

# DEĞİŞİK HAVA HIZI DEĞERLERİ KULLANILARAK YERDEN ISITMA YAPILAN VE TAZE HAVA VERİLEN BİR OFİS İÇERİSİNDEKİ KONFOR KOŞULLARININ SAYISAL ANALİZİ

M. Özgün KORUKÇU  
Mustafa Kemal İŞMAN  
Bilsay PASTAKKAYA

## ÖZET

Bu çalışmada, yerden ısıtma yapılan içerisinde ayakta duran bir insan olan bir ofisteki hava hızı ve sıcaklık dağılımları üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir. Hesaplamalarda gerçek boyutlarda bir ofis ve içerisinde ayakta duran bir insan modellenmiştir. Hesaplamalarda Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemlerinin yanı sıra enerji ve transport denklemleri de kullanılmıştır. Ofis içerisindeki türbülans modeli olarak  $k-\varepsilon$  modeli kullanılmıştır. Ofis içerisindeki sıcaklık, hava hızı ve ceyran değerleri farklı hava hızı değerleri için hesaplanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** HAD, Isıl konfor, Yerden ısıtma

## ABSTRACT

In this study, three dimensional air flow and temperature distributions of an underfloor heated office with a standing person inside were modeled and analyzed by computational fluid dynamics (CFD). In the calculations an office with real dimensions and a standing person inside the office were modeled. In the numerical calculations besides Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) equations, energy and transport equations were also used. The  $k-\varepsilon$  model was used for turbulence modeling. Temperature, air flow distributions and draught rate inside the office were calculated for different air velocity values and the results were analyzed.

**Key words:** CFD, Thermal comfort, Underfloor heating

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş ülkelerdeki insanların büyük bir çoğunluğu zamanlarının %90'ını iklimlendirilme yapılan kapalı ortamlarda geçirmektedir [1]. İnsanların sıklıkla kullandığı hemen hemen tüm hacimler yaz ve kış koşullarına bağlı olarak değişik sistemler ile iklimlendirilmektedir. Kapalı ortamlarda yetersiz iklimlendirme ve havalandırma kişilerin rahatsız olmasının yanı sıra üretkenliğini de etkilemektedir. Fanger, binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılan klima sistemlerinin, bazı durumlarda, ortamın konforlu olarak algılanmasına yeterli olmadığı ve var olan iklimlendirme anlayışının sorgulanması gerektiğini vurgulamaktadır [2]. İç ortam hava kalitesine ve havalandırma oranına bağlı olarak “hasta bina sendromları” çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır [3].

Isıl konfor kişisel tercihleri de içerisinde barındıran bir kavram olduğundan, literatürde birkaç değişik tanımı yapılmıştır. Anonim [4], ısı çevreden hoşnut olunan düşünce durumu; Anonim [5], iç vücut sıcaklığının düzenlenmesi için minimum fizyolojik çabaya gerek duyulması durumu; Anonim [6], ısı çevreden tatmin olunan koşulları, ısı konfor olarak nitelendirmektedir. İnsanların zihinsel, fiziksel ve algısal performansları, ısı konforda buldukları durumda genelde en üst seviyededir.

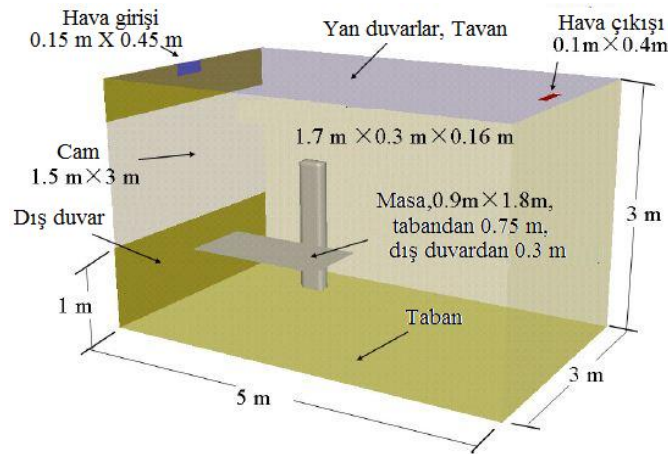
Isıl konfor konusunda birçok deneysel, teorik ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kişisel tercihleri içermesinin yanı sıra çok pahalıdır. Isıl konfor konusundaki teorik çalışmalar daha çok insan ve çevre havası arasındaki ısı ve kütle geçişi modellerine üzerine yoğunlaşmıştır [7-10]. Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ve yazılımlar yardımıyla karmaşık sistemlerin simülasyonları yapılabilmektedir. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak kabul edilebilir düzeyde hata içeren sonuçlar elde edilebilmektedir. Isıl konfor konusunda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar ise son yıllarda giderek artmaktadır [11-15].

