

ALTTAN ISITMA SİSTEMİNİN KULLANILDIĞI BİR OFİS ODASINDA ISIL KONFOR VE İÇ HAVA KALİTESİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Numerical Investigation of Thermal Comfort and Indoor Air Quality In A Office Room Using Floor Heating System

Bahadır Erman YÜCE
Erhan PULAT

ÖZET

İklimlendirme sistemleri dünya enerji tüketiminde %40'lık bir paya sahiptir. Bu sistemler ofis odalarında yaygın olarak kullanılmakta ve performanslarının çalışanların üretkenliğine doğrudan etki ettiği bilinmektedir. Bu çalışmada alttan ısıtma ile ısıtılan bir ofis odasında nefes alıp veren bir termal manken modeli yardımı ile hava dağılımı, karbondioksite bağlı iç hava kalitesi ve ısı konfor sayısal olarak araştırılmıştır. Ofis odası geometrisi için Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ofislerinden birinin ölçüleri kullanılmıştır. Oda içerisindeki akış üç boyutlu, zamana bağlı, türbülanslı, çok fazlı (Mixture) ve sıkıştırılabilir (ideal gaz yaklaşımı) olarak kabul edilmiştir. Scalable Wall Function yaklaşımıyla Standard k-e türbülans modeli kullanılmıştır. Korunum denklemleri Ansys-Fluent 18.0 yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Isıl konfor PMV (predicted mean vote), PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) ve PD (Percent Dissatisfaction) ile ifade edilmiştir. Ofis odasının tanımlanan sınır şartlarına göre ısı konforu ve iç hava kalitesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alttan ısıtma, İç hava kalitesi, Isıl konfor, Türbülans, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

ABSTRACT

Air conditioning systems use about 40% of global energy. These systems are widely used in office rooms and it is known that their performance directly affects the productivity of employees. In this study, air distribution, , indoor air quality based on carbondioxide and thermal comfort are investigated numerically by using a breathing thermal mannequin model in an office room which is heated by underfloor heating. For office room geometry, the measurements of one of the faculty member offices of Uludag University Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering is used. The air flow in the room is considered as three-dimensional, time-dependent, turbulent, multiphase and compressible (ideal gas approach). Standard k-e turbulence model is used with Scalable Wall Function. Conservation equations were solved using the Ansys-Fluent 18.0 software. Thermal comfort is indicated by PMV (Predicted Mean Vote), PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) and PD (Percent Dissatisfaction). Thermal comfort and indoor air quality were examined according to the defined boundary conditions of the office room.

Key Words: Floor heating; Indoor air quality, Thermal comfort, Turbulence, Computational fluid dynamics.

1. GİRİŞ

Binalar, Birleşmiş Milletler Çevre Programı verilerine göre [1] küresel enerjinin yaklaşık % 40'ını, suyun % 25'ini, kaynakların ise % 40'ını kullanmaktadır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik yatırımlarsa, kısa vadeli yatırım getirisi sağlayarak artan maliyetleri dengelemeye yardımcı olur, doğrudan ve dolaylı tasarruflar sağlar. Binalarda havalandırma, enerji tüketiminde önemli bir role sahiptir. Buna ek olarak, bina içerisindeki çalışanların üretkenliği ve verimliliği termal çevrenin koşullarıyla ilişkilidir [2][3].

İklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin ana amacı, temiz havanın sağlanması ve iç mekan hava şartlarının düzenlenmesidir [4]. Oda havalandırması, farklı dağıtım sistemlerine göre sınıflandırılabilir. Havalandırma, doğal, karışım ve deplasmanlı havalandırma olarak sınıflandırılabilir. Karışım ve deplasmanlı havalandırma türleri yaygın olarak kullanılan havalandırma türleridir. CFD simülasyonları ve ölçümler, deplasmanlı havalandırmanın bir karıştırma sisteminden daha enerji verimli olduğunu göstermektedir [5]. Geleneksel karışım sistemlerinin havalandırma verimliliği ve enerji verimliliği düşük olmasına rağmen, halen pazarın büyük bir bölümünde yer edinmektedir.

