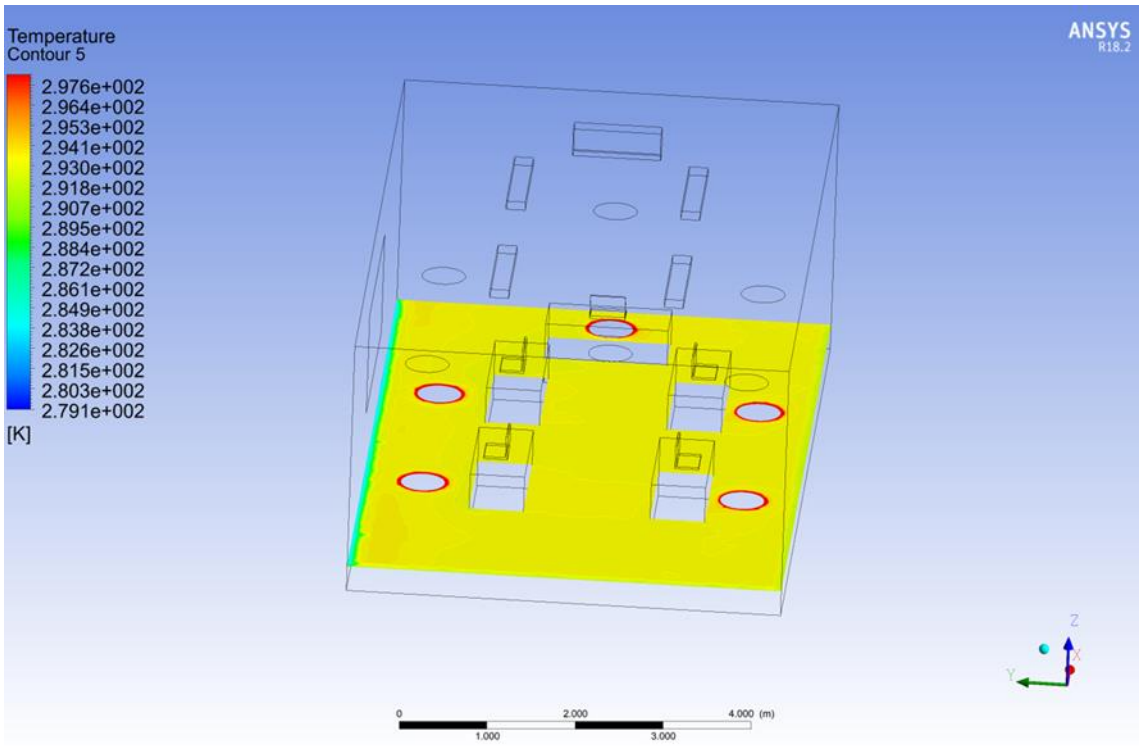
Şekil 4.38. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.39. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

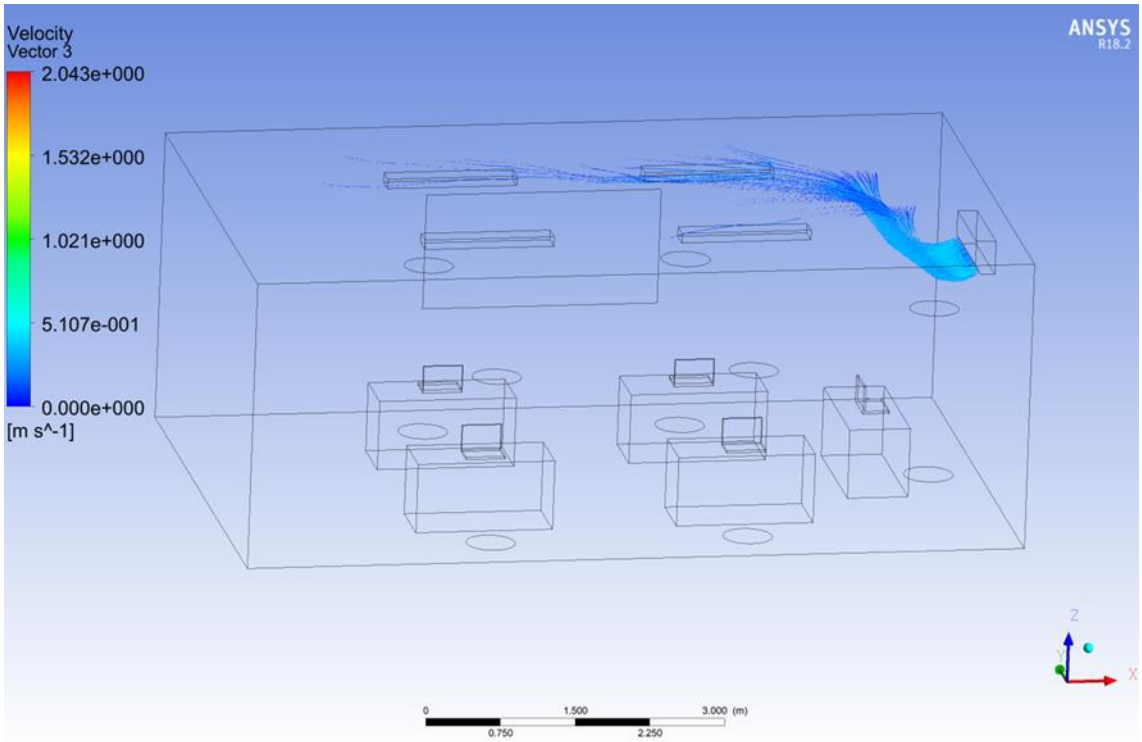


Şekil 4.40. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.41. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

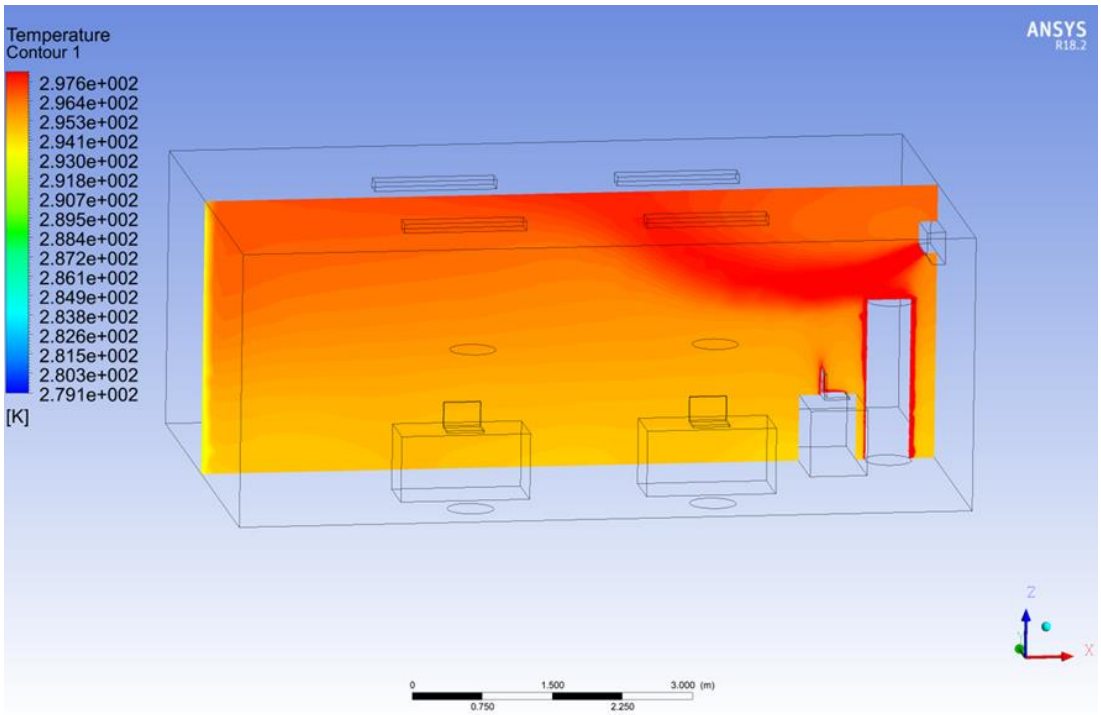
Şekil 4.42.'de T_g=27°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içinde hava dağılımına bakıldığında, havanın klimadan çıktıktan sonra tavana doğru yükseldiği ve mahal içerisinde homojen dağılmadığı görülmektedir. Bu nedenle mahal iyi ısınmamaktadır.