Bu çalışmada ise içerisinde ayakta duran bir insan olan ve yerden ısıtma yapılan bir ofis için değişik hava hız değerlerinde hız, sıcaklık dağılımları ile ceryan değerleri üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

## 2. MODELLEME VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

### 2.1. Geometrinin Modellenmesi

Modelleme ve çözüm yöntemi yapılmadan önce, akış alanı geometrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Akış analizi yapılacak olan ofis 5 m x 3 m x 3 m boyutlarında ve içerisinde yer alan birey ise 1.7 m x 0.3 m x 0.16 m boyutlarında olacak biçimde modellenmiştir. Ofis içerisinde yerden 0.75 m yüksekliğinde ve dış duvardan 0.3 m uzaklığında 0.9 m x 1.8 m boyutlarında bir çalışma masası ve dış duvarda ise 1.5 m x 3 m boyutlarında pencere bulunmaktadır. Ofise hava girişi 0.15 m x 0.45 m boyutlarında olan bir kanaldan, hava çıkışı ise 0.1 m x 0.4 m boyutlarındaki bir kanaldan gerçekleşmektedir. Ofis, içerisinde yer alan kişi, masa ve camın yerleşimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

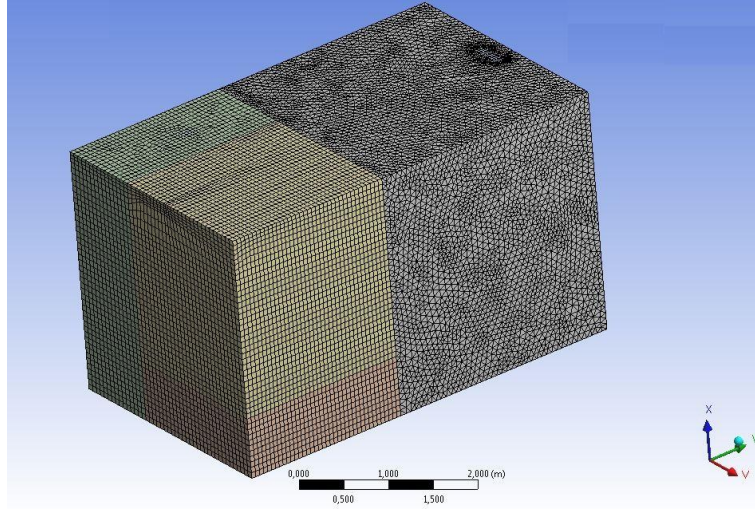


Şekil 1. Hesaplamalarda Kullanılan Ofis Modeli.

### 2.2. Ağ Yapısı

Ağ yapısının oluşturulması ve kalitesi çözümün doğruluğu için en önemli adımdır. Geometriyi ağa bölerken dikkat edilmesi gereken hız ve sıcaklık değişimlerinin yüksek olduğu bölgeleri daha sık ağlara bölerek çözümün hassasiyetini arttırmaktır. Ağ yapısının oluşturulmasında önce tetrahedral

elemanlar kullanılmış ancak ağ yapısının kalitesi incelendikten sonra hexahedral elemanların kullanılmasına karar verilmiştir. Hexahedral elemanlar kullanıldıktan sonra elde edilen ağ yapısı incelenmiş ve tetrahedral ağ yapısından daha kaliteli bir ağ elde edilmiştir. Şekil 2'de ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 2. Çözümlemede Kullanılan Ağ Yapısı.

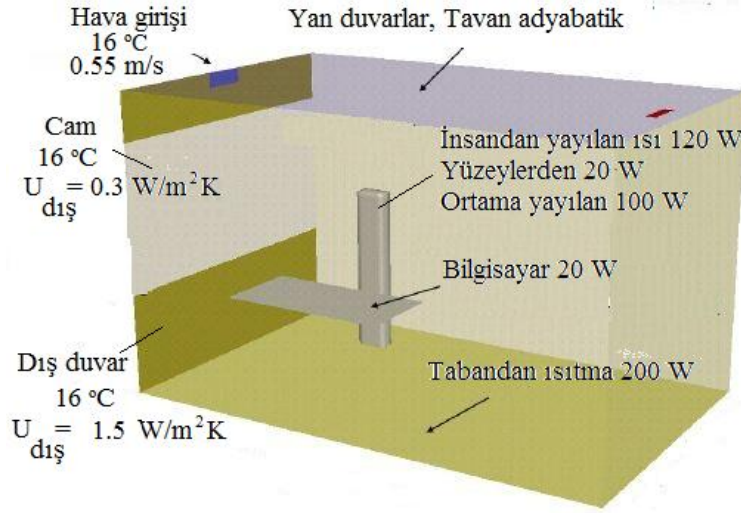
### 2.3. HAD Yöntemi

Ofis içerisindeki akış alanı üç boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS), enerji, momentum, ve süreklilik denklemlerini sayısal yöntemlerle çözebilen bir paket program kullanılmıştır. Hesaplamalarda yerçekimi etkisi göz önüne alınmıştır. Türbülans modeli olarak RNG k- $\epsilon$  modeli kullanılmıştır. Doğal taşınım için Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır.

Diferansiyel denklemlerin çözülmesinde birinci dereceden ayrıklaştırma kullanılmıştır. Çözümlemelerde elde edilen sonuçların yakınsama kriteri olarak türbülans, üç boyutlu hız için  $10^{-3}$  ve enerji denklemi için  $10^{-6}$  değerleri yeterli bulunmuştur.