Binalardaki havalandırma sistemleri Awbi [6] tarafından tartışılmış ve özetlenmiştir. Havalandırılan hacimlerin bazı bölgelerinde hız düşük değerlerde olmasına rağmen, sistemde hava akışı genellikle mekanik üfleme sistemi nedeniyle türbülanslıdır.

İç mekan havasına karışan kirleticiler, binadaki insanların sağlığını etkileyebilecek olan, havada bulunan parçacıklar, damlacıklar veya diğer benzer maddeler olarak kabul edilebilir. Son yıllarda, farklı iç mekan ortamlarındaki kirletici madde ve parçacıkların dağılımını incelemek için hem deneysel hem de sayısal bir çok araştırma yapılmıştır [7][8][9]. Bununla birlikte, farklı solunum aktiviteleri sırasında ortaya çıkan patojenleri içerebilecek parçacıkların yayılması, araştırmacılar arasında ilgi çekmiştir. Bu parçacıklar havada yayılabilmekte ve diğer insanlar için enfeksiyon riski oluşturabilmektedir. Bu nedenle, solunum esnasında verilen havadaki partiküllerin büyüklüğü, sayısı ve dağılımı hakkında birçok araştırma yapılmıştır [10][11].

HAD, hem havalandırılmış alanlarda [12] havanın hareketini ve hem de solunum sonucu atılan kirletici parçacıkların havadaki dağılımını tahmin etmek için güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir [13].

Bu çalışmada alttan ısıtma sisteminin kullanıldığı ve küçük bir kapı aralığı dışında hava akışı olarak neredeyse izole edilmiş bir ofis hacminde ısı konfor ve karbondioksit bağılı iç hava kalitesi sayısal olarak incelenmiştir.

2. METERYAL VE METOT

Çalışma için Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi ofislerinden birinin ölçüleri kullanılmıştır. Odanın detayları ölçüleri Şekil 1. de gösterilmiştir. Oda içerisinde oturan bir manken modellenmiştir. Mankenin arkasında ise bir pencere ve pencerenin altında bulunan mermer çıkıntı modele eklenmiştir. Şekil 1.a'da manken yüzünde gösterilen dikdörtgen yüzey ise nefes alıp verme eylemi için kullanılacaktır. Şekil 1.b'ye göre odanın sağ alt kenarında 15mm yüksekliğinde bir kapı aralığı bulunmaktadır. Bu aralık aynı zamanda çıkış olarak tanımlanmıştır. Şekil 1. d'de ise oda üzerinde bulunan on iki adet floresan lamba gösterilmektedir. Çalışmada lambalar ve diğer tüm yüzeyler sabit sıcaklık sınır şartı ile tanımlanmıştır. Akış mükemmel gaz yaklaşımı ile sıkıştırılabilir kabul edilmiştir.

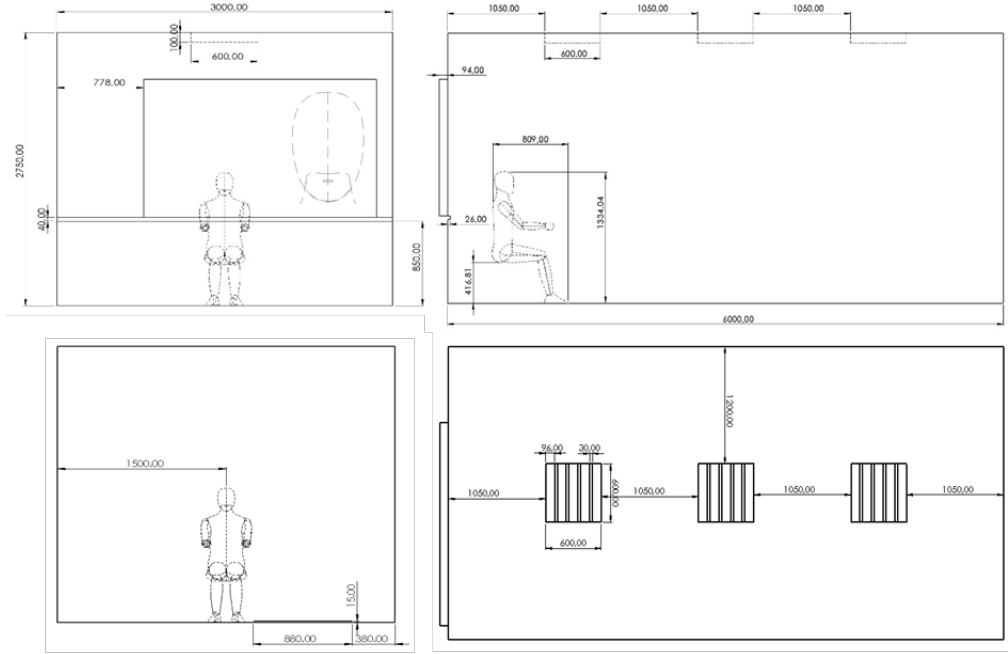
Manken üzerinde sıcaklık 33.7 °C olarak tanımlanmış olup tabanda 26 °C, duvarlar ve mermer yüzeyde 18 °C, pencere de 15 °C, lambalar üzerinde 60 °C ve verilen nefes için ise 34.5 °C'dir.