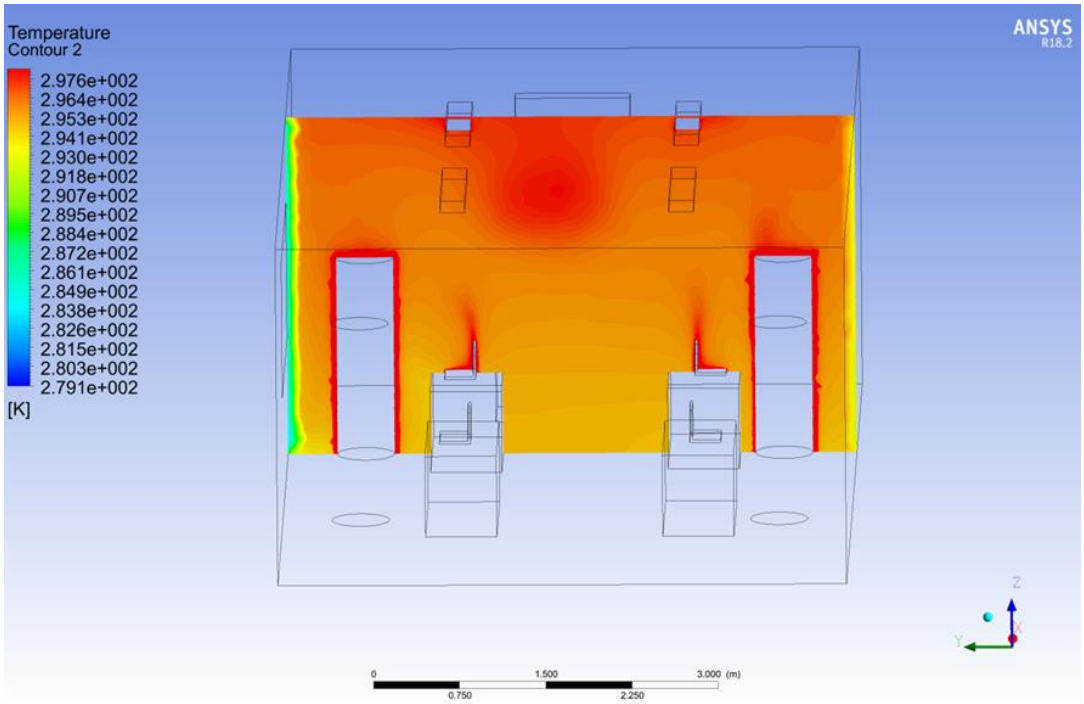
Şekil 4.42. T_g=27°C ve V_g= 0,5 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.3.2. Üfleme Hızı (V_g) = 1 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 27°C;

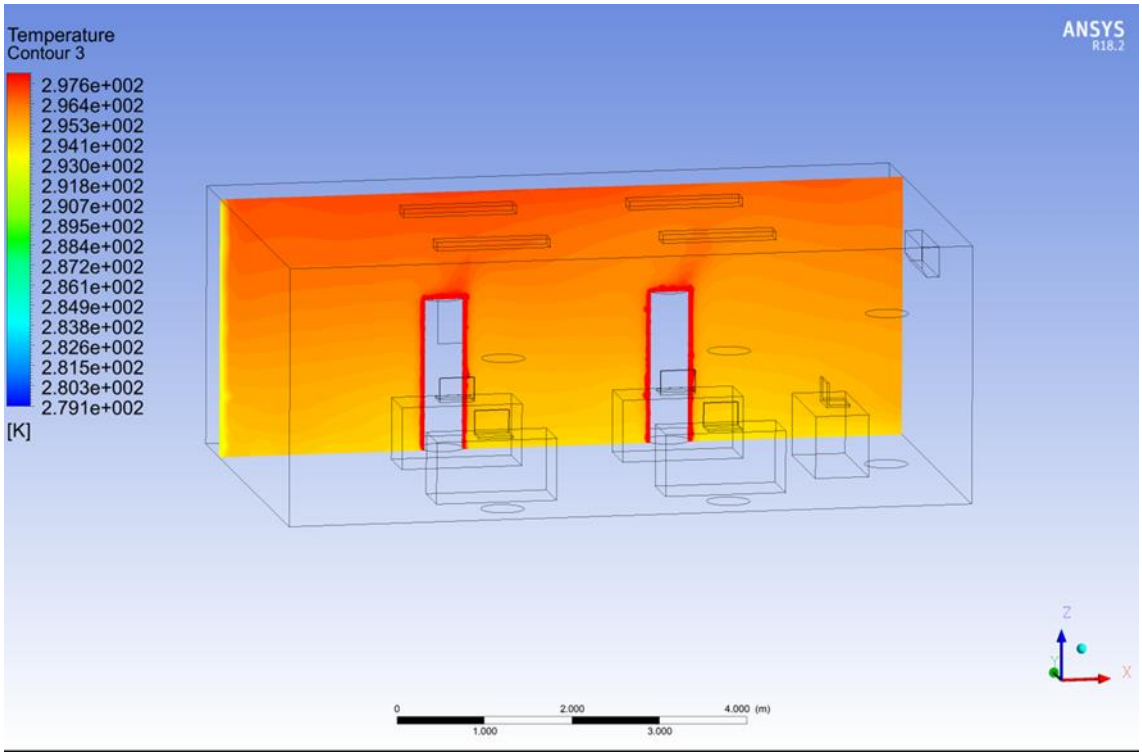
Şekil 4.43. - 4.47. arasında T_g=27°C ve V_g= 1 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 23-24°C arasında olduğu görülmekte olup, konfor şartlarını kapsayan aralıktadır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 22-23°C civarında olduğu görülmekle birlikte ayaklarda üşüme problemi de görülmeyecektir.



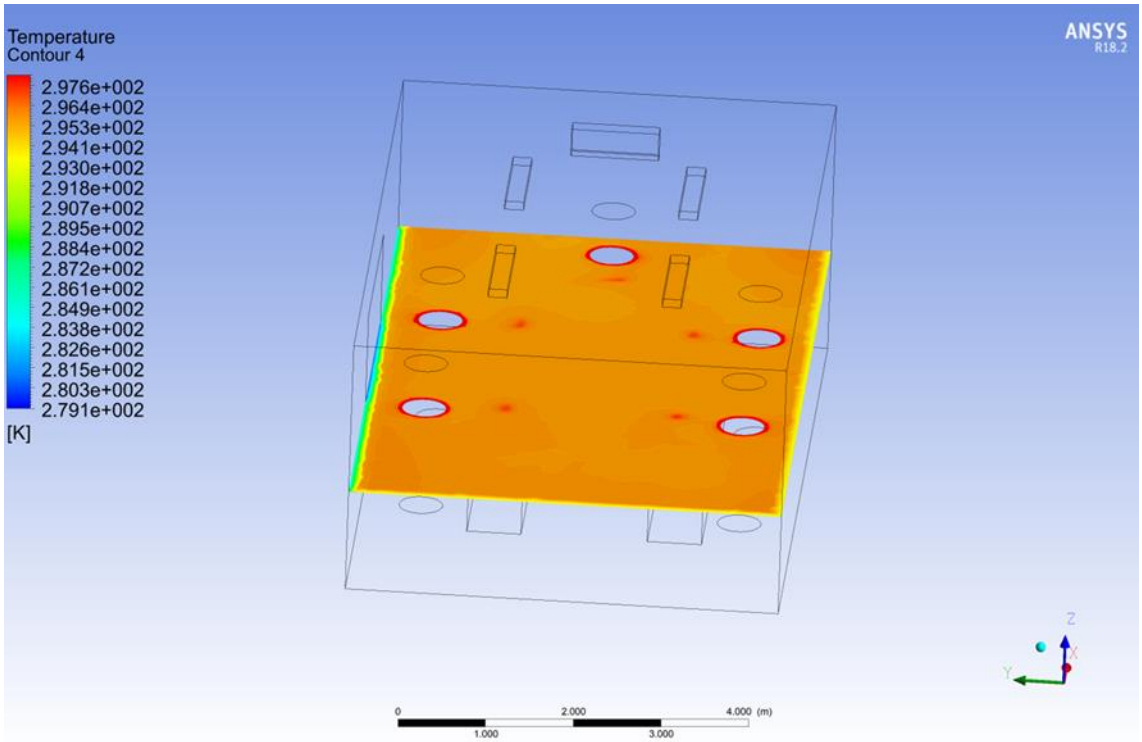
Şekil 4.43. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



