

ODA KLİMA CİHAZI İLE HAVALANDIRILAN BİR ODADA HAVA DAĞILIMININ SAYISAL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Erhan PULAT

ÖZET

Bu çalışmada oda klima cihazı ile havalandırılan bir odada hava dağılımları sayısal olarak araştırılmıştır. Bu amaçla Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği Laboratuvarında ısı konfor çalışmaları için hazırlanmış olan bir oda iki boyutlu olarak modellenmiştir. Akış türbülanslı, sürekli ve sıkıştırılmaz olarak ele alınmış olup standard k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Klima cihazının üç farklı hız kademesi için eşsıcaklıklı (izotermal) hız ve kinetik enerji dağılımları elde edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılarak tartışılmış ve ana akış karakteristiklerinin elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Oda içi hava akışı, Türbülans, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği.

ABSTRACT

In this study, air distributions in a room ventilated with room air conditioner are investigated numerically. For this purpose, a room constructed for thermal comfort studies in thermal technology laboratory of mechanical engineering department in Uludag University is modeled in two dimensions. Flow is considered as turbulent, steady, and incompressible, and standard k-ε turbulence model is used. Isothermal velocity and kinetic energy distributions are obtained for three different velocity stages of room air conditioner. Results are compared and discussed with values in literature, and it is concluded that main flow characteristics are obtained.

Key Words: Indoor air flow, Turbulence, Computational Fluid Dynamics

1.GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını bina içinde geçirmektedirler ve oda içinde hava akışı ısı konfor, ısı transferi ve iç hava kalitesi açısından son derece önemlidir. Artan yaşam standardıyla birlikte insanların konforlu yaşam arayışları da artmakta ve klimalar da insanlara konforlu bir ortam sağlayarak bu arayışlara cevap veren en önemli cihazların başında gelmektedirler. Aslında klimaların konfor ve sağlıkla ilgili yönleri hakkındaki çalışmalar oldukça eski olmasına [1] ve oda içi hava akışlarıyla ilgili öncü çalışmalar bulunmasına rağmen [2], doğrudan duvar tipi oda klima cihazıyla olan çalışmalar nispeten az sayılabilecek orandadır [3, 4, 5] ve çalışmaların çoğunluğu belirli şekil ve konumlarda giriş ve çıkışların olduğu odalarda hava dağılımlarıyla ilgilidir [6, 7, 8, 9].

An ve Lee [10] 1/20 ölçeğinde küçültülmüş bir model oda içersindeki hız ve sıcaklık dağılımlarını PIV (Particle Image Velocimetry) ve LIF (Laser Induced Fluorescence) tekniklerini kullanarak deneysel olarak araştırmışlardır. Deşarj olduktan hemen sonra jet kalınlığının Re sayısının düşük olduğu durumlarda, daha yüksek olduğu durumlara göre daha büyük olduğunu belirtmişler ancak daha sonra gittikçe azaldığını ve Re sayısının yüksek olduğu durumlarda jet kalınlığının da daha büyük olmaya

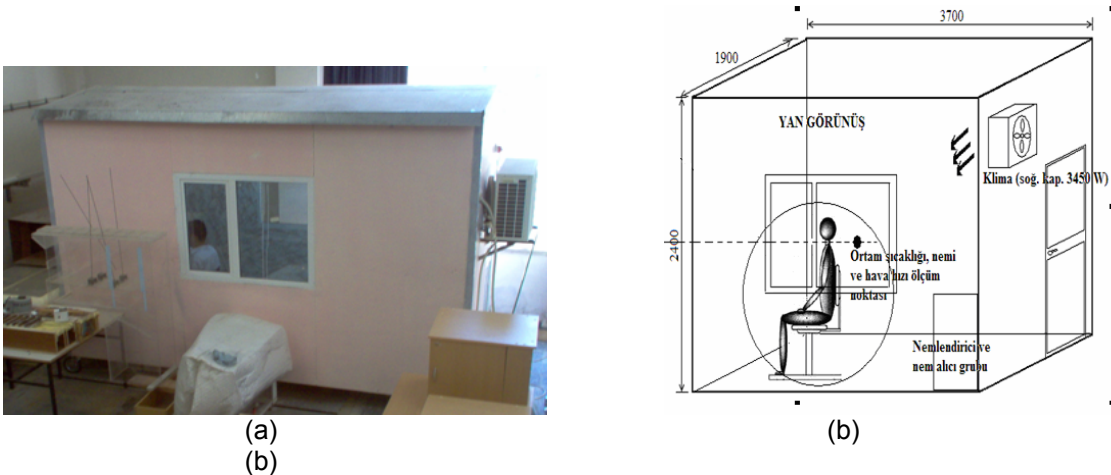
başladığını belirtmişlerdir. Türkoğlu ve Çakmanus [11] kapalı mekanlarda panel ısıtma ve soğutmada mahal içindeki hava hareketi ve sıcaklık dağılımının, sıcak ve soğuk yüzey pozisyonlarından nasıl etkilendiğini sayısal olarak incelemişlerdir. Çakır ve Sağır [12] ise yine kapalı mahallerde ısı konforu ele almışlar ve havalandırma sistemlerinde yeni nesil menfezler ve seçim kraterleri üzerinde durmuşlardır. Kuas ve Başkaya[13] içinde bir insan ve nesnelerin bulunduğu bir ofis odasına verilen soğutma havasının dolaşımını Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) PHOENICS yazılımını kullanarak incelemişlerdir. Standard k-ε türbülans modelinin kullanıldığı çalışmada üç boyutlu analizler yapılmış ve çözümlerin çok uzun süreler aldığı belirtilerek parametrik çalışmaların zorluğu vurgulanmıştır. Ayrıca oda içinde bulunması muhtemel insan ve nesnelerin hava dolaşımı üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Başkaya ve Eken [14] aynı yazılımı ve türbülans modelini kullanarak bu kez iki boyutlu bir çalışmayı değişik havalandırma şartları altındaki bir ofis odası içindeki hava akışını araştırmak için yapmışlardır. Karaoğlu ve Ersoy [15] ise mekan içi hava hareketlerini sonlu farklar yöntemini kullanarak modellemişler ve sayısal yöntemlerin bu tip çalışmalarda avantajları üzerinde durmuşlardır. Çok geniş bir mahalde, otopark havalandırmasında Jet Fan kullanımının sayısal bir analizi de Başyazıcı [16] tarafından yapılmış ve kapalı otopark havalandırma ve duman kontrol sistemlerinin tasarımında saha testleriyle yetinilmemesi ve saha testlerinde pratik olmayan birçok kritik senaryonun Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği simülasyonları yapılarak sahada çıkabilecek problemlerin son aşamada fark edilmeyip daha önceden kestirilebileceği ifade edilmiştir.