### 2.4. Sınır Koşulları

Ofis içerisindeki hava değişimi saatte 3 kere olacak biçimde tasarlanarak giriş menfezinde 0.55-0.65-0.75-0.85 m/s değerlerinde dört değişik taze hava hızı değeri tanımlanmıştır. Dış ortam sıcaklığı 16 °C değerindedir. Pencerenin dış bölümündeki toplam ısı direnci 1.5 W/m<sup>2</sup>K, dış duvarın dış bölümündeki toplam ısı direnci 0.3 W/m<sup>2</sup>K değerindedir. Tabandan ısıtma yapıldığı için 14.95 m<sup>2</sup> taban alanına 13.38 W/m<sup>2</sup> değerinde ısı akısı uygulanmıştır. Masa üzerinde bir bilgisayar olduğu ve bilgisayarın yaklaşık 20 W değerinde ısı yaydığı düşünülmüştür. Ayakta duran bir bireyin metabolik aktivitesi de göz önüne alınarak toplam 120 W değerinde ısı ürettiği, 20 W değerindeki ısının bireyin yüzeylerinden, kalan 100 W değerindeki ısının ise doğrudan içinde bulunduğu ortama aktarıldığı düşünülmüştür. Ofisin komşusu olduğu diğer ofislerle sıcaklığının aynı olduğu ve yan duvarlar ile tavandan ısı kaybı olmadığı kabul edilmiştir. Sınır koşulları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Modellemede Kullanılan Sınır Koşullarının Gösterimi.

### 2.3. Cereyan Değerinin Belirlenmesi

Cereyan kişilerin hava hareketinden kaynaklanan istenmeyen yerel bir üşüme algısı olarak tanımlanabilir. Cereyan değeri belirli bir ortamda bulunan insanların cereyandan dolayı oluşan rahatsızlıklarını belirtme yüzdesi olarak hesaplanabilir. Cereyan değeri (DR %) aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir [6]:

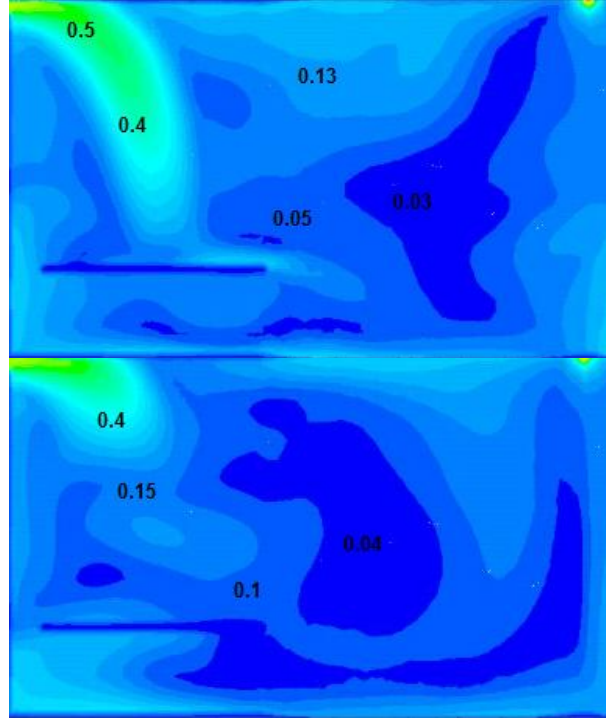
$$DR = (34 + 273.15 - t_a) \times (v^{0.6} - 0.07) \times (0.37vT_u + 3.14) \quad (1)$$

Yukarıdaki bağıntıda yer alan  $t_a$  yerel hava sıcaklığını,  $v$  hava hızını ve  $T_u$  ise yüzde cinsinden türbülans yoğunluğu değerlerini belirtmektedir. Bağıntı hava hızının 0.05 m/s değerinden daha büyük olduğu durumlarda geçerlidir. Bir ortamda 0.05 m/s değerinden daha düşük hava hızı olması ortamın yeteri kadar havalandırılmaması ve iç hava kalitesinin kötü olması anlamına gelmektedir.

## 3. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

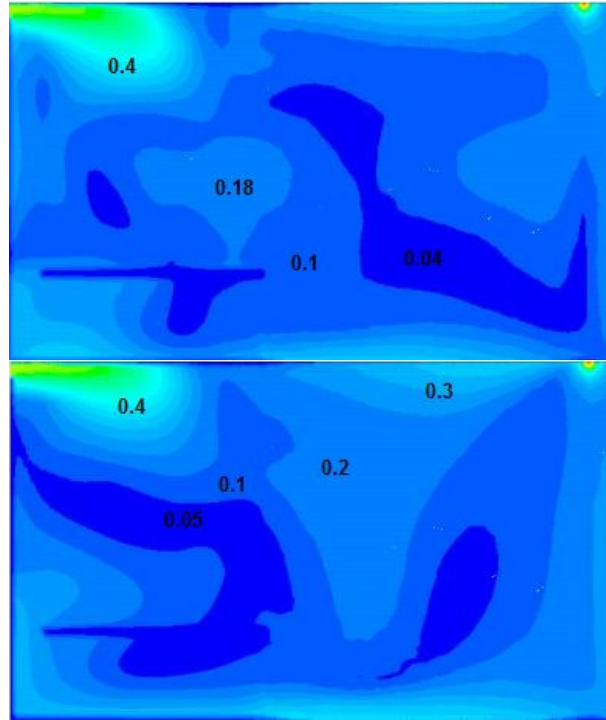
### 3.1. Hız Dağılımı

Ofis orta düzlemindeki hava hızı dağılımları Şekil 4'de gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değerleri arttıkça ofis orta düzlemindeki hava hızı değerleri de artmaktadır. Ofis hacminin ortalama hava hızı değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda 0.09 m/s, giriş hava hızı değerinin 0.65 m/s olduğu durumda 0.1 m/s, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda 0.105 m/s ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise 0.128 m/s olarak hesaplanmıştır.



