



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

BİR OFİS ODASINDAKİ TERMAL AKIŞIN KIŞ ŞARTLARINDA SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

**BAHADIR ERMAN YÜCE
ERHAN PULAT
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**

BİR OFİS ODASINDAKİ TERMAL AKIŞIN KIŞ ŞARTLARINDA SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Numerical Investigation of Thermal Flow in an Office Room in Winter Conditions

Bahadır Erman YÜCE
Erhan PULAT

ÖZET

Bu çalışmada bir ofis hacmi içerisindeki hava akışı, sıcaklık ve türbülans kinetik enerjisi dağılımları havalandırma verimliliğini tahmin edebilmek adına incelenmiştir. Oda duvar tipi bir klimayla kış koşulları dikkate alınarak ısıtılmıştır. Akış türbülanslı, sürekli, sıkıştırılmaz ve üç boyutludur. Korunum denklemleri hesaplamalı akışkanlar dinamiği (had) kodu olan Ansys-Fluent ile çözülmüştür. İlk olarak, standart k-ε (Std. k-ε) türbülans modeli ve standart duvar fonksiyonu yaklaşımı ile ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır ardından beş farklı Reynolds Avaraged Navier-Stokes (RANS) tabanlı iki denklemlerli türbülans modeli ve yakın duvar yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Daha sonra elde edilen bu sonuçlar oda havalandırması çalışmalarında iyi bilinen Annex20 odasından elde edilmiş deneysel verilerle doğrulanmıştır. k-ε tabanlı tüm modellerin benzer sonuçlar vermesine rağmen Std. k-ε modeli ve std. Duvar yaklaşımı sık kullanımı ve nümerik robustluğundan dolayı tercih edilmiştir. Hesaplamalar üç farklı giriş hızı (1.5, 2.0, and 3.0 m/s) ve üç farklı giriş sıcaklığını içeren dokuz farklı durum için yapılmıştır (298, 300, and 303 K). Elde edilen bulgularla havalandırma giriş şartlarının havalandırma verimliliği ve ısı konfor üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Oda Havalandırması, Isıl Konfor, Türbülans, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, HVAC

ABSTRACT

In this study, airflow, temperature and turbulence kinetic energy distributions in an office room were investigated in order to estimate ventilation efficiency. The room was heated with a split type air-conditioner considering the winter conditions. The flow is turbulent, continuous, incompressible and three-dimensional. The conservation equations are solved with Ansys-Fluent, which is the code for the Computational Fluid Dynamics (CFD). First, a mesh independency study was conducted by using the standard k-ε (Std. K-ε) turbulence model and the standard wall function approach. Then five different Reynolds Avaraged Navier-Stokes (RANS) based two-equation turbulence models and close wall approaches were compared. These results, which had obtained, were confirmed by the experimental data obtained from room Annex 20, which is well known in room ventilation studies. Although all models which are k-ε based, gives similar results. Std. K-ε model and std. wall approach are preferred because of its frequent use and numerical robustness. The calculations were made for nine different conditions with three different inlet velocities (1.5, 2.0, and 3.0 m / s) and three different inlet temperatures (298, 300, and 303 K). With the results obtained, the ventilation efficiency and the effect on the thermal comfort of the ventilation inlet conditions were tried to be determined.

Anahtar Kelimeler: Room Ventilation, Thermal Comfort, Turbulence, Computational Fluid Dynamics, HVAC

1.GİRİŞ

Binalar, birleşmiş milletler çevre programının belirttiği üzere küresel enerjinin yaklaşık% 40'ını kullanır ve sera gazı emisyonunun 1/3 'ini yayarlar. Bu durum binaları en önemli tüketici haline getirir ve enerji tasarrufu çalışmalarında dikkatin bu alana yönelmesini sağlar. Bununla birlikte, binalardaki enerji tüketimi, etkisi kanıtlanmış teknolojiler kullanılarak % 30-80 oranında azaltılabilir [1]. Bu teknolojilerin bina verimliliğini arttırmaya etkisi, Hesaplamalı akış dinamiği gibi matematiksel teknikler kullanılarak daha da geliştirilebilir.