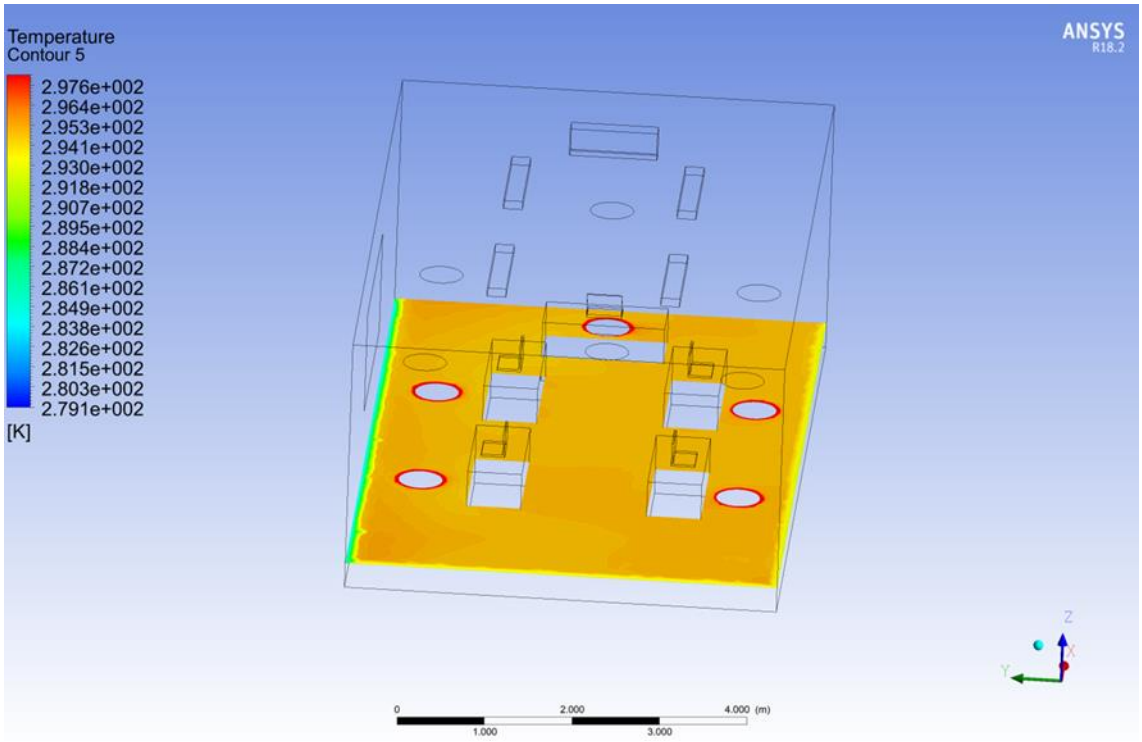
Şekil 4.44. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.45. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

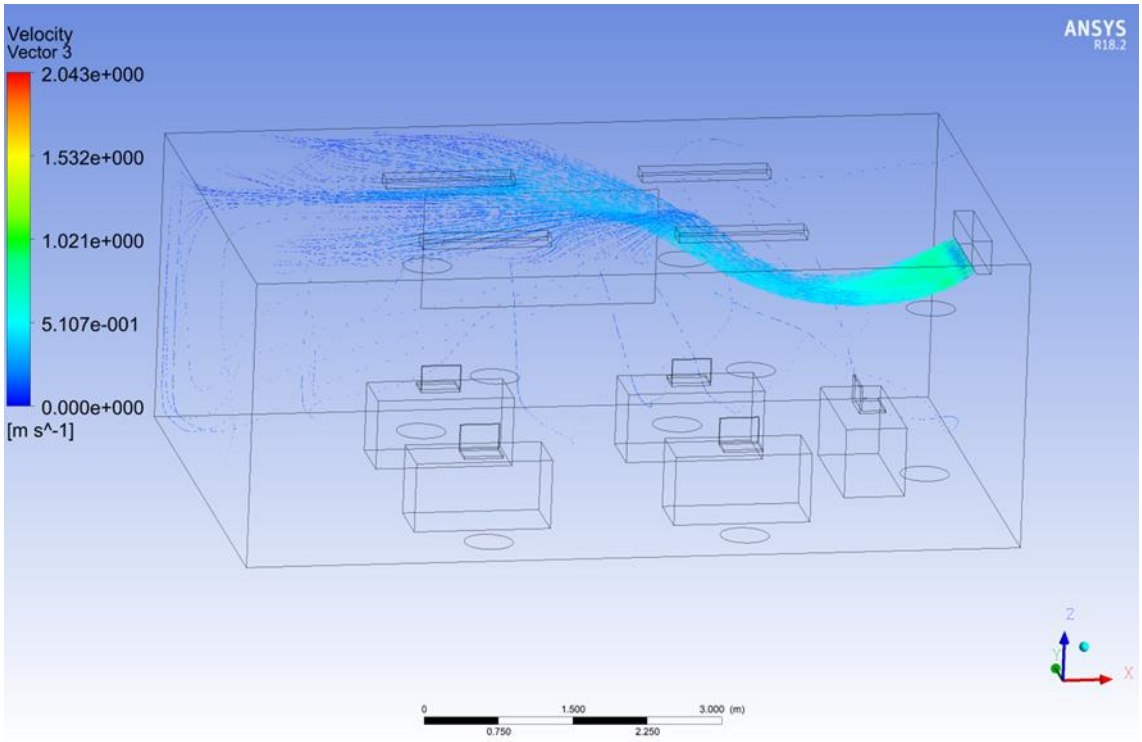


Şekil 4.46. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.47. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

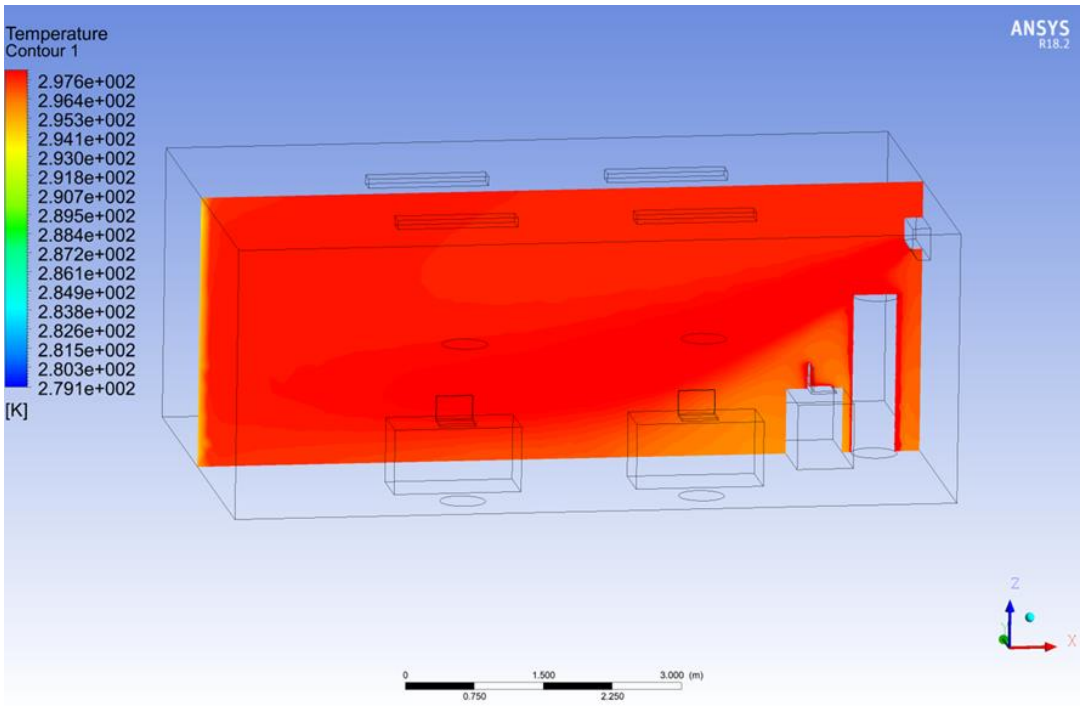
Şekil 4.48.'de T_g=27°C ve V_g= 1 m/s için hız dağılımına bakıldığında insanların bulunduğu bölgedeki hava hızı standartlara uygun değerde olup (V=0,2 - 0,25 m/s) havanın da V_g = 0,5 m/s göre daha homojen bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Hava giriş sıcaklığı ve hız değerleri, hem sıcaklık hem hız dağılımı açısından konforlu olarak değerlendirilebilir.