Bu çalışmada duvar tipi bir oda klimasıyla şartlandırılan ve ısı konfor çalışmaları için tasarlanmış bir test odası iki boyutlu modellenerek içindeki hava dağılımları standard k-ε türbülans modeli uygulanarak klimanın üç farklı hız değeri için hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Araştırmanın amacı oda içindeki akış karakteristiklerini elde etmekle birlikte uygulanan bazı sınır şartlarının çözüm üzerine etkilerini de incelemektir ve bu çalışmada üç farklı sınır şartından sadece bir tanesi uygulanmıştır ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Modelleme ve Geometri

Bu çalışmada modellenen ve Şekil 1a'da görülen Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Isı Tekniği Laboratuvarında bulunan ve ısı konfor araştırmaları için tasarlanmış test odasının üç boyutlu modeli Şekil 1b'de verilmiştir. Odanın eni 1900 mm, boyu 3700 mm ve yüksekliği 2400 mm dir. Klimanın alt ucu yerden 1940 mm yüksekliktedir. Klima Arçelik 4200 model olup 3450-3800 Watt kapasitededir. Soğutucu akışkan olarak R22 nin kullanıldığı klima 1.5 m/s, 2.0 m/s ve 3.0 m/s olmak üzere üç hız kademesine sahiptir. Bu oda boş ve iki boyutlu olarak modellenerek üç hız değeri için oda içindeki hava dağılımları sayısal olarak elde edilmiştir.



Şekil 1 a) Test odası ve b) Test odasının üç boyutlu modeli (1900 x 3700 x 2400 mm)

2.2.Korunum Denklemleri ve Türbülans Modeli

Kapalı mahallerde hava akışı ve türbülansın tahmininde kullanılan çeşitli türbülans modellerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği açısından genel bir değerlendirmesi Zhai ve ark. [17] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmadan ve yukarıda özetlenen çalışmalardan da görülebileceği gibi std. k-ε türbülans modeli [18] oda içi hava akışlarında en çok kullanılan türbülans modelidir. Yakın cidar duvar fonksiyonlarında türbülans üretiminin ve yayılımının dengede olduğu ve izotropik türbülans kabulü gibi dezavantajlarına rağmen duvar fonksiyonunun kullanımı cidarda çok sık ağ kullanımını gerektirmediğinden hesaplama zamanı açısından diğer türbülans modellerine göre önemli avantaja sahiptir ve fazla hassasiyetin gerekmediği durumlarda oda içi akışlarına başarıyla uygulanmaktadır [17]. Bu çalışmada da standard k-ε türbülans modeli Van Driest duvar fonksiyonuyla sonlu elemanlar esasına dayalı ANSYS-FLOTRAN yazılımı altında kullanılmıştır.

Bu türbülans modelinde Eddy viskozitesi yaklaşımıyla, değişkenlerin ortalama değeriyle salınım değerlerinin toplamı olarak göz önüne alındığı Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerini kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda hız bileşenleri aşağıdaki gibi ortalama değerleriyle salınım değerlerinin (çalkantı) toplamı şeklinde ifade edilirler.

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

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

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

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

Bu Reynolds gerilmeleri türbülans viskozitesi adı verilen bilinmeyen bir katsayıyla ifade edilebilir (Boussinesq hipotezi, Launder ve Spalding [19]).

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

Reynolds gerilmeleri daha karmaşık formda da ifade edilebilirler. Türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılmaz ve sürekli rejimdeki akışı ifade eden süreklilik, momentum ve enerji denklemleri kartezyen koordinatlarda aşağıdaki gibidir.