Gilani ve ark.'nın (2016) yaptıkları çalışmada elde edilen sonuçlar, SST k- ω modeline sahip bir çözücüde kapalı bir ortamdaki sıcaklık dağılımını doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, yaygın olarak kullanılan türbülans modellerinde, üç k- ϵ modeli (Standard, Realizable, RNG) açıkça başarısız olurken sadece SST k- ω modeli ve standart k- ω modeli termal yapısını ve ilgili termal dağılımın deneysel verilerle tutarlı bir şekilde elde edilmesinde başarılı olmuştur. Buna ek olarak, yakınsama kriterlerinin, tahmin edilen hava yaşı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. [2]

Me'ndez ve ark. (2008), yeni bir tasarıma sahip iki yataklı bir hastane odasının mimari tasarımını havalandırma açısından hasta mahremiyetinden feragat etmeden optimize etme amaçlı bir çalışma yürütmüştür. Elde ettikleri sonuçlar, geometrideki küçük modifikasyonların havalandırma akış modelinin etkinliğinde büyük gelişmeler sağlayabileceğini açıkça göstermektedir. Öncelikle en kolay çözüm gibi görünen iki hava girişinin kullanılması veya perdelerin kaldırılmasının, son derece rahatsız ve pahalı olduğunu belirtmişlerdir. HAD'ın, diğer metodlardan daha basit ve daha ucuz bir çözüm sunduğunu belirtmişlerdir. Kapatılan alanların geometrisi ve mobilya varlığı, hava akışı yapısının yanı sıra ortalama hava yaşını modifiye ettiği için, genel standartların oluşturulmasının zor olduğu ifade etmişlerdir. Bu, her somut durumun bireysel olarak incelenmesi gerektiği anlamına gelir. [3]

HAD, akış yapısını, ısı transferini ve kimyasal tür taşınımının (chemical species transport) belirlenmesine yardımcı olmak için oda içi ortam koşullarının analizinde ve ayrıca diğer HVAC & R uygulamalarının geniş bir yelpazesinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda, bina çevresel tasarımını optimize etmek, binada kullanılan mekanik sistemlerin başlangıç ve işletme maliyetlerini düşürmek ve bina sakinlerinin verimliliğini arttırmada da kullanılmıştır. Hesaplama gücü ve ticari CFD yazılımlarında son yıllardaki ilerlemeler, bu aracı kullanmaya başlamayı mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, CFD'yi kullanma kararı, performansı, maliyeti ve gayreti ile ilgili gerçekçi beklentilere sıkı sıkıya bağlı olmayı da gerektirmektedir.

CFD'nin kullanılması, kesin sonuçların elde edilmesini garanti etmez. Doğrulama yönü, problemin ilgili fiziki kabullerin doğru bir şekilde ele alındığından emin olmak için gereklidir. Onaylama yönü, CFD kullanıcısının deneysel verilerin ya da güvenilir yarı ampirik korelasyonların bulunduğu problemleri başarıyla modelleyebildiğini göstermek için gereklidir. Raporlama yönü, CFD kullanıcılarının analizini nasıl yapıldığı ve sonuçların ne olduğu hakkında ilgili diğer insanlarla iletişim kurması için gereklidir [4].

Binalarda geliştirilmiş iç mekan, hava kalitesi ve ısı konfor ihtiyacı binalarda hava akımı daha iyi anlaşılmasına yol açmıştır. Hava akım hızının büyüklüğü ve bir binadaki hava akışı yolu önemli kabul edilir. Bir binadaki hava akışı doğrusal olmayan denklemler tarafından yönetilir.

Bina havalandırması, kaynak kontrolü ve hava temizleme ile birlikte kapalı hava kalitesini kontrol eder. Mekanik fanlar ve / veya doğal kuvvetler havalandırma yönlendirir. Doğru bir tasarımın amacı, havanın sınırlı sayıda tedarik arzından her işgal edilen alana teslim edilmesini sağlamaktır. Binalar, büyük yüksek ve derin hale geldikçe bu zor bir mühendislik görev haline gelmiştir ve bir Besleme havası jetinin penetrasyon derinliği sınırlıdır [5].