Nefes alıp verme eyleminin tamamlanması için Denklem 1. kullanılmıştır. Denklemde t zamanı ifade etmektedir.

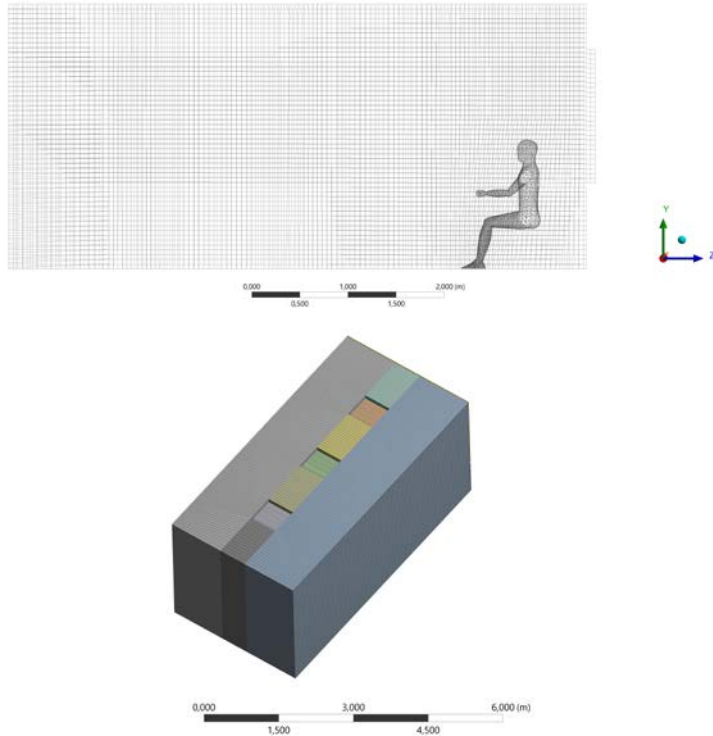
$$V_{\sin} = 4.5 * \sin(1.79*t)$$

(1)

Bu denkleme göre maksimum 4.5 m/s ve frekans ise $f = 1.79/2\pi$ s⁻¹'dir. Kullanılan denklem daha önce yapılmış deneysel ve nümerik çalışmalarla [14] doğrulanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan odanın geometrik özellikleri.



Şekil 2. Kullanılan yapılandırılmış ağ yapısı

Yapılandırılmış bir ağ yapısı oluşturmak için geometri alt parçalara bölünmüştür ve Şekil 2'de bu yapı gösterilmiştir. Manken etrafındaki bölgeye tetrahedral elemanlar atanmış olup geometrinin geri kalan kısmına ise hexahedral elemanlar atanmıştır. Böylece eleman sayısı azaltılmış ve yapılan ağdan

bağımsızlık çalışmaları sonucunda nihai olarak 789412 elemana sahip yapıda çalışmalar sürdürülmüştür.