(a) 0.55 m/s

(b) 0.65 m/s



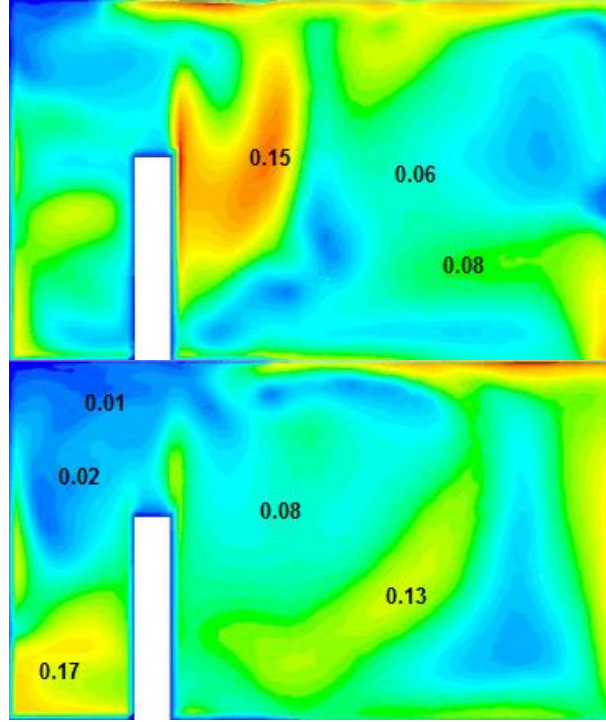
(c) 0.75 m/s

(d) 0.85 m/s

**Şekil 4.** Ofis Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Hava Hızı Dağılımları (m/s).

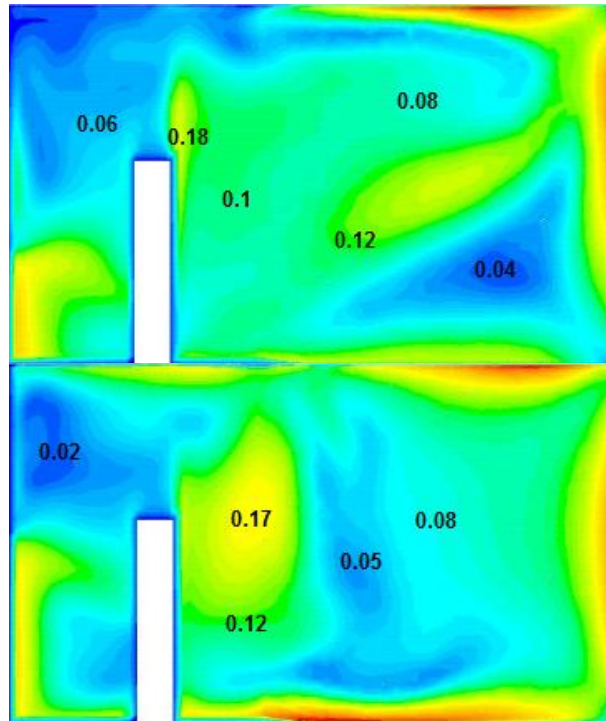
Kişinin orta düzlemindeki hava hızı dağılımları ise Şekil 5'de gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değerleri arttıkça kişinin orta düzlemindeki hava hızı değerleri de artmaktadır. Kişinin bulunduğu hacimdeki ortalama hava hızı değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda 0.088 m/s, giriş hava hızı

değerinin 0.65 m/s olduğu durumda 0.09 m/s, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda 0.093 m/s ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise 0.116 m/s olarak hesaplanmıştır.