Süreklilik denklemleri:

$$\frac{\partial(\overline{\rho u})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v})}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

x-Momentum:

$$\left(\frac{\partial(\overline{\rho u u})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v u})}{\partial y} \right) = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (6)$$

y-Momentum:

$$\left(\frac{\partial(\overline{\rho uv})}{\partial x} + \frac{\partial(\overline{\rho v v})}{\partial y} \right) = \rho \cdot g - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \quad (7)$$

Enerji:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{\rho u} C_p \bar{T} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\overline{\rho v} C_p \bar{T} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left((k_i + k_t) \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right) \quad (8)$$

Belirtilen denklemlerde k_t ve μ_t ; türbülanslı eddy iletkenliği ve türbülanslı eddy viskozitesidir.

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

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

Mühendislik uygulamalarında en yaygın model olan standart **k-ε** türbülans modelinde iki boyutlu daimi akış için türbülans kinetik enerjisi ve onun yayılma hızı denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [18].

$$\frac{\partial \overline{\rho u} k}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v} k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \mu_t \Phi - \rho \varepsilon + \frac{C_4 \beta \mu_t}{\sigma_t} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (10)$$

$$\frac{\partial \overline{\rho u} \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\rho v} \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \Phi - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{C_\mu (1 - C_3) \beta \rho k}{\sigma_t} \left(g \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (11)$$

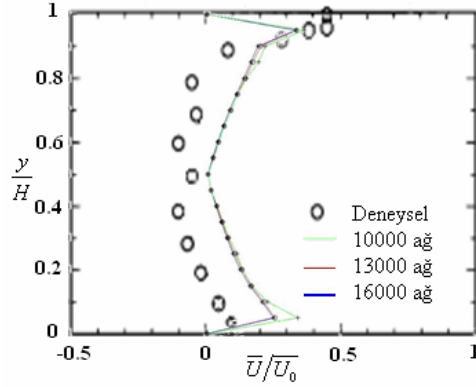
Burada türbülans kinetic enerji üretimi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\Phi = 2 \left[\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right)^2 \quad (12)$$

Diğer türbülans model sabitleri ise $C_\mu=0.09$, $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_3=1.0$, $C_4=0.0$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.30$ ve $\sigma_t=0.90$ şeklindedir.

2.3.Sayısal Yöntem

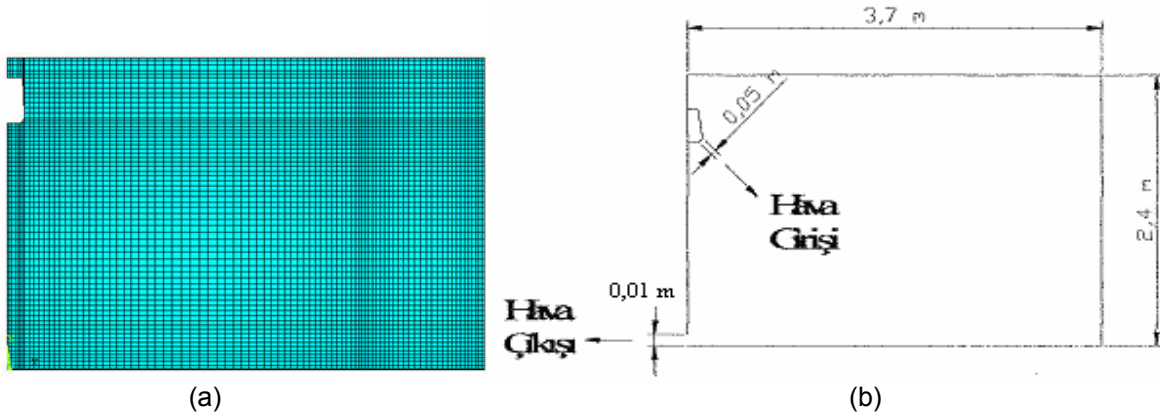
Hesaplamalı çalışmaya başlamadan önce Blay ve ark.'larının [20] deneysel çalışmasındaki sol üst köşeden havanın girip sağ alt köşeden çıktığı oda geometrisi (1.04m x 1.04m) kullanılarak tavandan tabana boyutsuz hızların karşılaştırıldığı bir doğrulama çalışması yapılmış ve sonuç Şekil 2'de gösterilmiştir. Maksimum fark %20'yi geçmemektedir ve özellikle merkezde ve üst cidar yakınlarında deneysel verilerle uyum daha fazla görünmektedir.



Şekil 2. Hesaplamalı sonuçlarla deneysel verilerin [20] karşılaştırılması

Test odası Şekil 3'de görüldüğü gibi iki boyutlu olarak modellenerek sonlu elemanlara bölünmüştür. Dört nodlu dikdörtgenel elemanlar klima çevresinde ve cidarlarda sık olacak şekilde kullanılmıştır. y^+ değerlerinin 11 den büyük olmasına dikkat edilmesine rağmen oda geometrisinin her tarafında bunu sağlamak mümkün olmamıştır ve oda içi akışları gibi kompleks akışlarda bu sık karşılaşılan bir durumdur [21].