Çalışma zamana bağlı olduğundan hesaplama maliyeti de yüksek olmaktadır. Bu sebeple gerek literatürdeki sık kullanımı ve pek çok doğrulama çalışmasının yapılmış olması sebebi ile Standard k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Manken gövdesindeki karmaşık yüzeylerden dolayı uygun y+ değerlerini elde etmenin hesaplama yükü göz önünde alındığında daha pratik olması sebebiyle cidarlarda Scalable Wall Function kullanılmıştır.

Akış çok fazlı (Mixture) olarak tanımlanmıştır. Başlangıç durumunda odada yalnızca oksijen bulunurken, denklem 1. de ifade edilmiş olan sıklıkta nefes alıp verme sırasında odaya karbondioksit verilmektedir. Zamana bağlı çözüm 0.01 zaman adımıyla otuz dakika için çözülmüştür. Yakınsama kriteri için ise 10^{-4} değeri baz alınmış ve her bir zaman adımıyla bu değere ulaşılmıştır.

Yapılan simülasyonlarda hedef çıktı olarak konfor değerlendirmesi yapılacağından PMV, PPD and PD değerleri tüm zaman adımlarında her bir nokta için bulunmuş ve kontur olarak ifade edilmiştir. Bu işlem için Ansys Fluent programına ek işlevler kazandıran UDF (User Defined Function) dosyaları hazırlanmıştır. Nefes alma işlemi için de aynı eylem yapılmıştır.

PMV, insan vücudunun ısı dengesine dayanarak, büyük bir grup insanın Tablo 1’de gösterilen 7-noktalı ısı duyarlılık ölçeğindeki oylarının ortalama değerini öngören bir endekstir. Vücuttaki iç ısı üretimi ile çevreye olan ısı kaybı eşit olduğunda ısı dengesi elde edilir. Dengeli bir ortamda, insan ısı duyarlılık sistemi, ısı dengesini korumak için cilt sıcaklığını ve ter salgısını değiştirmeye çalışacaktır [15].

Tablo 1. Yedi noktalı PMV ölçeği

+3	Çok Sıcak
+2	Sıcak
+1	Ilık
0	Nötr
-1	Serin
-2	Soğuk
-3	Çok Soğuk

$$PMV = \left[0.303e^{-0.036M} + 0.028 \right] \left\{ (M - W) - 3.96E^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) - 3.05 \left[5.73 - 0.007(M - W) - p_a \right] - 0.42 \left[(M - W) - 58.15 \right] - 0.0173M(5.87 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.0 + 1.29l_{cl} & l_{cl} \leq 0,078m^2 \\ 1.05 + 0.645l_{cl} & l_{cl} > 0,078m^2 \end{cases} \quad (3)$$

$$R_{cl} = 0.155l_{cl} \quad (4)$$

$$h_c = 12.1(V)^{1/2} \quad (5)$$

PMV, aynı çevreye maruz kalan büyük bir grup insanın konfor oylarının ortalama değerini tahmin eden bir endekstir. Bireysel oylar bu ortalama değerin etrafına dağılmıştır ve kendilerini rahatsız edici bir şekilde sıcak ya da soğuk hissedebilecek insanların sayısını tahmin edebilmek için kullanışlıdır.

PPD, kendilerini aşırı sıcak ya da aşırı sıcak hisseden termal olarak tatminsiz insanların yüzdesinin nicel bir tahminini yapan bir endekstir. Bu değere göre ısı olarak konforsuz hisseden insanlar, Tablo



1'de verilen 7 noktalı ısı algılama ölçeğinde sıcak, çok sıcak, soğuk veya çok soğuk oy verecek olanlardır.

$$PPD = 100 - 95e^{-\left[0.3353PMV^4 + 0.2179PMV^2\right]} \quad (6)$$

e	Euler's number (2.718)
fcl	Giysi Faktörü
hc	Konvektif ısı transfer katsayısı
lcl	Giysi Yalıtımı [clo]
M	Metabolizma hızı [W/m ²]
pa	Havanın buhar basıncı [kPa]
Rcl	Giysi ısı yalıtımı
ta	Hava sıcaklığı [°C]
tcl	Giysi yüzey sıcaklığı [°C]
tr	Ortalama radyant sıcaklık [°C]
V	Hava hızı [m/s]
W	İş (kabul edilen = 0)