(a) 0.55 m/s

(b) 0.65 m/s



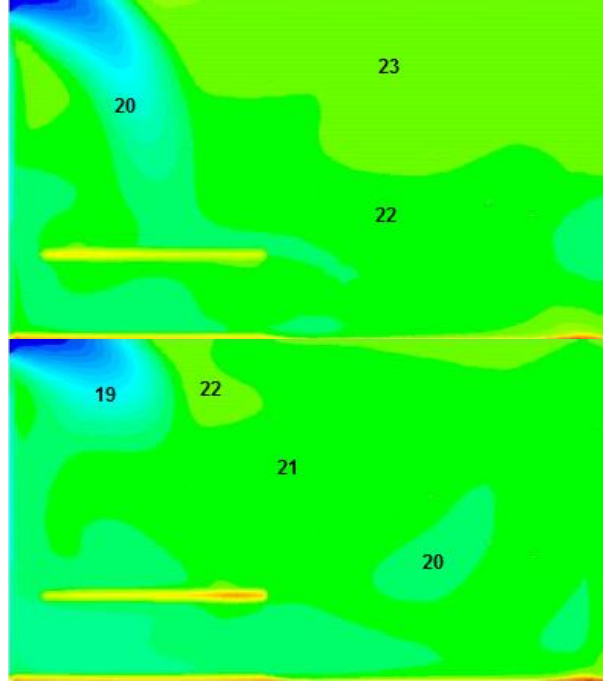
(c) 0.75 m/s

(d) 0.85 m/s

**Şekil 5.** Kişinin Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Hava Hızı Dağılımları (m/s).

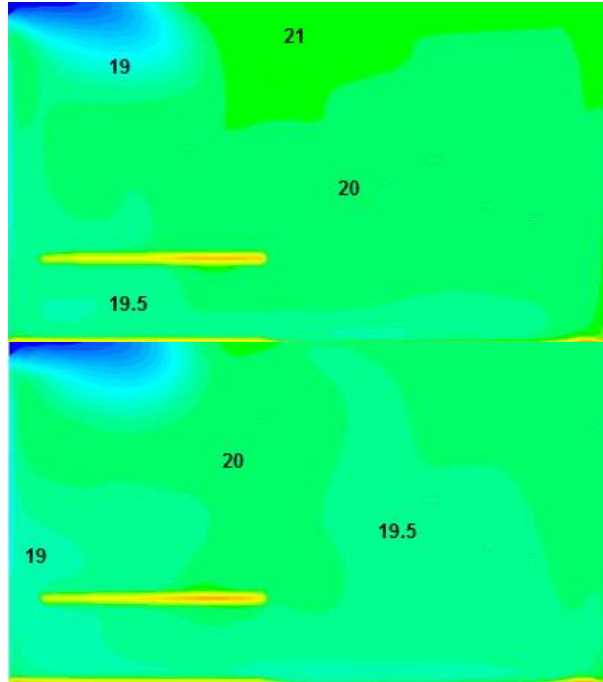
### 3.2. Sıcaklık Dağılımı

Ofis orta düzlemindeki sıcaklık dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değeri arttıkça ofis orta düzlemindeki sıcaklık değerleri azalmaktadır. Ofis hacminin ortalama sıcaklık değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda 22.35 °C, giriş hava hızı değerinin 0.65 m/s olduğu durumda 21.37°C, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda 20.69 °C ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise 20.18 °C olarak hesaplanmıştır.