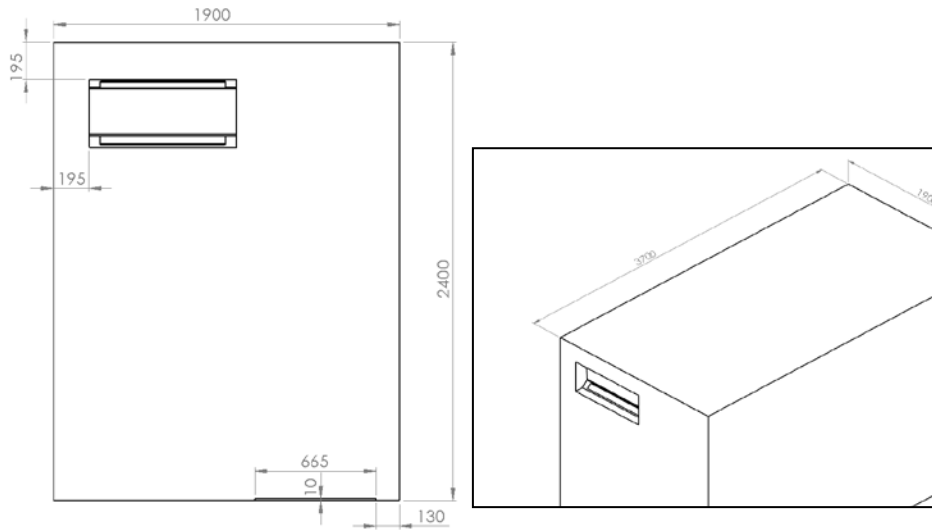
Oda havalandırmasında HAD'ın yetmişli yıllardan beri kullanılmasına rağmen [6] son yıllarda araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir [7]. Oda içerisindeki havanın kalitesi, enerji tüketimi ve ısı konfora etki eden parametreler bu yöntem kullanılarak doğrudan veya dolaylı olarak incelenmektedir. Konforun yaşam kalitesinin yanında iş verimine de etkisinin büyük olması bu alana olan ilginin sürekli artmasına sebep olmuştur [8].

IEA Annex20 Odası yukarıda belirtildiği gibi birçok hava akışı problemlerinde, özellikle türbülans modellerinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılmıştır ve bu çalışmada oda havalandırması problemlerinde kullanılan yazılımın çözüme uygun sonuçlar verip vermeyeceğini incelemek adına ele alınmıştır. Çalışmada duvar tipi bir klimadaki farklı giriş ve sıcaklık parametreleri incelenerek oda hacmindeki hız ve sıcaklık dağılımları ve akış yapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre de konfor ve parametrelerin uygunluk değerleri yorumlanmıştır.

2. MODELLEME VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

2.1. Geometri ve Modelleme

Üç boyutlu oda çalışması Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan, ısı konfor çalışmaları için dizayn edilen odadan esinlenerek oluşturulmuştur. Odada bir adet split klima bulunmakta, hava girişi de split klima üzerinden sağlanmaktadır. Diğer çıkış ise sağ alt köşede bulunmaktadır. Bu çıkış kapı altı aralığını temsil etmektedir. Şekil 1 ve 2'de geometrik ölçüler ayrıntılı olarak verilmiştir.



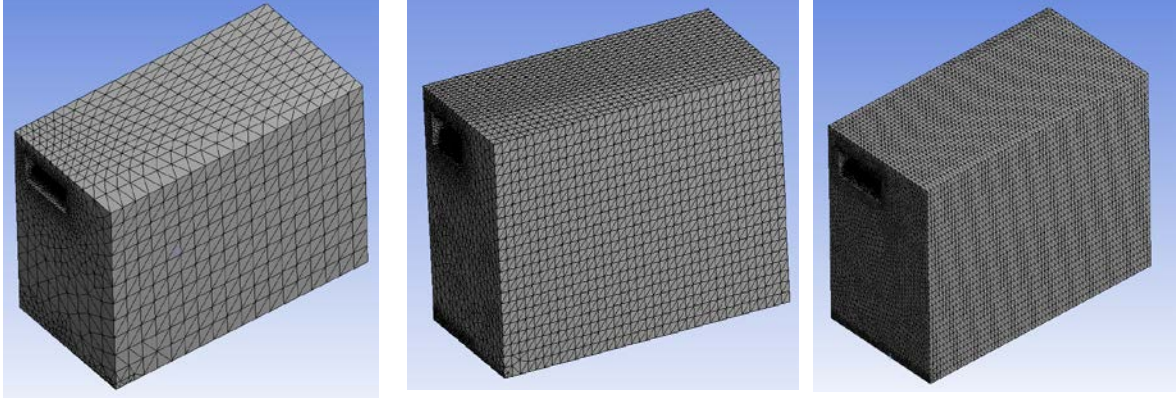
Şekil 1. Ofis odasının ölçüleri (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 2. Duvar tipi klimanın ölçüleri (Kırmızı ile gösterilen kısım çıkış, mavi ile gösterilen kısım giriştir)