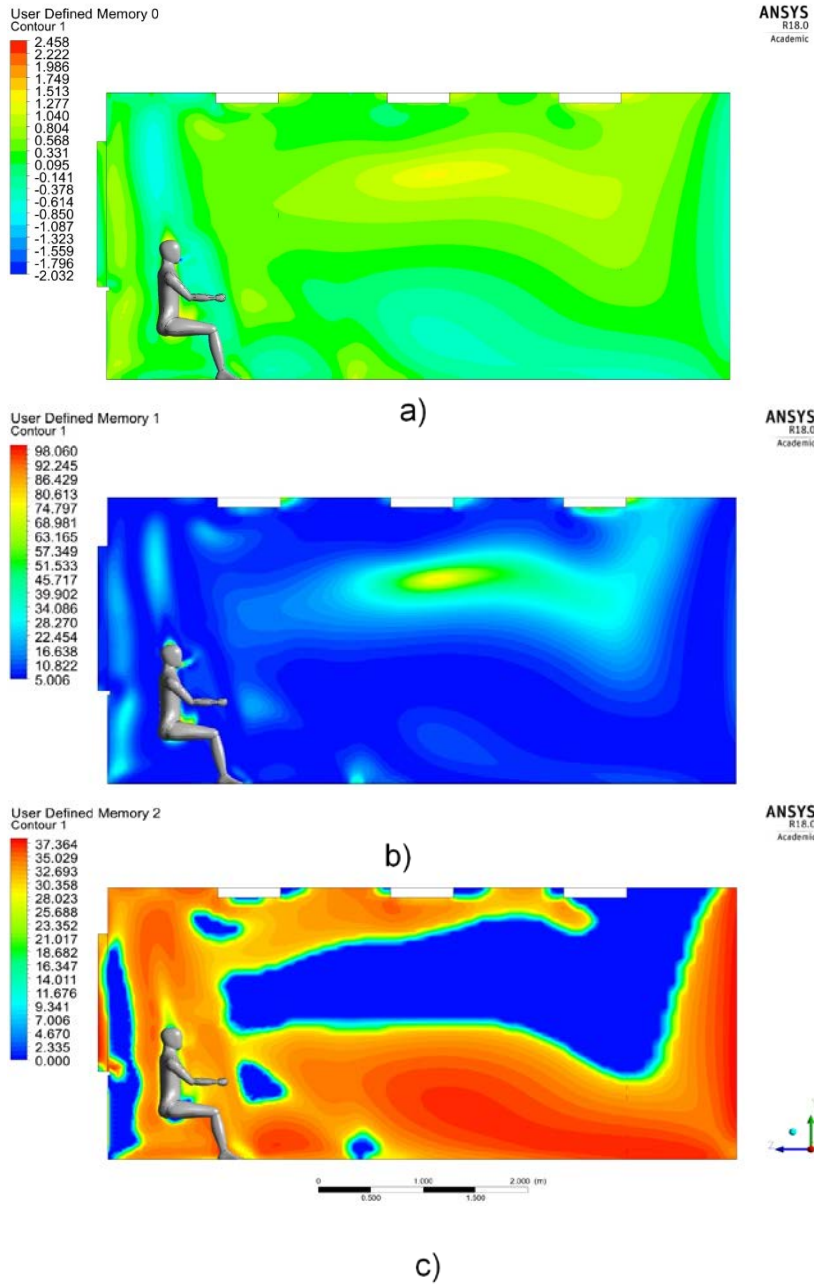
Cereyan, hava hareketinin neden olduğu insan vücudundaki istenmeyen lokal soğumadır. Cereyan sadece binalarda değil, otomobillerde, trenlerde ve uçaklarda da ciddi bir sorundur. Ofis ortamında en büyük havalandırma problemlerinden biridir. Havalandırma sisteminin cereyana sebep olması daha fazla sıcaklık veya havalandırma sisteminin durdurulması talebine sebep olur. Fanger ve ark. [16], türbülans şiddetinin cereyan hissi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Türbülans şiddeti, Denklem 7.'de gösterilmiştir ve cereyan hissini önemli ölçüde etkilemektedir.

$$PD = (34 - t_a)(V - 0.0)^{0.62}(0.37Tu + 3.14) \quad (7)$$

PD'nin %100'den büyük olması durumunda PD değeri 100'e eşitlenir. Hız değerinin ise 0.05'ten küçük olması durumunda, hız 0.05'e eşitlenir [17].