(a) 0.55 m/s

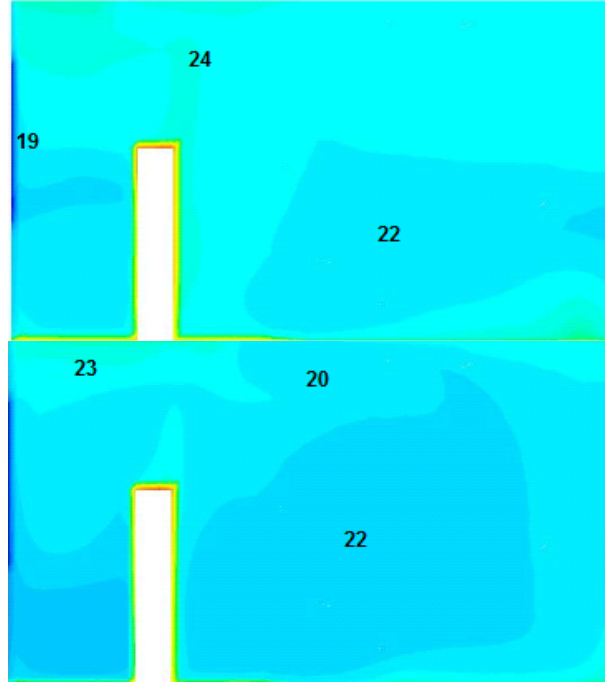
(b) 0.65 m/s



(c) 0.75 m/s

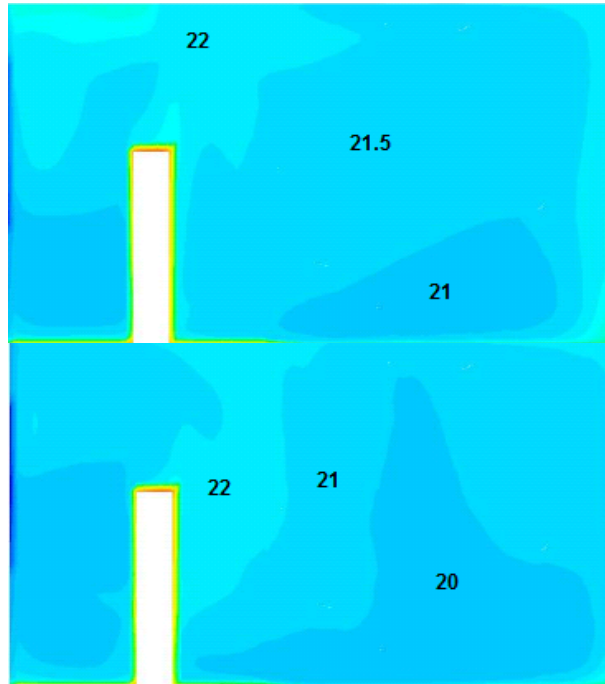
(d) 0.85 m/s

**Şekil 6.** Ofis Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Sıcaklık Dağılımları (°C).



(a) 0.55 m/s

(b) 0.65 m/s



(c) 0.75 m/s

(d) 0.85 m/s

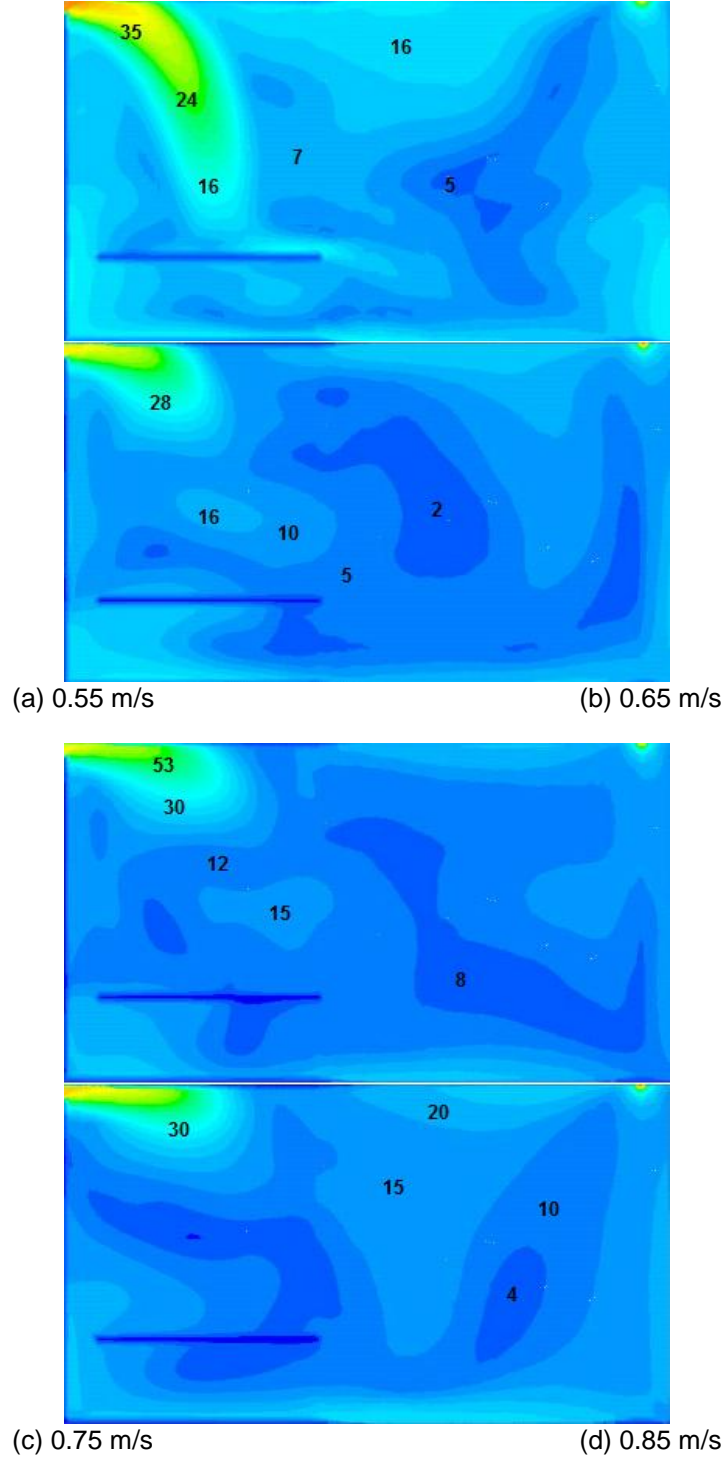
**Şekil 7.** Kişinin Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Sıcaklık Dağılımları (°C).

Kişinin orta düzlemindeki sıcaklık dağılımları Şekil 7’de gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değerleri arttıkça kişi orta düzlemindeki sıcaklık değerleri azalmaktadır. Ofis hacminin ortalama sıcaklık değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda 22.55 °C, giriş hava hızı değerinin 0.65 m/s olduğu durumda 21.48°C, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda 20.85 °C ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise 20.31 °C olarak hesaplanmıştır.



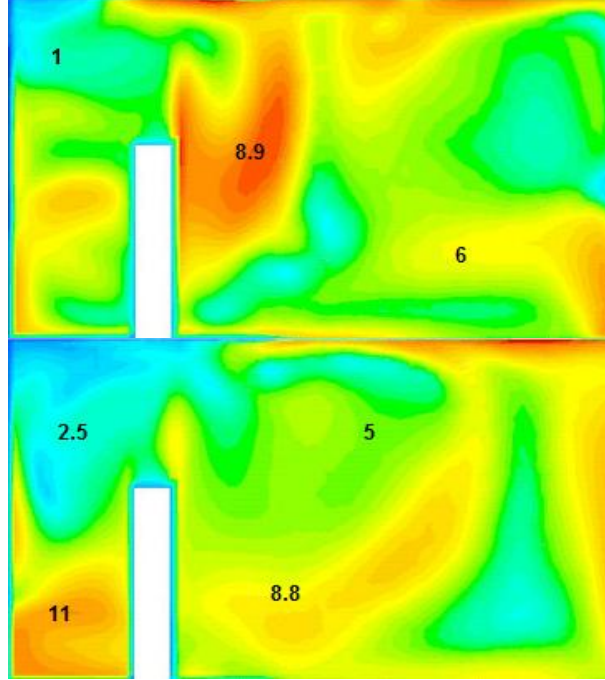
### 3.3. Cereyan Değerleri

Ofis orta düzlemindeki cereyan değerlerinin dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değerleri arttıkça ofis orta düzlemindeki cereyan değerleri artmaktadır. Ofis hacminin ortalama cereyan değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda % 6.24, giriş hava hızı değerinin 0.65 m/s olduğu durumda % 7.08, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda % 7.86 ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise % 9.78 olarak hesaplanmıştır.