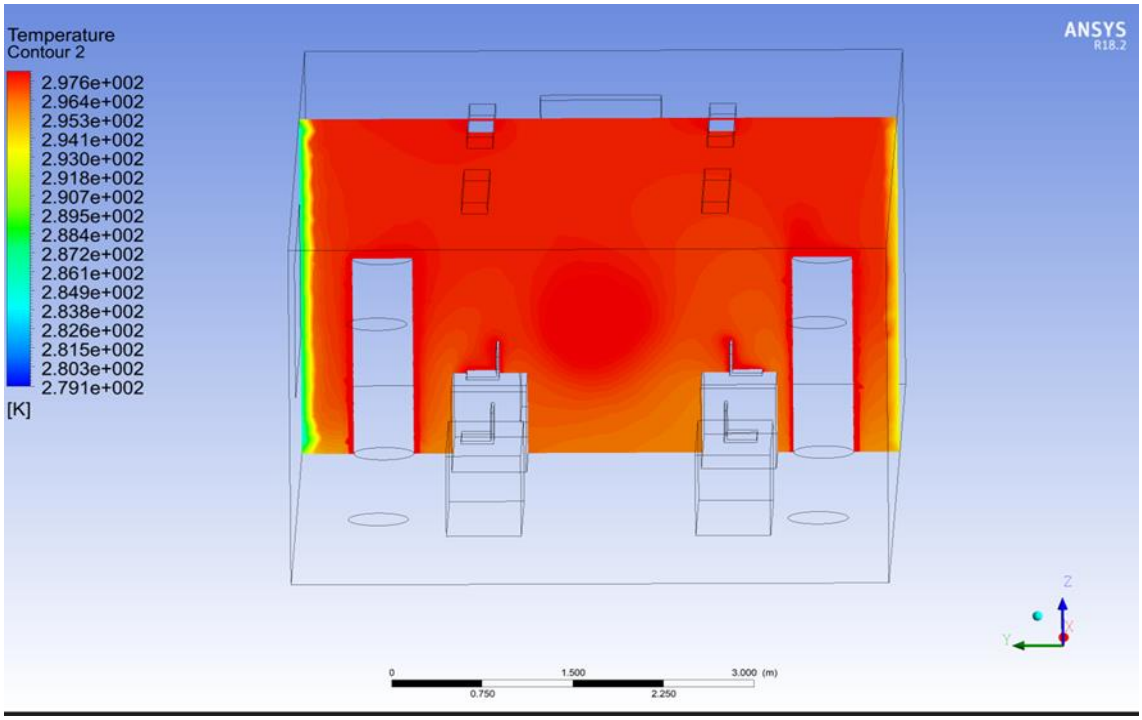
Şekil 4.48. T_g=27°C ve V_g= 1 m/s için ofis içindeki hız dağılımı

4.3.3. Üfleme Hızı (V_g) = 2 m/s ve Hava Giriş Sıcaklığı (T_g) = 27°C;

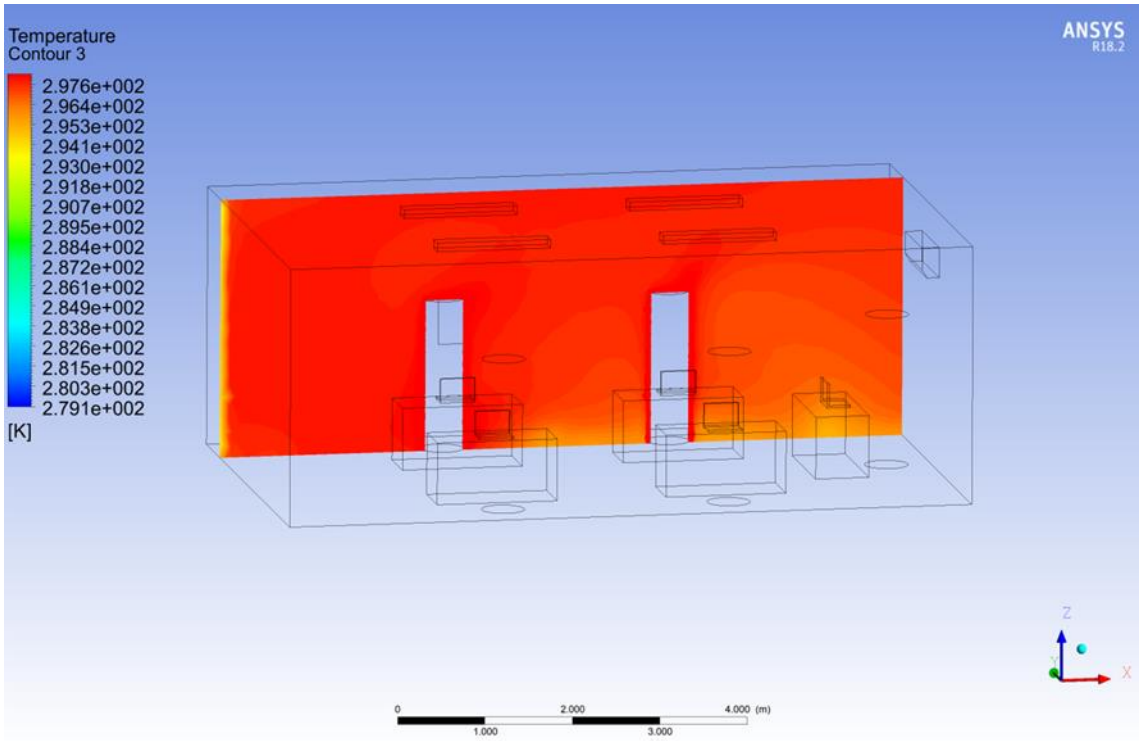
Şekil 4.49. - 4.53. arasında T_g=27°C ve V_g= 2 m/s için ofis içerisindeki farklı kesitlerde sıcaklık dağılımları görülmektedir. Sıcaklık dağılım skalasına bakıldığında ofisin orta ve üst kesimlerinin 24-25°C arasında olmakla birlikte, konfor şartlarının üst sınırında olduğu görülmektedir. İnce kıyafetlerle ortamda bulunarak bu olumsuzluk giderilebilir ancak enerji sarfiyatı yükselerek ek maliyet doğuracaktır. Zemine doğru olan sıcaklık değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinin 23-24°C civarında olduğu görülmekle birlikte ayaklarda üşüme problemi yaşanma olasılığı oldukça düşüktür.



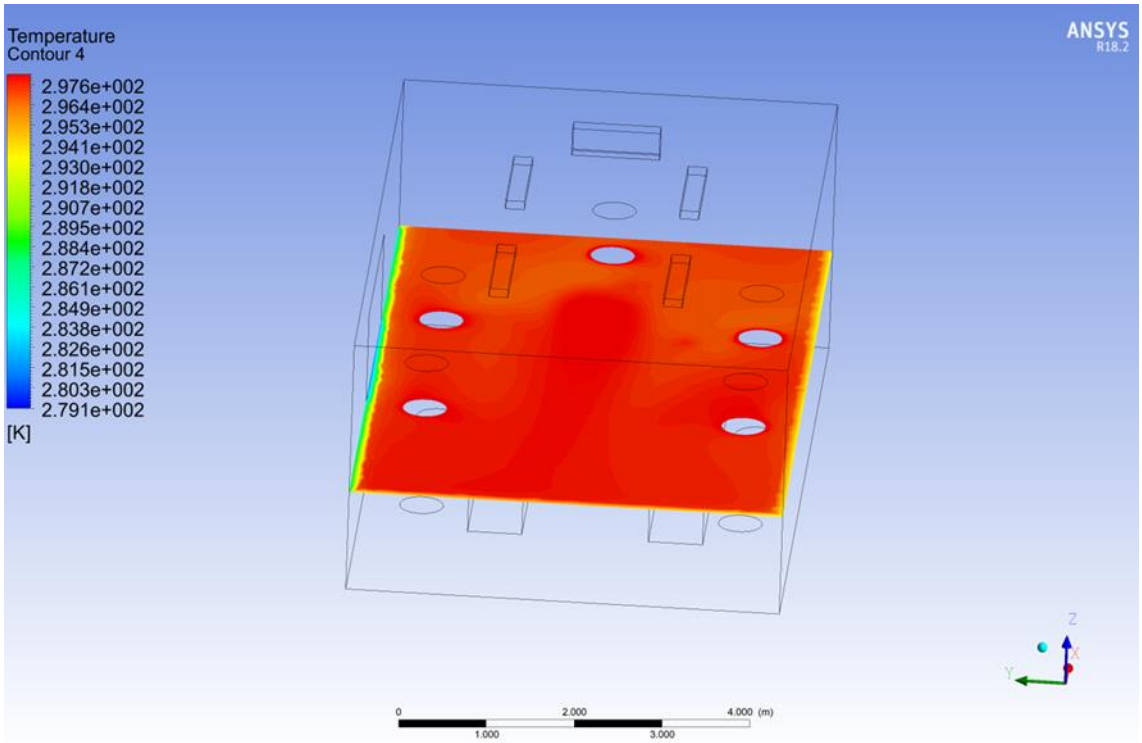
Şekil 4.49. Y=2,5 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