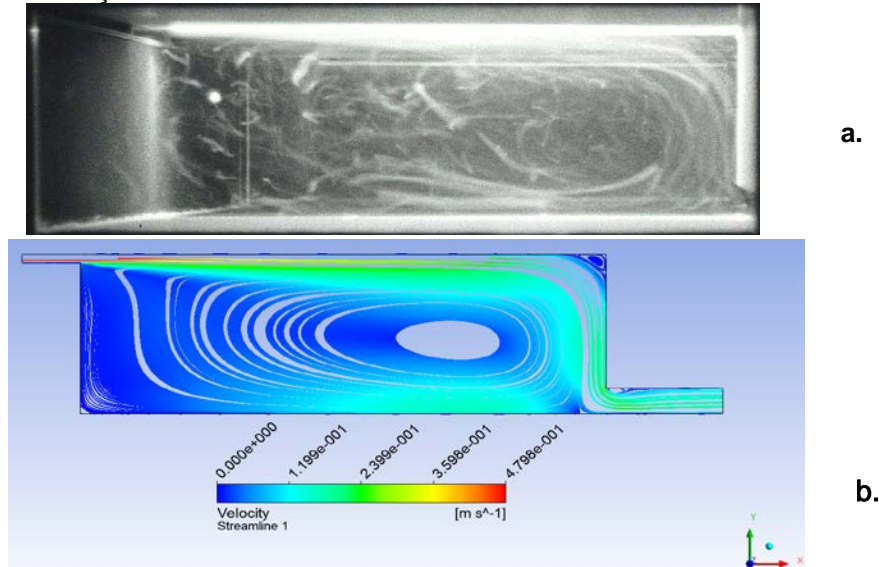
2.2.Çözüm Ağı Yapısı ve Doğrulama

Ağ yapısı çözüme etki eden en önemli parametrelerden biridir. Ağ yapısının sıklığı ve kalitesi doğru sonuca ulaşmanın yanı sıra çözüm süresine de etki etmektedir. Cidarlarda daha yoğun bir ağ yapısı elde edilmiş, eleman olarak ise hexahedral eleman türü seçilmiştir. Bu seçim duvar yaklaşımında uygun y^+ değerlerini yakalamak için yapılmıştır. Modelin genelinde ise tetrahedral eleman tipi kullanılmıştır. Eleman tipleri modelin geometrisine bağlı olarak seçilmiştir. Sayısal model için üç farklı ağ yapısı kullanıldı. 328470, 468529 ve 468529 eleman sayılarında yapılan çalışmalarda 468529 eleman sayılı ağ yapısı en uygun sonucu veren yapı seçildi. Şekil 3'te ağ yapısı gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ise ağ yapısı arttıkça sonucun küçük değerlerde değiştiği gözlenmiş ve son olarak 468529 eleman sayısına sahip ağ yapısı ile çözümlere devam edilmiştir.

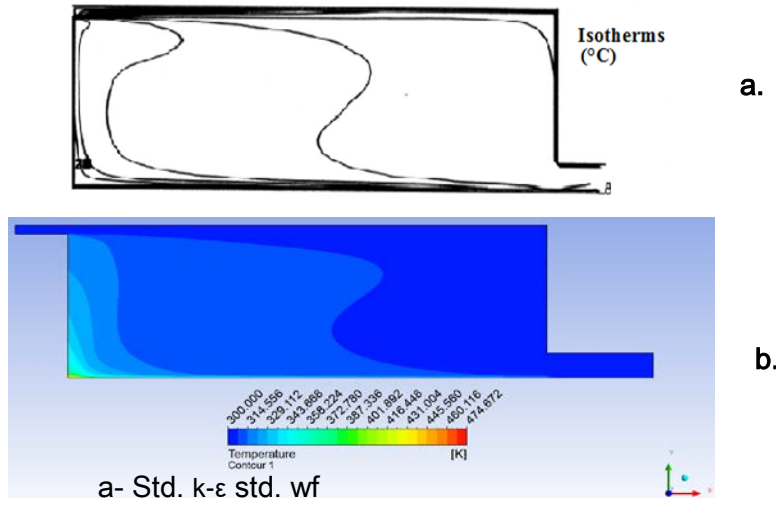


Şekil 3. Ağ Yapıları (328470, 468529 ve 468529 Eleman)

Kullanılan CFD yazılımın oda havalandırması çalışmalarındaki yetkinliğinden emin olma adına IEA Annex20 odasında daha önce elde edilmiş deneysel [9]ve nümerik [10] veriler karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 4. te görüldüğü üzere elde edilen akış yapısı deneysel verilerle tutarlılık göstermektedir. Sıcaklık dağılımı için Şekil 5. te gösterilmiş olan A.D. Lemaître'in yaptığı çalışma [11] ile karşılaştırma yapılmış ve yeni benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu verilerden yola çıkarak kullanılacak yazılımın çalışma için uygun olduğu düşünülmüştür. Bu çalışma daha önce yapılan bir çalışmanın [10] devamı niteliğinde olduğu için türbülans modelleri ve duvar yaklaşımları için ayrı bir çalışma yapılmamış, türbülans modeli olarak Standart k- ϵ , türbülans modeli olarak ise standart duvar fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 4. a. Deneysel (Peter V. Nielsen Doktora Tezi, 1974) ve b. Nümerik (B.E. YÜCE, 2014) olarak elde edilen akış çizgileri