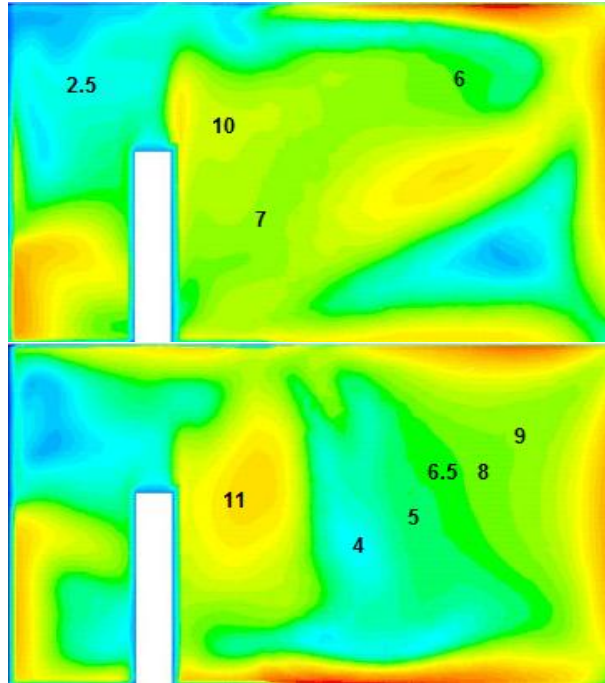
**Şekil 8.** Ofis Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Cereyan Değerlerinin Dağılımı (%).

Ofis orta düzlemindeki cereyan değerlerinin dağılımları Şekil 9'da gösterilmiştir. Girişteki hava hızı değerleri arttıkça ofis orta düzlemindeki cereyan değerleri artmaktadır. Ofis hacminin ortalama cereyan değeri giriş hava hızı değerinin 0.55 m/s olduğu durumda % 5.76, giriş hava hızı değerinin 0.65 m/s olduğu durumda % 6.66, giriş hava hızı değerinin 0.75 m/s olduğu durumda % 6.94 ve giriş hava hızı değerinin 0.85 m/s olduğu durumda ise % 8.84 olarak hesaplanmıştır.



(a) 0.55 m/s

(b) 0.65 m/s

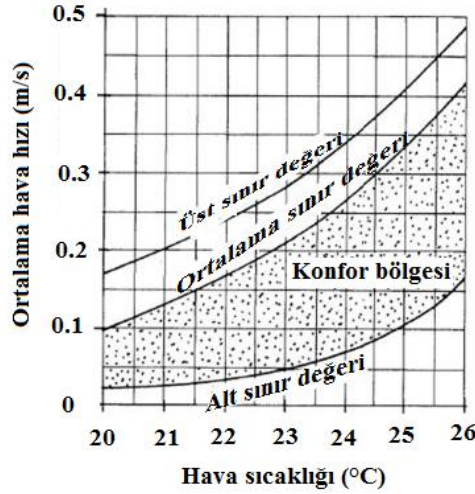


(c) 0.75 m/s

(d) 0.85 m/s

**Şekil 9.** Kişinin Orta Düzleminde Değişik Hava Hızlarına Göre Hesaplanan Cereyan Değerlerinin Dağılımı (%).

DIN 1946 normlarına göre bir ortamdaki hava sıcaklığı ve hızına bağlı olarak bireylerin sağlıklı ve konforlu bir ortamda bulunabilecekleri hava sıcaklığı ve hava hızı değerlerinin kabul edilebilirliği Şekil 10'da gösterilmiştir [16].



Şekil 10. DIN 1946 Normuna Göre Kabul Edilebilir Ortalama Hava Hızı Değerleri.