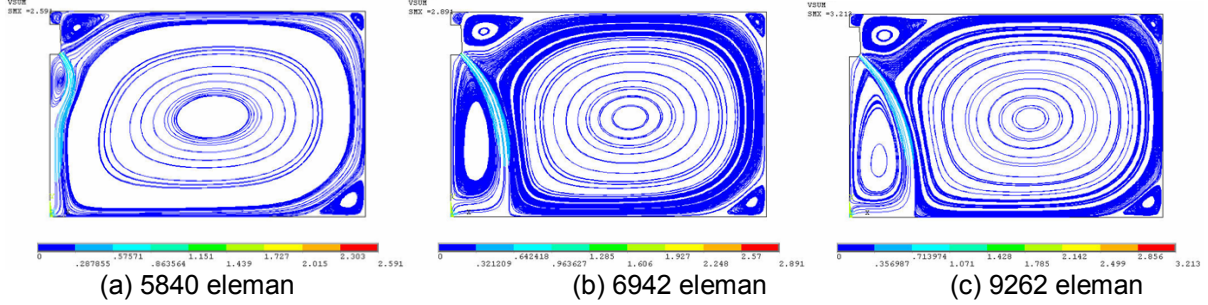
Oda duvarlarında ve klima yüzeylerinde cidar sınır şartı ($u=0, v=0$), yalnızca klimanın 45° açıyla hava üflediği yüzeyde ise giriş sınır şartları ($\bar{U}_0=1.5, 2.0$ ve 3.0 m/s, $T_0=20$ °C, $T_u=0.01$) uygulanmıştır. Çıkışta çıkış sınır şartı ($P=0$) verilmiş ve tüm yüzeyler adyabatik olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3 a)Çözüm alanının elemanlara bölünmüş hali (6942 eleman) ve b) Test odasının iki boyutlu modeli (3700 x 2400 mm)

Ağdan bağımsızlık çalışması klimanın 1.5 m/s hızla hava üflediği durum için 5840, 6942 ve 9262 eleman sayıları için yapılmış ve sonuçlar Şekil 4'de gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen bazı sayısal sonuçlar da Tablo 1'de özetlenmiştir. Şekil 4'den görüleceği üzere 6942 elemandan itibaren sonuçlardaki değişim çok azalmış olmasına rağmen bu çalışmada sonraki bütün sonuçlar 9262 eleman için elde edilmiştir. Maksimum hız değerleri çıkışta oda sol alt köşesinde elde edilmiştir. Oda boyutlarına göre çıkış kesiti 1 cm gibi çok küçük bir yarık olduğundan kesit daralmasından dolayı

maksimum hızların burada olduğu düşünülmektedir. Hız ve basınç için korunum denklemleri eşzamanlı olarak SIMPLEF algoritması kullanılarak çözülmüştür. Hız alanının çözümünde Tri-Diagonal Matris Algoritması (TDMA), basınç ve sıcaklık alanlarının çözümünde basınç salınımlarını önlemek için önşartlandırılmış eşlenik gradyen metodu (Preconditioned Conjugate Gradient-PCCG) kullanılmıştır. Momentum, enerji ve türbülans denklemlerinde edveksiyon için ikinci derece hassas Streamline Upwind Petrov Galerkin (SUPG), basınç denkleminde birinci derece hassas Monotone Streamline Upwind (MSU) metodu kullanılmıştır.



Şekil 4. Ağdan bağımsızlık çalışması

Tablo 1. Mevcut Hız Kademelerinde ve Üç Ayrı Eleman Sayılarında Elde Edilen Bazı Sonuçlar