Şekil 5. a. A.D. LEMAIRE, 1991 ve b. B.E. YÜCE'nin yapmış olduğu çalışmalarda elde edilen sıcaklık dağılımları

2.3. Türbülans Modelleri ve Sayısal Yöntem

Bu çalışmada Std. k-ε, türbülans modeli kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı ise Standard duvar fonksiyonudur (Standart wall function-Std. wf.). Oda geometrisi içerisindeki akış alanı sürekli, sıkıştırılmaz ve üç boyutludur. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (Reynolds Averaged Navier Stokes - RANS), süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ANSYS-Fluent 15.0 yazılımı aracılığıyla çözülmüştür. Yer çekimi Boussinesq yaklaşımıyla göz önüne alınmıştır ve bu etki Ar sayısı ile aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Fluent sonlu hacim methodunu kullanmaktadır ve ayrıklaştırılmış denklemlerin çözümünde birinci dereceden ayrıklaştırma kullanılmıştır. Yakınsama kriteri tüm parametreler için 10^{-6} alınmıştır.

RANS yaklaşımında hız bileşenleri aşağıdaki gibi ortalama değerleriyle salınım değerlerinin (çalkantı) toplamı şeklinde ifade edilirler.

$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' \quad \mathbf{v} = \bar{\mathbf{v}} + \mathbf{v}' \quad (1)$$

Tanımlanan hız ifadelerinin Navier-Stokes denklemlerine uygulanması sonunda ilave olarak ortaya Reynolds gerilme terimlerini veren aşağıdaki gibi eşitlikler çıkmaktadır.

$$Q_x^R = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho u' u') - \frac{\partial}{\partial y} (\rho u' v') \quad (2)$$

$$Q_y^R = -\frac{\partial}{\partial x} (\rho v' u') - \frac{\partial}{\partial y} (\rho v' v') \quad (3)$$

Bu Reynolds gerilmeleri türbülans viskozitesi adı verilen bilinmeyen bir katsayıyla ifade edilebilir [13].

$$-(\rho u' v') = \mu_t \frac{\partial u}{\partial y} \quad (4)$$

Std k-ε modelinde türbülans kinetik enerjisi (k) ve onun yayılma hızı (ε) olmak üzere türbülans viskozitesi şu şekilde ifade edilir.

$$\mu_t = C_\mu \rho \quad (5)$$

Efektif viskozite de laminer ve türbülanslı viskozitenin toplamı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (6)$$

Kaldırma kuvveti etkisi genellikle aşağıdaki gibi Arşimed (Ar) sayısı ile ifade edilir.

$$Ar = \frac{\beta g h \Delta T_0}{u_0} \quad (7)$$

Burada ΔT_0 giriş ve çıkıştaki sıcaklık farkı olup Ar sayısı 0,173'tür. Bu etki y-yönündeki korunum denkleminde S_M gibi bir kaynak terimiyle dikkate alınır.

$$S_{M,buoy} = (\rho - \rho_{ref}) g \quad (8)$$

Yoğunluk farkı oda havalandırmasında sıcaklık değişimlerinin yüksek olmaması sebebiyle Boussinesq yaklaşımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\rho - \rho_{ref} = \rho_{ref} \beta (T - T_{ref}) \quad (9)$$