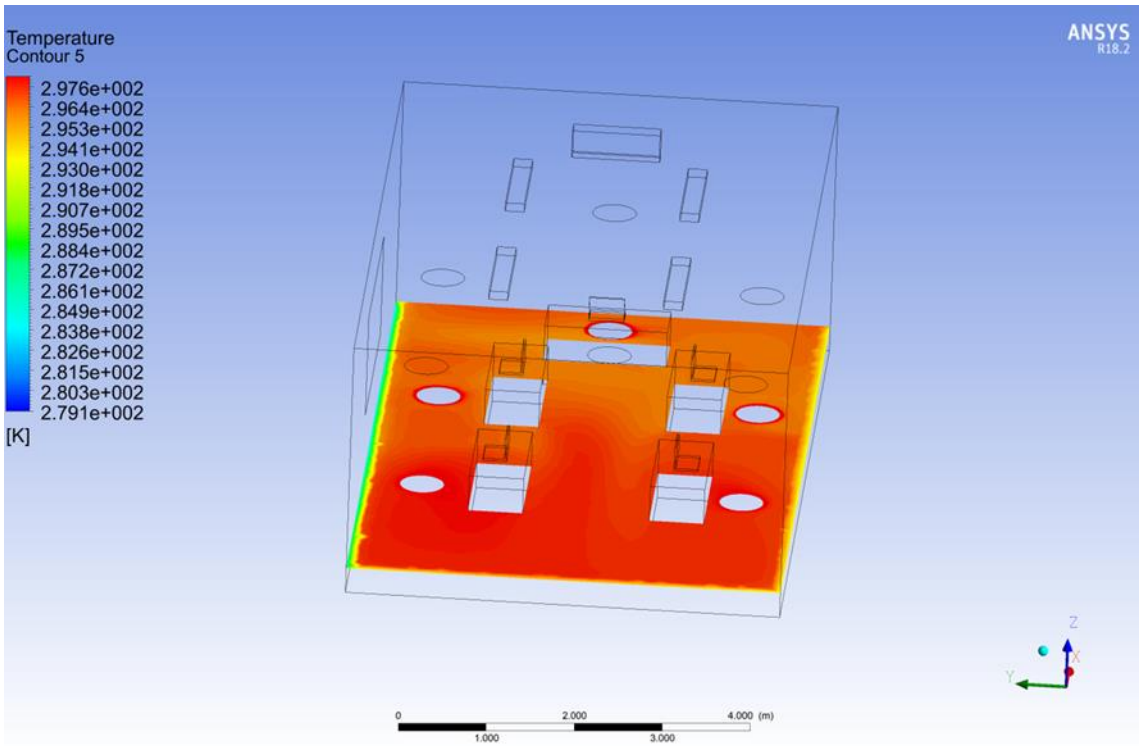
Şekil 4.50. X=5,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.51. Y=4,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

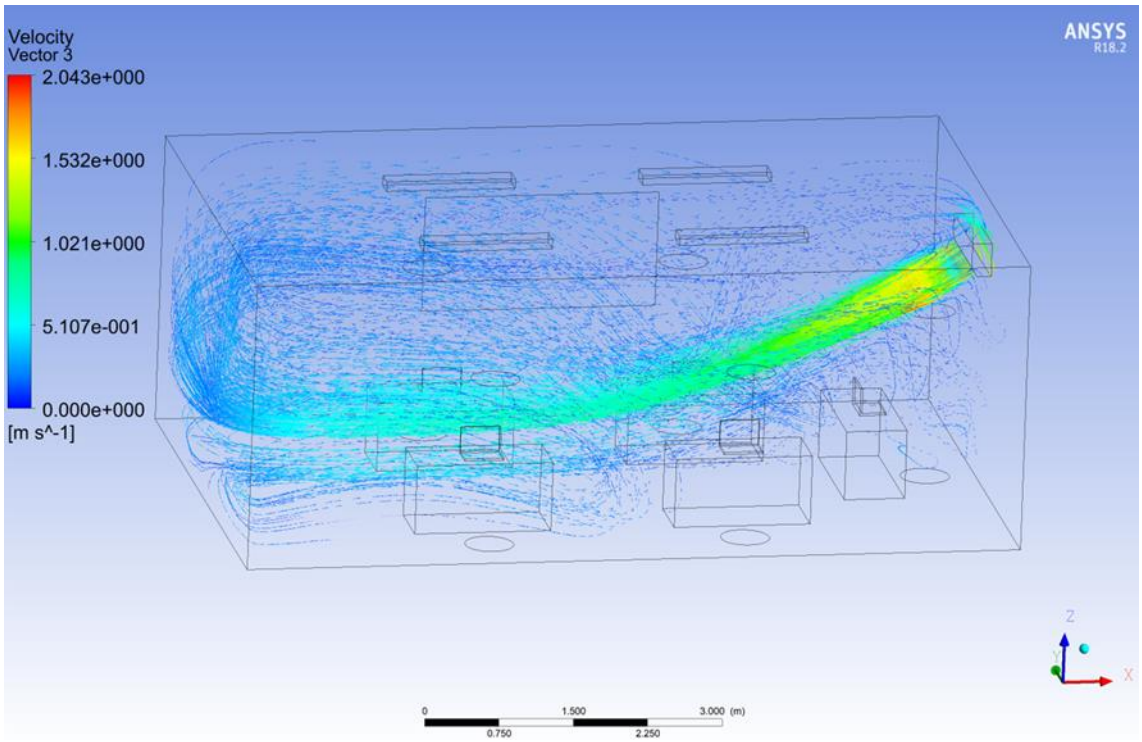


Şekil 4.52. Z=1,2 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 4.53. Z=0,3 m kesitinde ofis içindeki sıcaklık dağılımı

Şekil 4.54.'te T_g=27°C ve V_g= 2 m/s için hız dağılımına bakıldığında insanların bulunduğu bölgedeki hava hızının, standartların oldukça üzerinde olduğu (V=0,2-0,25 m/s) ve bu hız değerinin mahaldeki insanları rahatsız edecek düzeyde olmakla beraber cereyan etkisi oluşturarak konforu olumsuz etkileyeceği görülmektedir. Ortam sıcaklığı standartlara göre yüksek ve hava hızı da konforsuz olduğundan, belirlenen bu değerler tercih edilebilir değildir.



Şekil 4.54. T_g=27°C ve V_g= 2m/s için ofis içindeki hız dağılımı

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Termal konfor, hem ortam sıcaklığının hem de hava hızının bir dizi faktörle etkileşimi sonucu oluşur. ASHRAE 55-2004 ve ISO Standard 7730'a göre, termal konfor, bir kişinin bulunduğu termal ortamdan memnuniyeti olarak tanımlanır. Termal memnuniyeti sağlamak, kişisel farklılıklar, çevresel koşullar ve hava akışının dağılımı gibi birçok faktörün optimize edilmesini gerektirir. Bu bağlamda yapılan teorik ve pratik çalışmalar, farklı yöntemlerle termal konforun değerlendirilmesine olanak tanır.

Bu tez çalışmasında split klima kullanılan, 5 kişilik bir ofiste farklı sıcaklık (23°C, 25 °C, 27°C) ve hava hızı (0,5 m/s, 1 m/s, 2 m/s) dağılımı analizi kombinasyonlarının termal konfora etkileri hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri, Ansys Fluent programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, farklı sıcaklık ve hava hızı kombinasyonlarının ofisteki termal konfor koşullarına nasıl etki ettiğini belirlemek ve en uygun koşulları ortaya koymaktır.

Simülasyon yazılımları kullanılarak yapılan analizler, gerçek ortamda testler yapmak yerine çeşitli koşulların hızlı ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Yapılan analizlerde, iki ana senaryonun termal konfor açısından en uygun sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Hava giriş sıcaklığı 25°C ve ortama giriş yapan hava hızının 1 m/s (V_g = 1 m/s ve T_g = 25°C) olduğu ofis ortamında, simülasyon yazılımları kullanılarak yapılan analizler mahal üst sıcaklığı 21-22°C, mahal alt sıcaklığı ise 20°C olduğu saptanmıştır. Bu koşullarda ofis ortamında genelde konforlu bir hava akımı sağlanmış olmakla birlikte, mahal alt kısmındaki sıcaklık 20°C civarında olduğu için ayak bölgesinde üşüme hissi oluşabilir. Özellikle kış aylarında ofis çalışanlarında bireysel farklılık gösteren ve seçilen ayakkabıya bağlı olarak bu sıcaklık farkı termal konforu olumsuz etkileyebilir.

Hava giriş sıcaklığı 27°C ve üfleme hızının 1 m/s (V_g = 1 m/s ve T_g = 27°C) olduğu ofis ortamında, simülasyon yazılımları kullanılarak yapılan analizler mahal üst sıcaklığı 23-24°C, mahal alt sıcaklığı ise 22 -23°C olduğu belirlenmiştir.

Bu koşullarda, hava akış hızı da 1 m/s ile optimum düzeyde olup, çalışanların hem termal konforunu hem de çalışma ortamındaki memnuniyetini artırmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, hava giriş sıcaklığı 27°C ve üfleme hızı 1 m/s olan ofis ortamlarının, termal konfor açısından uygun olduğunu ve özellikle ayak bölgesinde hissedilen sıcaklıkların homojen dağılımıyla dengeli bir çalışma ortamı sunduğunu göstermektedir. Bu tür bir düzenlemenin, çalışanların iş performansı ve memnuniyeti üzerindeki olumlu etkileri göz ardı edilmemelidir.