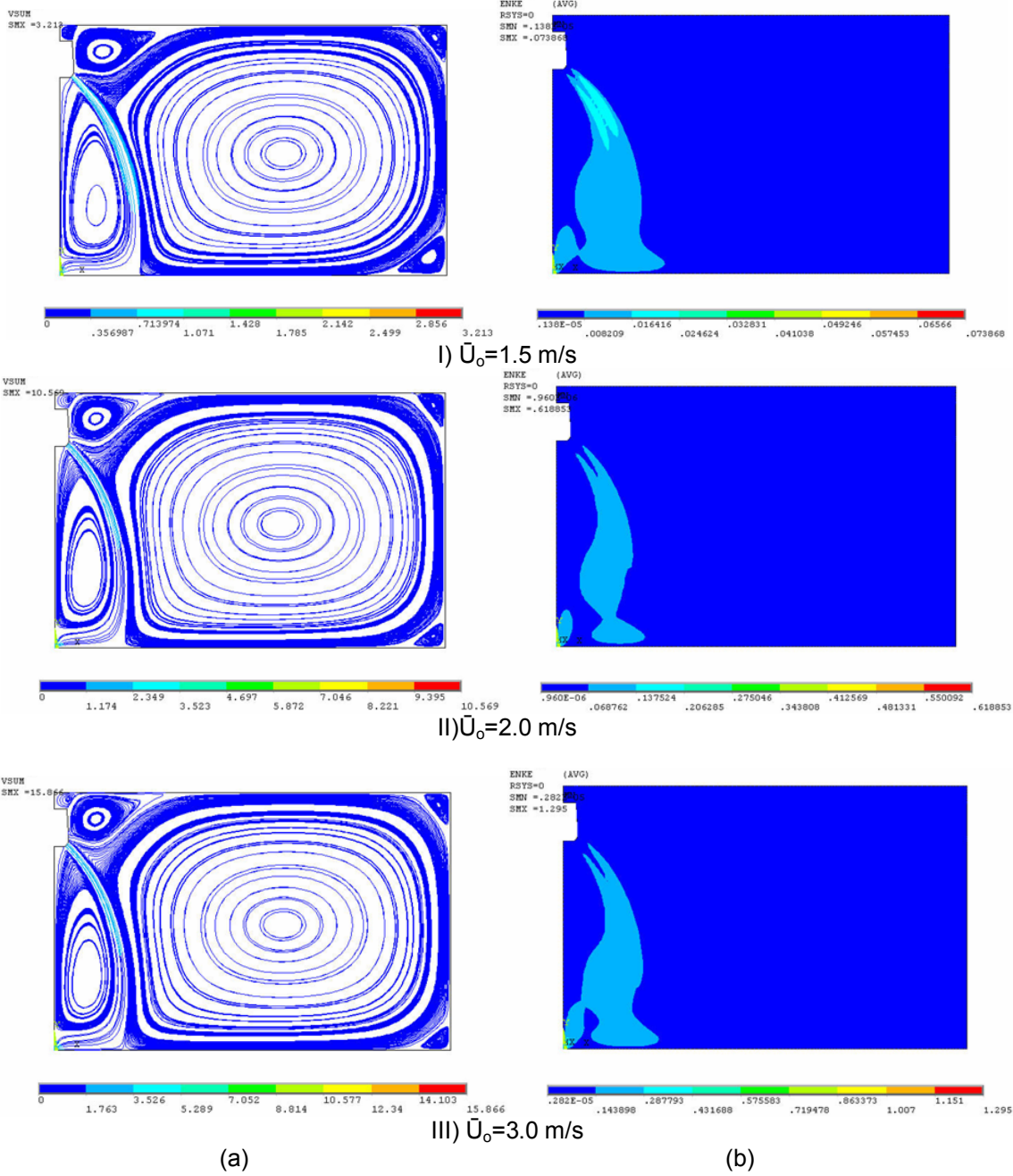
Elem an Sayısı	$\bar{U}_o=1.5$ m/s			$\bar{U}_o=2.0$ m/s			$\bar{U}_o=3.0$ m/s		
	İterasyon Sayısı	Maksimum Bileşke Hız (m/s)	Maksimum TKE (m^2/s^2)	İterasyon Sayısı	Maksimum Bileşke Hız (m/s)	Maksimum TKE (m^2/s^2)	İterasyon Sayısı	Maksimum Bileşke Hız (m/s)	Maksimum TKE (m^2/s^2)
5840	1050	2.591	0.057526	1050	9.644	0.609523	950	14.488	1.267
6942	1100	2.891	0.065083	1050	10.243	0.608751	950	15.379	1.275
9262	1100	3.213	0.073868	1050	10.569	0.618853	1100	15.866	1.295

4. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Üç farklı hız değeri için akım çizgileri ve türbülans kinetik enerji dağılımları Şekil 5'de verilmiştir. Odanın çok büyük bir kısmını kaplayan ana bir girdap, hemen klimanın altında jet akışının solunda ise ana girdaba bitişik ve ters yönde dönen ikinci bir girdap ilk göze çarpan akış yapılarıdır. Ayrıca odanın sağında alt ve üst köşelerde küçük girdaplar da oluşmaktadır. Yine klimanın üstünde küçük bir girdap oluşmaktadır ve klimanın sağında iki büyük girdapla etkileşim halinde üçüncü büyüklükte bir girdap da oluşmaktadır. Bu akış yapıları klimadan üflenmiş hava hızından bağımsız görünmektedirler. Sadece en düşük hızda soldaki ana girdabın boyunun (tabanda ayrılma noktası) diğer hız değerlerindeki kadar büyük olduğu fark edilmektedir. İkinci hız kademesinden üçüncü hız kademesine artış (1 m/s), birinci hız kademesinden ikinci hız kademesine artıştan (0.5 m/s) büyük olmasına rağmen tabandaki akış ayrılması bundan etkilenmemiş görülmektedir. Akış yapılarının her üç hız kademesinde benzer olmasına rağmen oda içinde hava dağılım hızlarının üfleme hızının artmasıyla arttığına dikkat edilmelidir. Oda havalandırmasında akışla ilgili lokal ısıl konforsuzlukların nedenlerinden biri hava hareketinin sebebiyet verdiği vücudun herhangi bir yerinin lokal olarak istenmeyen soğuması olarak tanımlanan hava cereyanlarıdır (drafftlar). Hava cereyanları ise hava sıcaklığı, ortalama hava hızı ve türbülans şiddetine bağlıdır [22]. Bundan dolayı Şekil 4'de ayrıca oda içinde kinetik enerji dağılımları görülebilir. Maksimum hızlar ve maksimum kinetik enerji değerleri Tablo 1'de verilmiştir ve bu değerler