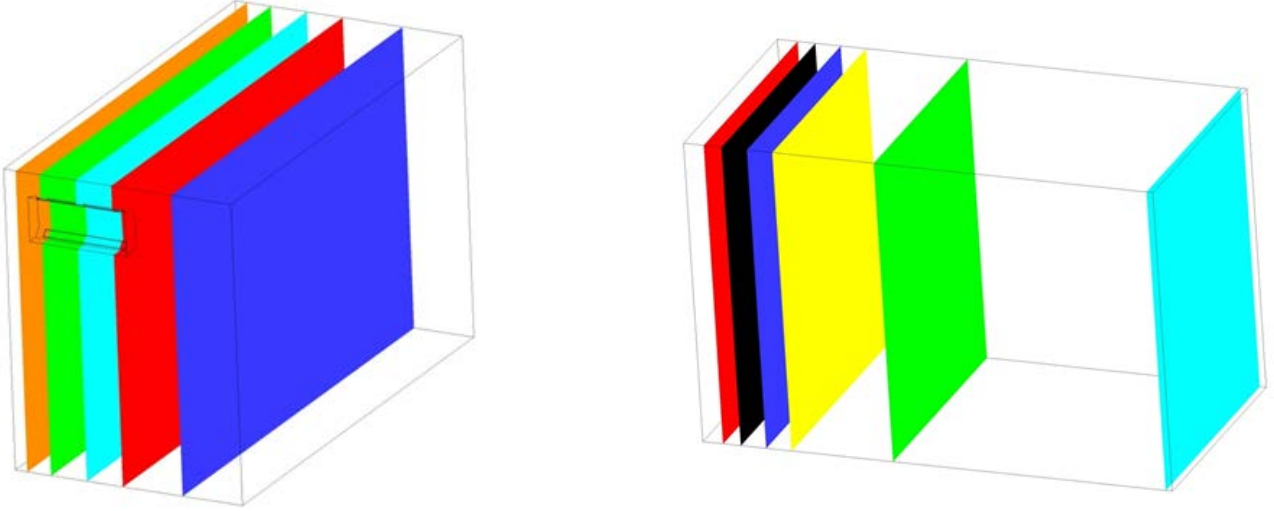
2.4. Sınır Şartları

Klimanın üfleme yüzeyinden 3 farklı hız ve sıcaklıkta hava üflenmektedir. Bu geometride toplam 9 farklı durum incelenmiştir. Bu senaryolar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Klima yüzeyi harici tüm oda dış yüzeyleri 293 K sıcaklıktadır. Üflenen havanın amacı odayı ısıtmaktır bu sebeple oda içindeki split klima kış kliması görevini yapmaktadır. Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLE algoritması kullanılarak çözülmüştür. Basınç alanının çözümü için Second Order, momentum denklemlerinde Second Order Upwind, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans dağılım oranlarında ise First Order Upwind algoritmaları kullanılmıştır. Yakınsama kriteri ise 10^{-6} olarak ayarlanmıştır. Odaya hava girişi klima tarafından üfleme yoluyla verilmektedir. Çıkış ise klimanın üst yüzeyinden ve kapı aralığından olmaktadır. Duvar sıcaklığı ise 293 K ve sabittir.

Çizelge 4. 1 Farklı Sınır Şartlarının Tablo Olarak Görünümü

Durumlar	Sınır Şartları		
	Giriş Hızı	Giriş Sıcaklığı	Duvar Sıcaklığı
1. Durum	1.5 m/s	303 K	293 K
2. Durum	2 m/s	303 K	293 K
3. Durum	3 m/s	303 K	293 K
4. Durum	1.5 m/s	300 K	293 K
5. Durum	2 m/s	300 K	293 K
6. Durum	3 m/s	300 K	293 K
7. Durum	1.5 m/s	298 K	293 K
8. Durum	2 m/s	298 K	293 K
9. Durum	3 m/s	298 K	293 K

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA



Şekil 6. a. ve b. Oda hacminde farklı bölgelerde oluşturulan düzlemler

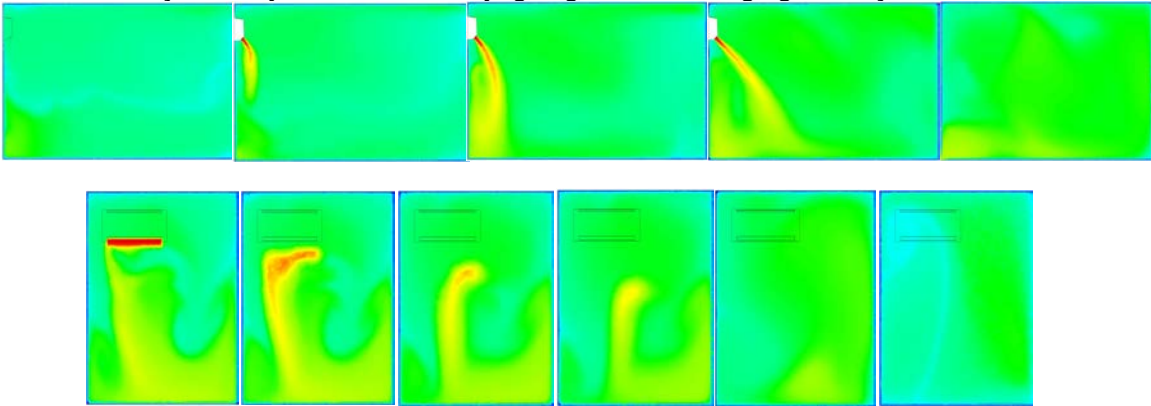
Elde edilen sonuçları görselleştirmek ve her bölgeyi daha iyi analiz edebilmek adına 11 farklı düzlem seçilmiştir. YZ ekseninde beş, XY ekseninde altı farklı düzlem tanımlanmıştır. Klimadan çıkan akışın net manada ortaya koyulabilmesi için klimaya dik olarak üç farklı düzlem yerleştirilmiştir. Düzlemler Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 7'de 1. Durum için 11 farklı düzlemde sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Dokuz farklı durum için incelenen üç farklı parametre olduğundan tüm sonuçları yan yana göstermek mümkün olmamıştır. Bunun yerine oda içindeki akış yapısını genel olarak ifade edebilecek ve aynı zamanda klimadan çıkan havanın yapısını anlamada kolay sağlayacak olan 3. düzlem için elde edilen sonuçlar Şekil 8. de yan yana gösterilmiştir.