Ancak 27°C hava giriş sıcaklığının 25°C'ye kıyasla enerji tüketimi açısından daha fazla maliyete yol açacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Klima sistemleri daha yüksek sıcaklıkta çalıştığında, sistemin kompresörünün daha fazla enerji harcaması gerekecektir. Bu durum, işletme maliyetlerinin yükselmesine ve daha fazla enerji tüketimine neden olarak çevresel etkilerin de artmasına yol açabilir.

Öte yandan, 25°C hava giriş sıcaklığı enerji tasarrufu açısından daha avantajlıdır, çünkü klima sisteminin daha düşük sıcaklıkta çalışması, enerji tüketimini minimize edebilir. Ancak bu durumda ayak bölgesinde yaşanabilecek üşüme hissi, çalışanların konforunu olumsuz etkileyebilir ve iş verimliliğini düşürebilir.

Ofis içerisinde kış iklimlendirme koşullarında, sıcaklık ve hava hızı dağılımlarının sayısal olarak analizinin yapıldığı bir çalışmada, iklimlendirilmiş havanın ofise giriş hızları 0,5 m/s, 1 m/s, ve 2 m/s alınarak belirlenen dış hava ortalama sıcaklıklarına göre analizler yapılmıştır. Bu çalışmada da termal konfor açısından tez çalışmamızda elde edilen verilere benzer üfleme hızının 1m/s olduğu denemelerde ofisin içi sıcaklığın 292-293 K arasında olduğu bildirilmiştir. Bunun yanında üfleme hızı 1 m/s için üfleme menfezinden çıkan havanın ofisin tüm bölgelerinde dengeli bir şekilde dağıldığı, ölü bölgelerin oluşmadığı ve hava akım konturlarının oldukça yoğun bir şekilde olduğu vurgulanmıştır (Yavuz, Yıldız, & Çakmak, 2021).

Sıcak ve nemli iklimde fanlı havalandırma eklenerek klima sistemini yüksek sıcaklık ayarı ile küçük bir ofis ortamında konfor koşullarının sağlanabilirliğinin amaçlandığı

diğer bir çalışmada en rahat koşulun 28°C lik bir klima ayarı ile bu tez çalışmasına benzer 1 m/s üfleme hızı ile nötr bir hissiyat sağlandığı bildirilmiştir (Zakaria ve ark.,2022).

Sonuç olarak, 27°C'nin sağladığı termal konfor, özellikle çalışan memnuniyeti açısından tercih edilebilir olsa da, enerji tüketimi açısından 25°C'nin daha sürdürülebilir bir seçenek olabileceği söylenebilir. Bu iki seçenek arasında karar verirken, işletmenin enerji maliyetleri ve çalışanların termal konforu arasında bir denge kurması gerekmektedir. Enerji verimliliğini artırmak için ek çözümler, örneğin akıllı iklimlendirme sistemleri veya bölgesel ısıtma-soğutma uygulamaları değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında 18.000 BTÜ kapasiteli klima kullanılmıştır. Ofis ortamlarında tercih edilen diğer bir kapasite olan 24.000 BTÜ lük klima ile ortamın ısıtılmasında ısıtma kapasitesi, ortamın ısınma süresi, hava dağılımı ve konfor açısından bazı farklar gözlemlenebilir. Daha yüksek kapasitedeki bir klima alan ofis alan büyüklüğüne göre daha hızlı ve etkili bir ısıtma sağlayabilir. Böylece ilgili alanda hızlı bir şekilde konfor seviyesine sıcaklığın ulaşmasını temin edebilir. Ancak yüksek kapasiteli klima daha büyük alanı ısıttığı için daha fazla enerji tüketecektir. Bu da verimlilik açısından enerji kayıplarına neden olacaktır. Bu tarz klima kapasitesi farklarıyla yine HAD modellemesi kullanılarak hava akışı ve sıcaklık dağılımı üzerinde yeni çalışmalar kapılarak literatüre katkı sağlanabilir.

Bu sonuçlar, çalışma ortamlarının termal konforunu optimize etmede HVAC sistemlerinin nasıl ayarlanabileceğine dair önemli bulgular sunmaktadır. Simülasyonların avantajı, farklı hava hızı ve sıcaklık kombinasyonlarının hızlı ve verimli bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak, gerçek ortamdaki deneylere kıyasla zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesidir. Sonuç olarak, termal konforun artırılması, çalışanların verimliliğini ve memnuniyetini olumlu yönde etkileyecektir.

KAYNAKLAR

Abou Jaoude, R., Thiagalingam, I., El Khoury, R., & Crehan, G. (2020). Berkeley thermal comfort models: Comparison to people votes and indications for user-centric HVAC strategies in car cabins. *Building and Environment*, 180, 107093. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107093

Almesri, I., Awbi, H. B., Foda, E., & Sirén, K. (2013). An air distribution index for assessing the thermal comfort and air quality in uniform and nonuniform thermal environments. *Indoor and built environment*, 22(4), 618-639. https://doi.org/10.1177/1420326X12451186

Amoabeng, K. O., Opoku, R., Boahen, S., & Obeng, G. Y. (2023). Analysis of indoor set-point temperature of split-type ACs on thermal comfort and energy savings for office buildings in hot-humid climates. *Energy and Built Environment*, 4(3), 368-376. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.02.006

Aris, M. H. M., Darlis, N., Ishak, I. A., Sulaiman, S., Jaat, N., & Hakim, A. F. (2021). HVAC CFD Analysis of Air Flow and Temperature Distribution Inside Passenger Compartment. *Journal of Automotive Powertrain and Transportation Technology*, 1(1), 25-33.

Aryal, P., & Leephakpreeda, T. (2015). CFD analysis on thermal comfort and energy consumption effected by partitions in air-conditioned building. *Energy Procedia*, 79, 183-188. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.459

Aryal, P., & Leephakpreeda, T. (2016). CFD analysis on thermal comfort and indoor air quality affected by partitions in air-conditioned building. Applied Mechanics and Materials, 836, 121-126. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.836.121

ASHRAE, A. (1993). handbook–Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating. Refrigeration and Air-conditioning Engineers.

ASHRAE. (2019). Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Atmaca, İ., & Yiğit, A. (2009). Isıl Konfor İle İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı (S. 543-555). İzmir: Altındağ Matbaacılık.

Aytaç Yılmaz, Z. & Aktaş, F. (2020). Utilization of CFD for the Aerodynamic Analysis of a Subsonic Rocket. *Journal of Polytechnic*, 3. https://doi.org/10.2339/politeknik.711003

Babich, F., Torriani, G., Corona, J., & Lara-Ibeas, I. (2023). Comparison of indoor air quality and thermal comfort standards and variations in exceedance for school buildings. *Journal of Building Engineering*, 71, 106405. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106405

Bamodu, O., Yang, T., & Halim, D. (2015, June). Numerical investigation of thermal comfort in an office room with 4-way cassette air-conditioner. In Proceedings of the 8th Conf. Int. Forum Urban. https://doi.org/10.3390/ifou-E009

Bamodu, O., Xia, L., & Tang, L. (2017). A numerical simulation of air distribution in an office room ventilated by 4-way cassette air-conditioner. *Energy Procedia*, 105, 2506-2511. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.722

Barau, A. A. B., Zambri, A. N., Osman, A. A., Ahmed, A. M., Taib, I., & Manshoor, B. (2024). Observation on Air Flow Distribution in Room by HVAC System using Ansys Fluent CFD Simulation. *Journal of Complex Flow*, 6(1), 29-37.

Bojic, M., Yik, F., & Lo, T. Y. (2002). Locating air-conditioners and furniture inside residential flats to obtain good thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(7), 745-751. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00143-8

BS EN ISO 7730, (2015). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal Comfort criteria, Brıtısh Standard.

Catalina, T., Virgone, J., & Kuznik, F. (2009). Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling. *Building and environment*, 44(8), 1740-1750. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.015

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2013). E book: Fluid mechanics fundamentals and applications (si units). McGraw Hill.

Chen, Q. (2009). Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and Environment*, 44(4), 848-858. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.025

Chen, H., Moshfegh, B., & Cehlin, M. (2013). Computational investigation on the factors influencing thermal comfort for impinging jet ventilation. *Building and Environment*, 66, 29-41.