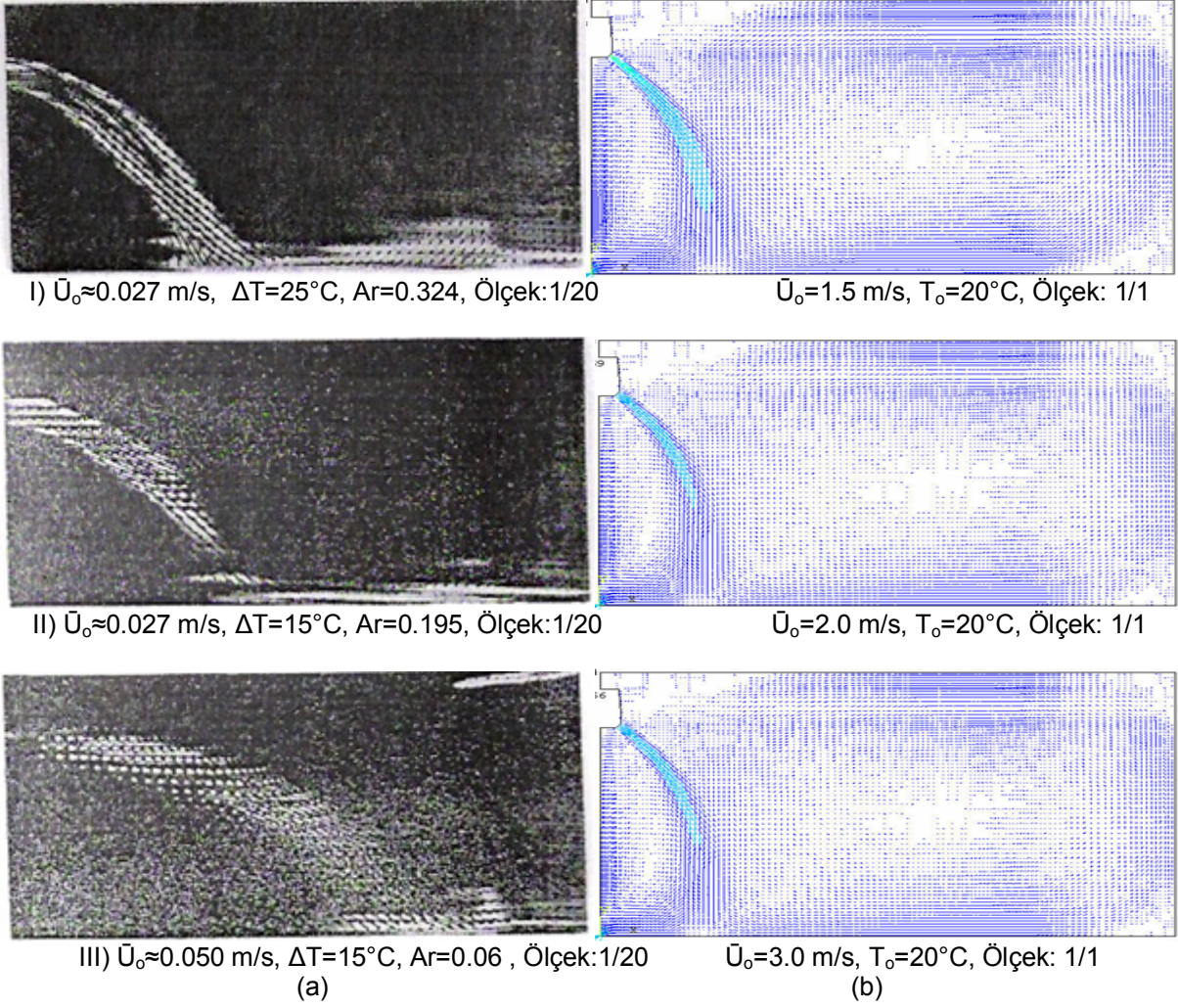
insanların bulunmasının daha muhtemel olduğu ana girdap yapısı içinde değildir. Fakat kaynak [22] de verilen kriteri sağlayıp sağlamadığının ayrıca kontrol edilmesi gerekmektedir. Kabaca ana girdap bölgesinde çalkantısız homojen bir akış yapısının olduğu ve hava cerayanı riskinin az oldu söylenebilir. Ayrıca Şekil 5b'de türbülans kinetik enerji dağılımları incelendiğinde klima çıkışında umulmayan bir çatallı yapı göze çarpmaktadır. Bunun muhtemel nedeni klima çıkışında hız sınır şartının uygulanmasıyla ilgili olabilir.

Şekil 6'de bu çalışmada elde edilen vektörel hız dağılımları An ve Lee [10]'nin kaldırma kuvveti etkilerini dikkate aldıkları 1/20 ölçekli bir oda modeli üzerinde PIV tekniğini kullanarak elde ettikleri hız dağılımlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Deneysel çalışmada hızlar doğrudan verilmemiş, debiler verilmiştir. Ölçekli modeldeki klimanın deşarj alanından hızlar tespit edilmiş ve şekilde verilmiştir. Şekil 6a I ve II'de sıcaklık farkı jeti pek etkilemiş görünmemektedir. Buna karşılık üfleme hızının artmasıyla birlikte jet saçılarak daha ileriye doğru gitmektedir. Şartların aynı olmadığı bu çalışmada ise üç hız değerinde de hemen hemen aynı akış yapısı elde edilmiştir. Saçılma ise deneysel çalışmadakinin tersine en düşük hız değerinde biraz göze çarpmaktadır. Kabaca deneysel çalışmalara kalitatif olarak uygun sonuçlar elde edilmesine rağmen sayısal çalışmaları daha da geliştirmek için kaldırma kuvveti etkilerinin dikkate alındığı, üç boyutlu ve diğer türbülans modellerinin de denendiği çalışmalara ihtiyaç vardır.