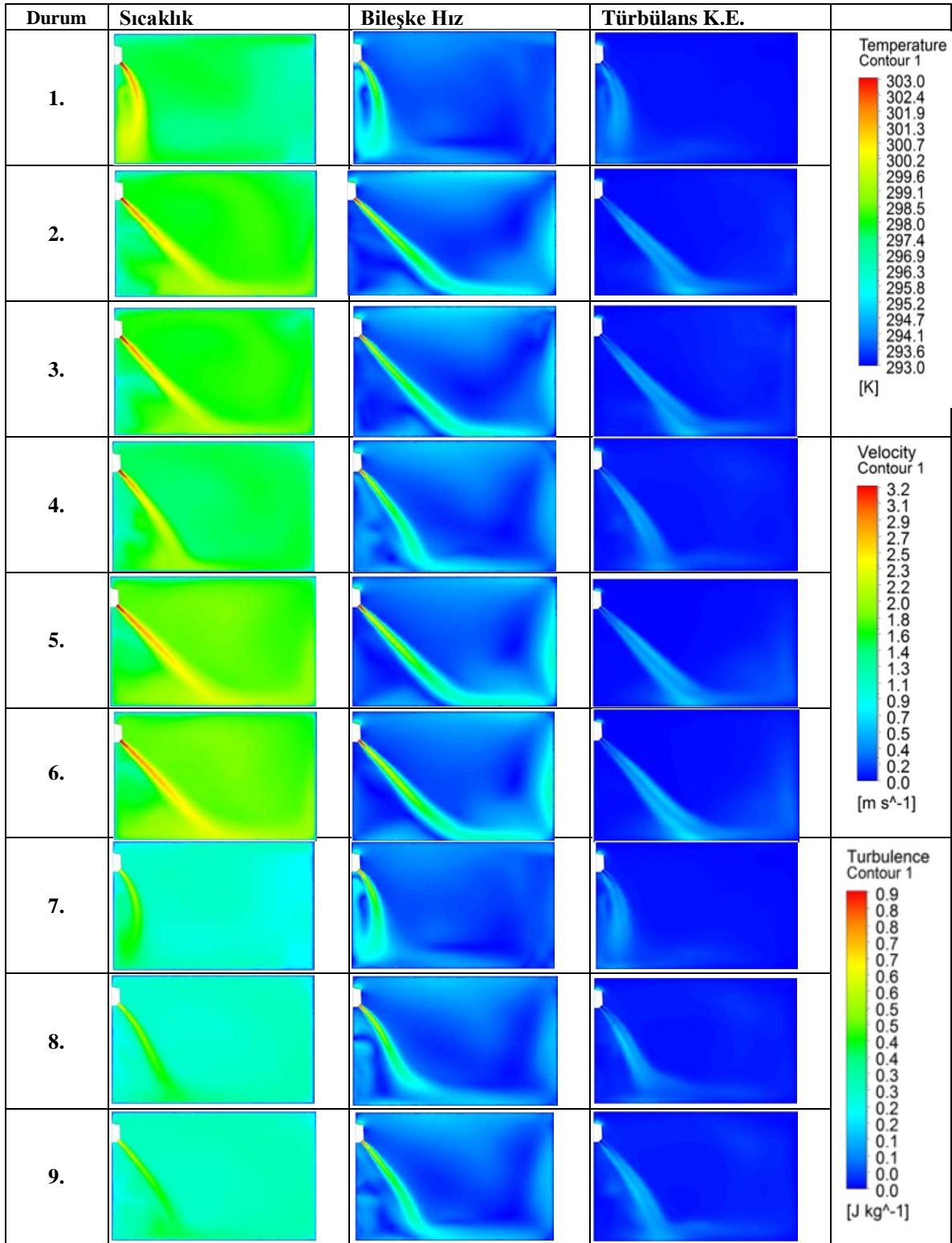
Şekil 8'de elde edilen bulgulara göre giriş sıcaklık değerleri düştükçe oda içindeki sıcaklık dağılımı homojenliğini yitirmektedir. Bu durum ofis içindeki farklı lokasyonlarda farklı sıcaklık bölgeleri oluşmasına sebep olmuştur. Üfleme sıcaklığı düştükçe soğuk duvarlar ile oluşan ısıl denge sonucu iç hava sıcaklık dağılımı değerlerinde düşme görülmüştür.