Chrenko, F. A. (1967, September). Paper 8: Thermal Comfort. In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Conference Proceedings (Vol. 182, No. 5, pp. 13-19). Sage UK: London, England: SAGE Publications.

https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.018

Dimitroulopoulou, S., Dudzińska, M. R., Gunnarsen, L., Hägerhed, L., Maula, H., Singh, R., Toyinbo, O., & Haverinen-Shaughnessy, U. (2023). Indoor air quality guidelines from across the world: An appraisal considering energy saving, health, productivity, and comfort. *Environment International*, 178, 108127. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108127

Dong Jie, 2017, "Modeling and Simulation of Temperature Control System of Coating Plant Air Conditioner", Procedia – *Procedia Computer Science*, 107(Icict), 196–201.
https://doi: 10.1016/j.procs.2017.03.078

Felgueiras, F., Mourão, Z., Moreira, A., & Gabriel, M. F. (2024). Characterizing indoor environmental quality in Portuguese office buildings for designing an intervention program. *Building and Environment*, 254, 111393. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111393

Gautam, R. K., & Agarwal, N. (2022). Optimizing Thermal Comfort for Office Room Using CFD Analysis. In Technology Innovation in Mechanical Engineering: Select Proceedings of TIME 2021 (pp. 727-743). Singapore: Springer Nature Singapore.

Guo, F. Q., Mei, R. B., Zhang, L., Fan, J. W., Li, M. X., & Tang, Y. L. (2012). Evaluation of thermal comfort in an air conditioning room using a CFD model. *Advanced Materials Research*, 354, 717-721. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.354-355.717

Gürbüz, H., Akçay, İ. H., Asghar, H., & Ali, Q. A. (2016). Analysis of bus air conditioning system by finite elements method (ANSYS). *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5(3), 115-124. https://doi.org/10.18245/ijaet.287177

Hill, L. E., Griffith, O. W., & Flack, M. (1916). V. The measurement of the rate of heat-loss at body temperature by convection, radiation, and evaporation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character, 207(335-347), 183-220. https://doi.org/10.1098/rstb.1916.0005

Holiday, A., Andreou, S., & Hayder, M. (2015). Air Flow Visualization in an Office Room. *Computers and Electronics in Agriculture*, 4(4), 9-16.

Jia, L. R., Han, J., Chen, X., Li, Q. Y., Lee, C. C., & Fung, Y. H. (2021). Interaction between thermal comfort, indoor air quality and ventilation energy consumption of educational buildings: A comprehensive review. *Buildings*, 11(12), 591. https://doi.org/10.3390/buildings11120591

Jia, C., Zhao, S., Gao, S., & Zhai, Y. (2022). Field Study of thermal comfort of indoor fitness places in cold region. In E3S Web of Conferences (Vol. 356, p. 03010). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235603010

Kraus, M., & Kubečková, D. (2014). Airtightness of energy efficient buildings. *GSTF Journal of Engineering Technology* (JET), 2(2).

Köse, İ. (2022). Thermal comfort analysis of military aircraft cabin using computational fluid dynamics [Master's thesis]. Middle East Technical University.

Kunduracı, A. C., Karagözler, S., & Karcı, Z. S. (2023). Indoor Environmental Quality in Residential Care Facilities: A Scoping Review with Design Focus. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 8(1), 123-145. https://doi.org/10.30785/mbud.1223526

Kurmanbekova, M., Du, J., & Sharples, S. (2024). Perceived Air Quality, Thermal Comfort and Health: A Survey of Social Housing Residents in Kazakhstan. *Applied Sciences*, 14(6), 2513. https://doi.org/10.3390/app14062513

Lee, H., & Awbi, H. B. (2004). Effect of internal partitioning on indoor air quality of rooms with mixing ventilation—basic study. *Building and Environment*, 39(2), 127-141. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.08.007

Li, Q., Yoshino, H., Mochida, A., Lei, B., Meng, Q., Zhao, L., & Lun, Y. (2009). CFD study of the thermal environment in an air-conditioned train station building. *Building and Environment*, 44(7), 1452-1465. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.08.010

Li, Y. (2012). Numerical simulation and analysis for indoor air quality in different ventilation. *Health*, 4(12), 1352. https://doi.org/10.4236/health.2012.412197

Li, Y., Fazio, P., & Rao, J. (2012). Numerical investigation of the influence of room factors on HAM transport in a full-scale experimental room. *Building and Environment*, 50, 114-124. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.021

Li, Y., & Nielsen, P. V. (2011). CFD and ventilation research. *Indoor Air*, 21(6), 442-453. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00723.x

Lin, Y., Huang, T., Yang, W., Hu, X., & Li, C. (2023). A Review on the Impact of Outdoor Environment on Indoor Thermal Environment. Buildings, 13(10), 2600. https://doi.org/10.3390/buildings13102600

Liu, W., Mazumdar, S., Zhang, Z., Poussou, S. B., Liu, J., Lin, C. H., & Chen, Q. (2012). State-of-the-art methods for studying air distributions in commercial airliner cabins. Building and Environment, 47, 5-12. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.005

Liu, J., Zhu, S., Kim, M. K., & Srebric, J. (2019). A review of CFD analysis methods for personalized ventilation (PV) in indoor built environments. Sustainability, 11(15), 4166. https://doi.org/10.3390/su11154166

Macpherson, R. K. (1962). The assessment of the thermal environment. A review. *Occupational and Environmental Medicine*, 19(3), 151-164.

Martinez-Molina, A., Boarin, P., Tort-Ausina, I., & Vivancos, J. L. (2018). Assessing visitors' thermal comfort in historic museum buildings: Results from a Post-Occupancy Evaluation on a case study. *Building and Environment*, 132, 291-302. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.003

Maykot, J. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). Assessment of gender on requirements for thermal comfort in office buildings located in the Brazilian humid subtropical climate. Energy and Buildings, 158, 1170-1183. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.036

Megri, A. C., & Ali, A. (2015). Investigation of Attic Space Airflow and Temperature Distribution Using a Computational Fluid Dynamics Program. ASHRAE Transactions, 121(2). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.036

Mishra,N. (2023). Efficient Solvers for Nonlinear Partial Differential Equations in Computational Fluid Dynamics. *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, 26(2), 76-93. https://doi.org/10.52783/anvi.v26.i2.285

Mogra, A., Pandey, P. K., & Gupta, K. K. (2020, March). Computational Fluid Dynamics Analysis of a Class Room for Effective Utilization of Position of Air Conditioning System. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 810, No. 1, p. 012029). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/810/1/012029

Murakami, S. (2004). Analysis and design of micro-climate around the human body with respiration by CFD. *Indoor Air*, 14. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00283.x

Myhren, J. A., & Holmberg, S. (2008). Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating. *Energy and Buildings*, 40(4), 524-536. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.011

Nada, S. A., El-Batsh, H. M., Elattar, H. F., & Ali, N. M. (2016). CFD investigation of airflow pattern, temperature distribution and thermal comfort of UFAD system for theater buildings applications. *Journal of Building Engineering*, 6, 274-300. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.04.008

Nielsen, P. V. (2004). Computational fluid dynamics and room air movement. *Indoor Air*, 14(Supplement 7), 134-143. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00282.x

Nielsen, P. V. (2015). Fifty years of CFD for room air distribution. *Building and Environment*, 91, 78-90. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.035

Noh, K. C., Han, C. W., & Oh, M. D. (2008). Effect of the airflow rate of a ceiling type air-conditioner on ventilation effectiveness in a lecture room. *International Journal of Refrigeration*, 31(2), 180-188. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.07.005

Orman, Ł. J., Majewski, G., Radek, N., & Pietraszek, J. (2022). Analysis of thermal comfort in intelligent and traditional buildings. *Energies*, 15(18), 6522. https://doi.org/10.3390/en15186522

Özdamar, M., & Umaroğullari, F. (2018). Thermal comfort and indoor air quality. *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 5(3), 90-109.

Papakonstantinou, K. A., Kiranoudis, C. T., & Markatos, A. N. (2000). Computational analysis of thermal comfort: the case of the archaeological museum of Athens. *Applied Mathematical Modelling*, 24(7), 477-494.