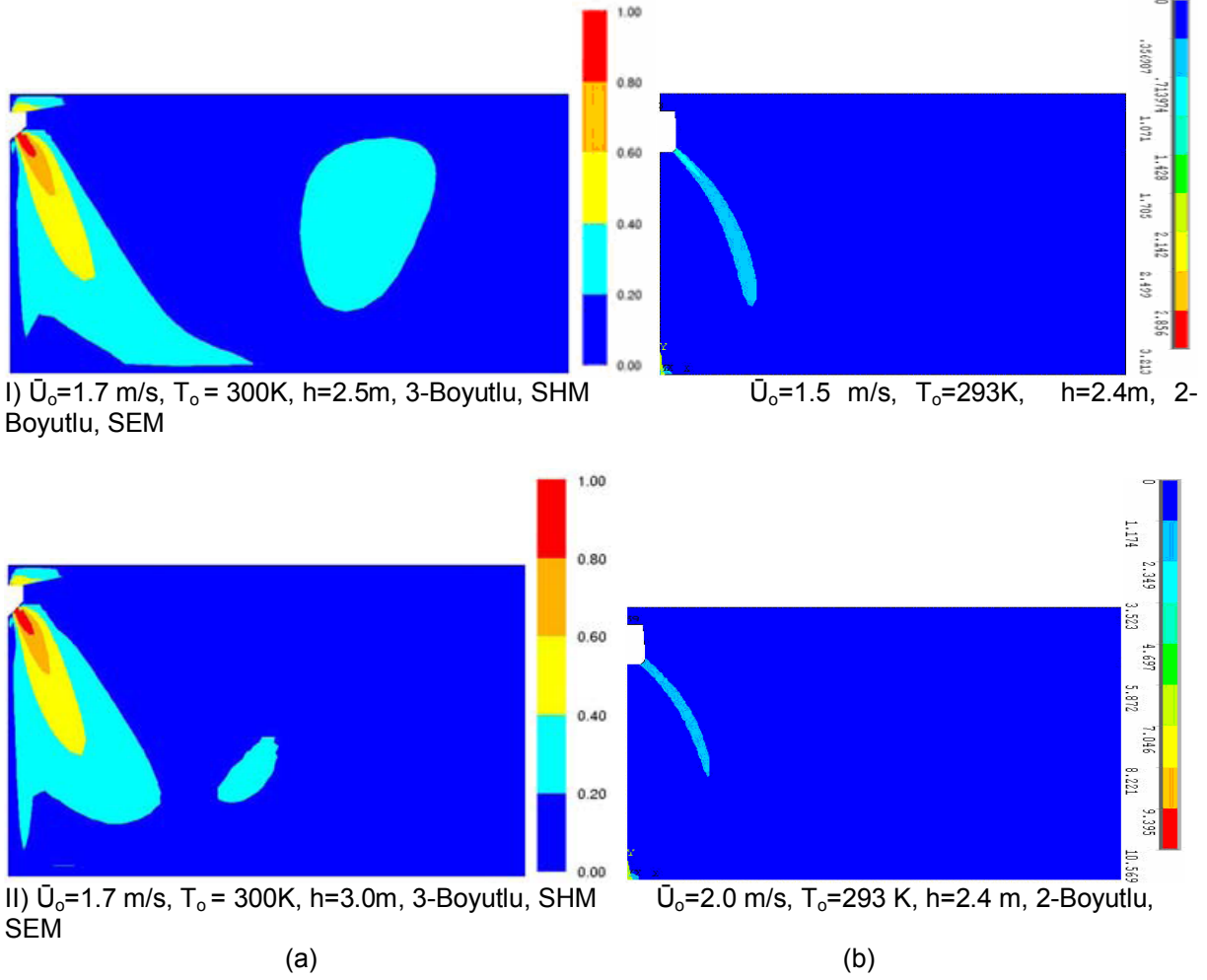
Şekil 5. Üç hız kademesinde a) Akım çizgiler b) Türbülans kinetik enerji (TKE) dağılımları

Son olarak bu çalışmada Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) kullanılarak elde edilen 2-Boyutlu sayısal sonuçlar, Bonafacic ve ark. [5] larının Sonlu Hacim Metodu (SHM) kullanarak Fluent yazılımıyla elde ettikleri 3-Boyutlu sayısal sonuçlarla Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Her iki çalışmada da hava klimadan 45° açı ile üflenmektedir. Üç boyutlu çalışmada aynı hız değeri için (1.7 m/s) farklı oda yüksekliklerindeki (2.5 m ve 3.0 m) akış incelenmiştir. Akış hızı ve özellikle 2.5 m oda yüksekliği bu çalışmadaki değerlere yakın olarak değerlendirilebilir. Karşılaştırma bu çalışmadaki hem 1.5 m/s hem de 2.0 m/s üfleme hızları için yapılmıştır. Şekil 7b'deki bu çalışmanın sonuçları özellikle Şekil 7a I) deki benzer oda yüksekliğine sahip 3-Boyutlu çalışmayla karşılaştırılırsa daha anlamlı olabilir. Fakat Şekil 7b II)'deki oda yüksekliğinin daha büyük olduğu durum da yine karşılaştırma amaçlı bize yardımcı olabilir. Şekil 7a I)'deki üç boyutlu çalışmada jetin klimadan ülendikten sonra gittikçe yayıldığı