Klimadan çıkan hava jetinin yapısı hıza göre büyük duyarlılık göstermektedir. 1 m/s'lik hızla üflenen havada oluşan jet hava giriş noktasından çıktıktan sonra yapısını koruyamamış ve dağılmıştır. Bu durum üflenen sıcak havanın yayılımını etkilemiştir. Düşük sıcaklıklardaki heterojen bölgelerin varlığı bu durum ile açıklanabilir.

Türbülans kinetik enerjisi değerleri hız dağılımı değerleri ile benzerlik göstermektedir. 1.5, 2 ve 3 m/s'lik hızlar için sırasıyla 0.34,0.34 ve 2 j/kg değerlerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 7. 1. Durumda 11 farklı düzlemdeki sıcaklık dağılımları



Şekil 8. Tüm durumlar için 3. Düzlemde hız, sıcaklık ve TKE sonuçları

SONUÇLAR

Oda içerisindeki sıcaklık dağılımı ve akış yapısı giriş hız ve sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir. Giren hava jetinin yapısı sıcaklık dağılımının homojenliğine etki etmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 2 m/s'lik hızla üflenen havada daha homojen bir sıcaklık yapısı oluştuğu görülmektedir.

Üfleme sıcaklığı düştükçe duvarlardaki düşük sıcaklık sınır şartı nedeniyle ısı kaybının yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum giriş hızından bağımsız olmak üzere ofis içerisindeki havanın sıcaklığını tüm noktalarda etkilemektedir.

Tüm şartlar incelenip genel bir kanıya varılmak istendiğinde ise mevcut şartlarda 303K giriş sıcaklığı ve 2 m/s giriş hızına sahip bir klimada düzgün dağılımlı bir sıcaklık dağılımı elde etmek mümkündür. Bu çalışmada oda içerisindeki kişi veya eşya olmadığına da dikkat edilmelidir. Giren hava jetinin yapısına bağlı olarak sıcaklık dağılımı ve akış yapısı önemli ölçüde değişmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] "Why Buildings." [Online]. Available: <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>.
- [2] S. Gilani, H. Montazeri, and B. Blocken, "CFD simulation of stratified indoor environment in displacement ventilation: Validation and sensitivity analysis," *Build. Environ.*, vol. 95, pp. 299–313, 2016.
- [3] C. Méndez, J. F. San José, J. M. Villafruela, and F. Castro, "Optimization of a hospital room by means of CFD for more efficient ventilation," *Energy Build.*, vol. 40, no. 5, pp. 849–854, 2008.
- [4] Q. Y. Chen, D. Ph, and A. Member, "A procedure for verification , validation , and reporting of indoor environment CFD analyses," vol. 8, no. 2, pp. 201–216, 2002.
- [5] Y. Li and P. V. Nielsen, "Commemorating 20 years of Indoor Air: CFD and ventilation research," *Indoor Air*, vol. 21, no. 6, pp. 442–453, 2011.
- [6] J. H. W. P. V. Nielsen, A. Restivo, "The Velocity Characteristics of Ventilated Rooms," *ASME J. Fluids Eng.*, vol. 100, no. 3, pp. 291–298, 1978.
- [7] R. A. Pitarma, J. E. Ramos, M. E. Ferreira, and M. G. Carvalho, "Computational fluid dynamics: An advanced active tool in environmental management and education," *Manag. Environ. Qual.*, vol. 15, no. 2, pp. 102–110, 2004.
- [8] 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.
- [9] P. V. Nielsen, "Flow in air conditioned rooms - model experiments and numerical solutions of the flow equations," 1974.
- [10] B. E. YÜCE and E. PULAT, "Oda Havalandırmasında Isıl Konforun Sayısal Simülasyonu," in *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 2015, pp. 2332–2342.
- [11] LEMAIRE, A. D, "Annex 20 : Air Flow Patterns within Buildings," 1992.

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır Erman YÜCE

2008-2012 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında Gazi Üniversitesinde başlayan yüksek lisans eğitimine Uludağ Üniversitesi'nde tamamladı ve halen Uludağ Üniversitesi'nde doktora eğitimine devam etmektedir. 2013 yılından bu yana Uludağ Üniversitesinde Araştırma görevlisi olarak görevini 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.