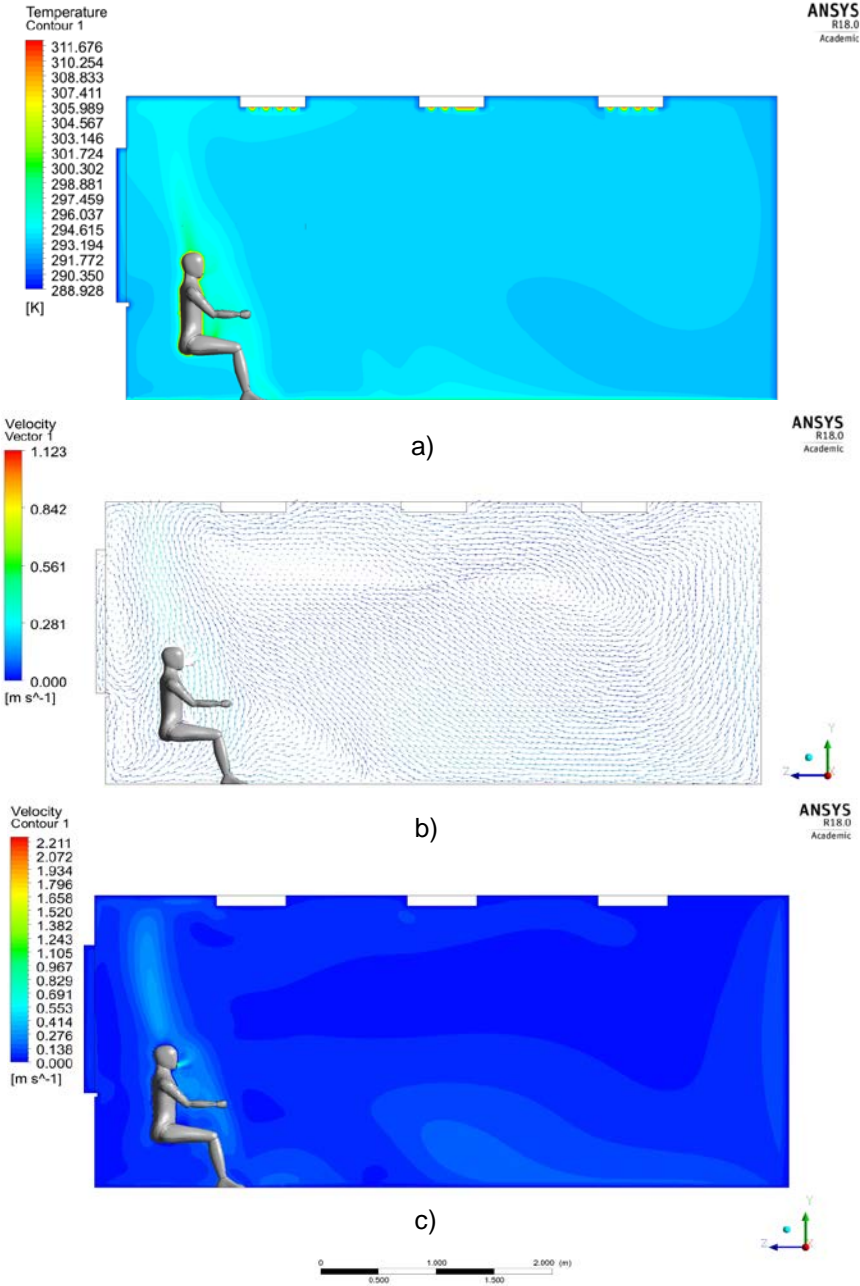
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan sayısal çalışma sonucunda elde edilen konfor verileri Şekil 3'te kontur olarak ifade edilmiştir. Şekil 3.a'da PMV verileri gösterilmiş olup odanın büyük bir çoğunluğunun yaklaşık nötr veya sıcak olarak tanımlandığı görülmektedir. Soğuk veya serin olarak hissedilen bölge sayısı ise çok azdır. En düşük PMV değeri cama ve soğuk duvara yakın bölgelerde görülmektedir ve sebebi sabit sıcaklık sınır şartıdır.