DIN 1946 normuna göre kabul edilebilir ortalama hava hızı ve sıcaklık değerlerine bakıldığında giriş hava hızının 0.55-0.65 ve 0.75 m/s değerleri olması durumunda ofisin kabul edilebilir konfor bölgesi içerisinde kaldığı ancak giriş hızının 0.85 m/s olduğu durumda ise kabul edilebilir ortalama sınır değerinin yukarısında değerler elde edildiği görülebilmektedir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada içerisinde ayakta durarak çalışan bir kişi bulunan ve yerden ısıtma yapılan bir ofis içerisindeki hız, sıcaklık ve ceryan değerleri değişik hava hızı giriş değerleri alınarak üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile analiz edilmiştir. Hesaplamalarda türbülans modeli olarak RNG k- $\epsilon$  modeli ve doğal taşınım için Boussinesq yaklaşımı kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen hız ve sıcaklık dağılımlarının literatürde bulunan standartlarca belirlenen konfor koşullarını 0.55-0.65 ve 0.75 m/s giriş hava hızı değerleri için sağladığı 0.85 m/s değerindeki giriş hava hızı değeri için ise konfor koşullarının ortalama üst sınırının üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar yardımıyla kişi ile bulunduğu ortam arasındaki ısı ve kütle geçişi bağıntılarını kullanarak ısı konfor modellerinin geliştirilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] HOPPE, P., Martinac, I., "Indoor climate and air quality", Int. Journal of Biometeorol, 42: 1-7, 1998.
- [2] FANGER, P.O., "Human requirements in future air-conditioning environments", International Journal of Refrigeration, 24: 148-153, 2001.
- [3] HAGHIGHAT, F., DONNINI, G., "Impact of Psyc – social Factors on Perception of the Indoor Air Environment Studies in 12 Office Buildings", Building and Environment, 34: 479 – 503, 1999.
- [4] ANONİM, "ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8", Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 29p, 1993.
- [5] ANONİM, "ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 37", Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1993.
- [6] ANONİM, "ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", International Organization for Standardization, Geneva, 1995.

- [7] GAGGE, A.P., Stolwijk, J.A.J., Nishi, Y., "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological response", ASHRAE Transactions, 77, Part 1: 247-262, 1971.
- [8] HUIZENGA, C., HUI, Z., ARENS, E., "A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments", Building and Environment, 36: 691-699, 2001.
- [9] STOLWIJK, J.A.J., HARDY, J.D., "Temperature regulation in man - A theoretical study", Pflugers Archiv Ges. Physiol, 291: 129-62, 1966.
- [10] KAYNAKLI, Ö., ÜNVER, Ü., KILIÇ, M., "Evaluating thermal environments for sitting and standing posture", Int. Comm. Heat and Mass Transfer, 30 (8): 1179-1188, 2003.
- [11] MURAKAMI, S., KATO, S., ZENG, J., "Flow and temperature fields around human body with various room air distribution, Part 1", ASHRAE Transactions, 103: 3-15, 1997.
- [12] MURAKAMI, S., KATO, S., ZENG, J., "CFD analysis of thermal environment around human body", Indoor air '96, 2:479-84, 1996.
- [13] CHEN, Q., "Computational fluid dynamics for HVAC: successes and failures", ASHRAE Transactions, 103(1):178-87, 1997.
- [14] MURAKAMI, S., KATO, S., ZENG, J., "Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body", Building and Environment, 35:489-500, 2000.
- [15] KILIÇ, M., SEVILGEN, G., "Modeling airflow, heat transfer and moisture transport around a standing human body by computational fluid dynamics", Int. Comm. Heat and Mass Transfer, 35(9):1159-1164, 2008.
- [16] DIN 1946, "Ventilation and air conditioning; Part 2-Technical health requirements", DIN, Berlin, 1994.

## ÖZGEÇMİŞ

### M. Özgün KORUKÇU

Dr. Mehmet Özgün KORUKÇU, 1979 yılında Ankara'da doğmuştur. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamlayarak 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2004 yılında aynı bölümdeki Enerji Bilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başlamış, 2005 yılında "Bir Kombine Güç Santralindeki Isıl Sistemlerin Sonlu Zaman Termodinamiği Analizi" isimli yüksek lisans çalışması ile Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Korukçu, 2010 yılında "Otomobil Kabininde Termal Parametrelerin ve İç Hava Kalitesinin Değişiminin Deneysel Ölçümlerle İncelenmesi" konulu çalışması ile doktor ünvanını almıştır. Danimarka Teknik Üniversitesi Rüzgar Enerjisi Bölümünde doktora sonrası çalışmasını tamamlayarak 2012 yılının ağustos ayında Türkiye'ye dönen Korukçu halen Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümündeki görevini sürdürmektedir.

### Mustafa Kemal İŞMAN

1979 Samsun doğumlu olan Mustafa Kemal İşman, ilk ve orta eğitimini Samsun'da tamamladı. Uludağ Üniversitesinden Makine Mühendisliği alanında, Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini sırasıyla 2001, 2005 ve 2011 tarihlerinde aldı. 2002-2011 tarihleri, arasında Uludağ Üniversitesinde Araştırma Görevlisi, 2011-2012 tarihleri arasında ise Ondokuz Mayıs Üniversitesinde öğretim üyesi olarak görev yaptı. Isı ve Kütle Transferi Uygulamaları, CFD ve Tesisat Uygulamaları konularında çalışmaları olan yazar, halen Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümündeki görevini sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

### Bilsay PASTAKKAYA

1982 yılında Bursa'da dünyaya geldi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2005 yılında Yüksek Lisans, 2012 yılında Doktora eğitimini tamamladı. 2010 yılında University of South Florida-Clean Energy Research Center'dan aldığı davet üzerine, bu kurumda absorpsiyonlu sistemler konusunda araştırma çalışmalarına katılmıştır. 2005 yılından beri Uludağ Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmakta ve araştırma konuları ile ilgili yerli ve yabancı kuruluşlara teknik danışmanlık hizmeti vermektedir.