Permaul, P., & Phipatanakul, W. (2018). School environmental intervention programs. The Journal of Allergy and Clinical Immunology: *In Practice*, 6(1), 22-29. https://doi.org/10.1016/j.jaip.2017.10.002

Persily, A. (2015). Challenges in developing ventilation and indoor air quality standards: The story of ASHRAE Standard 62. *Building and Environment*, 91, 61-69. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.026

Psikuta, A., Allegrini, J., Koelblen, B., Bogdan, A., Annaheim, S., Martínez, N., Derome D, Carmeliet J, & Rossi, R. M. (2017). Thermal manikins controlled by human thermoregulation models for energy efficiency and thermal comfort research–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1315-1330. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.115

Ratajczak, K., Amanowicz, Ł., Pałaszyńska, K., Pawlak, F., & Sinacka, J. (2023). Recent achievements in research on thermal comfort and ventilation in the aspect of providing people with appropriate conditions in different types of buildings—semi-systematic review. *Energies*, 16(17), 6254.

https://doi.org/10.3390/en16176254

Sadrizadeh, S. (2019). Numerical investigation of thermal comfort in an aircraft passenger cabin. In E3S Web of Conferences (Vol. 111, p. 01027). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911101027

Sarkar, J., & Mandal, S. (2008). CFD modeling and validation of temperature and flow distribution in air-conditioned space. International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 972. http://docs.lib.purdue.edu/iracc/972

Seinre, E., Kurnitski, J., & Voll, H. (2014). Building sustainability objective assessment in Estonian context and a comparative evaluation with LEED and BREEAM. *Building and environment*, 82, 110-120. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.005

Sempey, A., Inard, C., Ghiaus, C., & Allery, C. (2009). Fast simulation of temperature distribution in air conditioned rooms by using proper orthogonal decomposition. *Building and Environment*, 44(2), 280-289. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.004

Seppänen, O., Fisk, W. J., & Lei, Q. H. (2005). Ventilation and work performance in office work. *Indoor Air*, 16(1), 28-36. https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00394.x

Shah, V., & Patil, M. H. (2019, July). Duct Designing in Air Conditioning System and Its Impact on System Performance. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 06 (07), 1392-1397.e-ISSN: 2395-0056. chrome- extension: //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.irjet.net/ archives /V6/i7/IRJET-V6I7172.pdf

Shimazaki, Y., & Aisaka, K. (2018, February). Novel thermal analysis model of the foot-shoe sole interface during gait motion. *In Proceedings*, (Vol. 2, No. 6, p. 278). MDPI. https://doi.org/10.3390/proceedings2060278

Shirzadi, M., Naghashzadegan, M., & Mirzaei, P. A. (2018). Improving the CFD modelling of cross-ventilation in highly-packed urban areas. *Sustainable Cities and Society*, 37, 451-465. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.020

Stamou, A., & Katsiris, I. (2006). Verification of a CFD model for indoor airflow and heat transfer. *Building and Environment*, 41(9), 1171-1181. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.029

Stamou, A. I., Katsiris, I., & Schaelin, A. (2008). Evaluation of thermal comfort in Galatsi Arena of the Olympics "Athens 2004" using a CFD model. *Applied Thermal Engineering*, 28(10), 1206-1215. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.07.020

Stiapis, C. (2022). CFD study of the different inlet configurations and airflows in a room with IJV, [Student thesis]. urn:nbn:se:hig:diva-39980

Sun, Z., & Wang, S. (2010). A CFD-based test method for control of indoor environment and space ventilation. *Building and Environment*, 45(6), 1441-1447. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.007

22.5.2003 ve 4857 Sayılı İş Kanunu https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4857&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 (Erişim Tarihi: 01.10.2024)

Tomasi, R., Krajčík, M., Simone, A., & Olesen, B. W. (2013). Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness. *Energy and Buildings*, 60, 28-37. https://doi:10.1016/j.enbuild.2013.01.003

Zhang, W. J., & Zhang, C. L. (2011). Transient modeling of an air conditioner with a rapid cycling compressor and multi-indoor units. *Energy conversion and management*, 52(1), 1-7. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.002

Taftian, M. (2020). Thermal Comfort Analysis Inside of a Recreational Vehicle [Master's thesis]. University of Waterloo. http://hdl.handle.net/10012/15588

Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(10-11), 1749-1761. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058

Veselý, M., & Zeiler, W. (2014). Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance–A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 401-408. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.024

Yapıcı, E., Gençer T., & Ay, U. (2019, 17-20 Nisan). Ofis İçi Isıl Konfor Şartlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yöntemi İle İncelenmesi. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Türkiye, 1117-1126. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-91.pdf

Yavuz, M., Yıldız, C., & Çakmak, G. (2021). Kabin Tipi Bir Ofisin Kış İklimlendirmesinde Hız ve Sıcaklık Dağılımının Sayısal İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 958-972. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.850254

Yiğit, A., Kılıç, M. (2024). *Isı Transferi*.7. Baskı, Seçkin Kitapevi.

Yüce, B. E., & Pulat, E. (2019, 17-20 Nisan). Alttan ısıtma sisteminin kullanıldığı bir ofis odasında ısıl konfor ve iç hava kalitesinin sayısal olarak incelenmesi. 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Türkiye, 1094-1102. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2019/03/2019-89.pdf

Zakaria, M. A., Amran, M. S., Rozmi, S. A., Yasin, M. N., Leng, P. C., & Hanipah, M. H. (2022). Thermal comfort assessment of an office room under high air conditioning setting temperatures with fan-assisted ventilation. International Journal of Integrated Engineering, 14(6), 415-422.

Zhang, J., & Smith, K. R. (2003). Indoor air pollution: a global health concern. *British Medical Bulletin*, 68(1), 209-225. https://doi.org/10.1093/bmb/ldg029

Zhao, Q., Lian, Z., & Lai, D. (2021). Thermal comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment*, 2(1), 21-33. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.05.007

EKLER

EK 1-Klima Teknik Özellikleri

• **ENERJİ BİLGİLENDİRME ETİKETİ**
• Üretici Firma: **ARÇELİK-LG KLİMA SAN VE TİC. A.Ş.**
• Model Kodu: **18325 / 18326**
• Ses gücü seviyesi (dB) İÜ:**60** / DÜ:**65**
• Soğutucu akışkan miktarı: **1 kg.**
• *Soğutucu akışkan kaçağı iklim değişikliğine etki etmektedir. Düşük küresel ısınma potansiyeline (GWP'ye) sahip soğutucu akışkanların atmosfere salınması durumunda, yüksek GWP'ye sahip akışkanlara göre küresel ısınmaya daha az etkide bulunurlar. Bu klima, GWP değeri **675** olan **R32** soğutucu akışkanını içermektedir. Bu durum, 1 kg **R32** soğutucu akışkanın atmosfere sızması durumunda, her 100 yıllık periyot için 1 kg CO_2'den **675** kat daha fazla küresel ısınmaya etkisi olacağını ifade etmektedir.*   *Asla soğutucu akışkan sistemine kendiniz müdahale etmeyiniz ve ürünü profesyonel destek almadan kendi başınıza demonte etmeyiniz.*
• Ürünün t-CO_2 eq değeri : **0,675** | t-CO_2 eq=F-gas (kg) x GWP / 1000
• Soğutma konumunda ürünün SEER değeri ve enerji verimliliği sınıfı:**7.0 (A++)**
• Q_{CE} değeri, soğutma sezonu boyunca bir yıllık kWh cinsinden anma elektrik tüketimini ifade etmektedir.   *'Standart test sonuçlarına göre bir yıllık enerji tüketimi **250** kWh'dır. Reel elektrik tüketimi, ürünün nasıl ve nerede kullanıldığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.'*
• Soğutmadaki Tasarım Yükü ($P_{tasarım,\ soğutma}$): **5,0** kW
• Isıtma konumunda ürünün SCOP değeri ve enerji verimliliği sınıfı: **4.3** (**A+**)
• Q_{HE} değeri, Isıtma sezonu boyunca bir yıllık kWh cinsinden anma elektrik tüketimini ifade etmektedir. 'Standart test sonuçlarına göre bir yıllık enerji tüketimi **1270** kWh'dır. Reel elektrik tüketimi, ürünün nasıl ve nerede kullanıldığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.'
• Isıtma için belirlenen iklim sınıfı: **Ortalama** (**Average**)
• Isıtmadaki Tasarım Yükü ($P_{tasarım,\ ısıtma}$): **3,9 kW**
• Yedek (ek) ısıtma kapasitesi: **0.0 kW**
5401391353 Rev.:c

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Giray GONCAGÜL
Doğum Yeri ve Tarihi	: Bursa/20.08.1994
Yabancı Dil	: İngilizce
Eğitim Durumu	
Lise	: Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi
Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çalıştığı Kurum/Kurumlar	: Durmazlar Makine San.ve Tic. A.Ş.
İletişim (e-posta)	: giraygoncagul@gmail.com
Yayınları	: Ufat Hande, **Goncagül Giray**, Yamankaradeniz Recep ameliyathane iklimlendirme sistemlerinde hava giriş sıcaklığının mahal içerisindeki hava dağılımına etkisi , 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 17-20 Nisan 2019 İzmir (1103-1116)
	Ufat Hande, **Goncagül Giray**, Yamankaradeniz Nurettin Split klima ile ısıtılan bir ofis ortamının farklı hava giriş sıcaklıkları ve hızlarında içerideki sıcaklık dağılımının CFD Analizi ile incelenmesi 11. Uluslararası Meslek Yüksekokulları Sempozyumu Düzce Türkiye 5-7 Ekim 2023 ss. 19