Şekil 3. 30. dakikada a) PMV sonuçları b) PPD sonuçları c) PD sonuçları

Şekil 3b'de PPD sonuçları yer almaktadır. Otuz dakikanın ardından odadaki hacmin büyük bir kısmı %5 ile %10 arasında PPD değerine sahiptir ve genel olarak kabul edilebilir düzeydedir. Şekil 3.c'de ise cereyan veya diğer bir ifade ile PD değerleri gösterilmektedir. PD değerleri Şekil 4c'de gösterilen hız sonuçları ile tutarlı olup hızın yüksek olduğu yerlerde %37 değerine kadar çıkarken düşük olduğu yerlerde sıfır değerini almaktadır. En yüksek değerler ısınan havanın yoğunluğunun düşmesi sonucunda yükselmesine sebep olan sıcak yüzeyler etrafında görülmektedir. Taban sıcaklığının ortama göre yüksek olması sebebi ile etraflarındaki hava da yukarı doğru hareket etmekte ve hız kazanmaktadır. Fakat hızın yükselmesine en büyük etkenin doğal taşınım olması ve bu etkinin diğer parametrelere nazaran düşük olması ile PD değerleri de yüksek değildir. Bu bağlamda da oda içerisinde ki ısı ortamının konforlu olduğu çıkarımı yapılabilir.



Şekil 4. 30. dakikada **a)** Sıcaklık sonuçları **b)** Hız sonuçları (vektör) **c)** Hız sonuçları (kontur)

Şekil 4'te hız ve sıcaklık sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4a'da manken etrafındaki sıcaklık verileri incelendiğinde değerlerin yaklaşık olarak 26-32 °C arasında olduğu görülmektedir. Otuz dakikalık bir sürenin ardından oda hacmi sıcaklığının büyük bir çoğunluğu yaklaşık olarak 22 °C'dir. Şekil 4b-c'de ise hız verileri gösterilmektedir. Hız değerleri yalnızca doğal taşınımına bağlı olduğundan bu sebeple genel olarak düşük hız değerleri söz konusudur.

SONUÇ

Bir ofis odasındaki hava akışı, sıcaklık, hız, PMV, PPD ve PD dağılımları termal konforu yorumlamak adına, hafif kış koşulları için nümerik olarak hesaplanmıştır. Bu amaçla Standard k-ε türbülans modeli Scalable duvar yaklaşımı ile birlikte, gerek yaygın kullanımı gerekse doğrulama çalışmalarındaki başarısı sebebiyle kullanılmıştır. 26 °C'lik taban sıcaklığı ile alttan ısıtmanın yapıldığı çalışmada, oda içerisinde konforlu bir sıcaklık hacmi elde edilmiştir. Manken etrafındaki hava sıcaklığı 26-32 °C arasında değişmektedir. PMV değerleri incelendiğinde oda içerisinde genellikle nötr hissi uyandıran 0 değerinin etrafında salınım yaptığı görülmektedir. PPD endeksinde ise değerler % 0-10 arasında değişmekte ve makul bir aralıktadır. Düşük hıza ve makul oda sıcaklığına bağlı olarak PD değerleri de genel olarak düşüktür ve odada cereyan kaynaklı bir hava hareketinden memnuniyetsizlik yaşama riski çok düşüktür. Bu sonuçlara dayanarak oda içinde konforlu bir alanın oluştuğu yorumu yapılabilir. Otuz dakikanın ardından nefes alıp verme eylemi sonucunda odada toplam 0.224273 kg CO₂ birikmiştir. Oda içerisinde, kış mevsimi koşulları göz önüne alındığında, pencerenin açılması her zaman mümkün olmayacağından taze hava miktarı zaman içerisinde azalacaktır. Bu sebeple iç mekan tasarımında taze hava girişinin konfor parametrelerine uygun olarak sağlanması önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] UNEP United Nations Environment Programme Sustainable Buildings and Climate Initiative, "Why Buildings," 2017. [Online]. Available: <http://staging.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>. [Accessed: 30-Jun-2017].
- [2] T. Akimoto, S. ichi Tanabe, T. Yanai, and M. Sasaki, "Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 1, pp. 45–50, 2010.
- [3] S. Tanabe, M. Haneda, and N. Nishihara, "Workplace productivity and individual thermal satisfaction," *Build. Environ.*, vol. 91, pp. 42–50, 2015.
- [4] J. Niu, N. Gao, M. Phoebe, and Z. Huigang, "Experimental study on a chair-based personalized ventilation system," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 2, pp. 913–925, 2007.
- [5] H. B. Awbi, "Energy efficient room air distribution," *Renew. Energy*, vol. 15, no. 1–4, pp. 293–299, 1998.
- [6] H. B. Awbi, "Ventilation for Good Indoor Air Quality and Energy Efficiency," in *Energy Procedia*, 2017, vol. 112, pp. 277–286.
- [7] Y. Xu, X. Yang, C. Yang, and J. Srebric, "Contaminant dispersion with personal displacement ventilation, Part I: Base case study," *Build. Environ.*, 2009.
- [8] J. M. Villafruela, I. Olmedo, M. Ruiz de Adana, C. Méndez, and P. V. Nielsen, "CFD analysis of the human exhalation flow using different boundary conditions and ventilation strategies," *Build. Environ.*, 2013.
- [9] J. K. Gupta, C. H. Lin, and Q. Chen, "Characterizing exhaled airflow from breathing and talking," *Indoor Air*, 2010.
- [10] X. Xie, Y. Li, A. T. Y. Chwang, P. L. Ho, and W. H. Seto, "How far droplets can move in indoor environments - revisiting the Wells evaporation-falling curve," *Indoor Air*, 2007.
- [11] J. K. Gupta, C. H. Lin, and Q. Chen, "Transport of expiratory droplets in an aircraft cabin," *Indoor Air*, 2011.
- [12] P. V Nielsen, "Computational fluid dynamics and room air movement.," *Indoor Air*, vol. 14 Suppl 7, no. Suppl 7, pp. 134–43, 2004.
- [13] A. S. Berrouk, A. C. K. Lai, A. C. T. Cheung, and S. L. Wong, "Experimental measurements and large eddy simulation of expiratory droplet dispersion in a mechanically ventilated enclosure with thermal effects," *Build. Environ.*, 2010.
- [14] J. M. Villafruela, I. Olmedo, M. Ruiz de Adana, C. Méndez, and P. V. Nielsen, "CFD analysis of the human exhalation flow using different boundary conditions and ventilation strategies," *Build. Environ.*, vol. 62, pp. 191–200, 2013.
- [15] ISO, "ISO 7730: 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," *Management*, vol. 3, pp. 605–615, 2005.



- [16] P. O. Fanger, A. K. Melikov, H. Hanzawa, and J. Ring, "Turbulence and draft," *ASHRAE J.*, vol. 31, no. 4, 1989.
- [17] A. Standard, "ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals (SI Edition)," *Ashrae Stand.*, pp. 24–25, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır Erman YÜCE

1991 yılında Erzurum'da doğdu. 2008-2012 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2015 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimini tamamlayıp akabinde Doktora eğitimine başlamıştır. 2013 yılında başladığı Araştırma görevliliği görevini Uludağ Üniversitesinde sürdürmektedir.

Erhan PULAT

1963 yılında Bursa'da doğan Erhan PULAT ilk ve orta öğrenimini Bursa'da tamamladıktan sonra 1988 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Lisans, Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden de Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini sırasıyla 1991 ve 1997 yıllarında almıştır. Termodinamik, enerji, ısı transferi, elektronik sistemlerin soğutulması ve hesaplamalı ısı transferi konularında çalışan Erhan PULAT evli ve iki kız babasıdır.