Şekil 6. Vektörel hız dağılımları a) Deneysel PIV metodu [10] b) Sayısal SEM metodu (Bu çalışma)

görülmesine rağmen bu çalışmada Şekil 6b ile uyumlu olarak yine jet yayılmadan ilerlemektedir. Ayrıca üç boyutlu çalışmada oda ortasında düşük de olsa yüksek hızlı bir bölge oluşmaktadır. Hava ceyranı (Draft) açısından önemli olabilecek bu bulgu iki boyutlu analizlerde her iki hız değeri için de görülmemektedir. Yani iki boyutlu analizlerle hava ceyranı riski hakkında güvenilir bilgiler elde edilememektedir. Belki daha gerçekçi sınır şartları uygulanarak iki boyutlu analizler bu açıdan geliştirilebilir. Yine üç boyutlu analizlerden (Şekil 7a I ve II) oda yüksekliği arttıkça hava ceyranı riskinin azaldığı görülmektedir. Şekil 7a I ve II' deki klima üzerindeki akış yapısı ise klima emişinin ihmal edilmediği sınır şartına karşılık gelmektedir. Fakat klima emişinin odanın diğer taraflarındaki akışı pek fazla etkilemediği de göze çarpmaktadır. Ancak oda boyunun kısa olduğu durumlarda akış yapısı az da olsa etkilenebilir.



Şekil 7. Hız dağılımları a) 3-Boyutlu, Sonlu Hacim Metodu (SHM) [5] b) 2-Boyutlu, Sonlu Elemanlar Metodu (Bu çalışma)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada duvar tipi bir oda klimasıyla şartlandırılan ve ısı konfor çalışmaları için tasarlanmış bir test odası iki boyutlu modellenerek içindeki hava dağılımları standard k-ε türbülans modeli uygulanarak klimanın üç farklı hız değeri için hesaplamalı olarak araştırılmıştır. Araştırmanın amacı oda içindeki akış karakteristiklerini elde etmekle birlikte uygulanan bazı sınır şartlarının çözüm üzerine etkilerini de incelemektir ve bu çalışmada üç farklı sınır şartından sadece bir tanesi, klima emişinin ihmal edildiği sınır şartı uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği oda hava dağılımlarının elde edilmesinde ve özellikle bir çok parametrenin dikkate alınarak bu parametrelerin akış yapısı üzerindeki etkilerinin incelenmesinde çok yararlı olabilir.

Uygulanan sınır şartları altında iki boyutlu analizlerle oda içi akışlardaki ana akış karakteristikleri elde edilebilir fakat klima emişinin de dikkate alınması sonuçları daha da geliştirebilir.

İki boyutlu analizlerle ana akış karakteristikleri elde edilebilmesine rağmen hassas ve daha güvenilir sonuçlar için üç boyutlu çalışmalara ihtiyaç vardır.

Hava cereyanı (Draft) riski gibi ısı konfor açısından önemli olayların tahmininde iki boyutlu analizlerle yetinilmemeli üç boyutlu analizler yapılmalıdır.

Standard k-ε türbülans modelinin yerine daha gelişmiş türbülans modelleri kullanılabilir. Ancak bu modellerin üç boyutlu analizlerde ve özellikle de büyük ölçülere sahip geometrilerde mevcut bilgisayar kapasitesinin üzerinde çok uzun analiz sürelerine ihtiyaç duyabileceği unutulmamalıdır.

TEŞEKKÜR

Isıl konfor çalışmaları için tasarlanmış test odasının modellenmesine izin veren ve modelleme sırasında her türlü yardımı esirgemeyen Prof. Dr. Abdülvahap Yiğit, Yrd. Doç. Dr. İbrahim Atmaca ve Arş. Gör. Yük. Müh. Nurullah Arslanoğlu'na teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] HARRINGTON, E., Air conditioning for comfort and health, past-present-future, Journal of the Franklin Institute, 215, 6, 655-696, 1933.
- [2] GOSMAN, A. D., NIELSEN, P. V., RESTIVO, A., WHITELAW, J. H., The flow properties of rooms with small ventilation openings, ASME Journal of Fluids Engineering, 102, -, 316-323, 1980.
- [3] LİM, T. K., ONG, Y. L., HAMDİ, M., An experimental and numerical study of turbulent flow inside studio apartments, <http://www.flomerics.com/files/casestudies/421/v44.pdf>.
- [4] YONGSON, O., BADRUDDIN, I. A., ZAINAL, Z. A., NARAYANA, P. A. A., Airflow analysis in an air conditioning room, Building and Environment, 42, -, 1531-1537, 2007.
- [5] BONEFACIC, I., FRANKOVIC, B., VILICIC, I., GLAZAR, V., Numerical modeling of temperature and air flow distribution in enclosed room, Proceedings of the Heat-SET 2007 Conference: Heat transfer in components and systems for sustainable energy technologies, Vol. II / Thonon, Bernard (ed). - Grenoble : Editions-GRETh , 1055-1062, 2007. (ISBN: 2-9502555-3-1).
- [6] CHOW, W. K., Numerical studies of airflows induced by mechanical ventilation and air-conditioning (MVAC) systems, Applied Energy, 68, -, 135-159, 2001.
- [7] CHUNG, K.-C., HSU, S.-P., Effect of ventilation pattern on room air and contaminant distribution, Building and Environment, 36, -, 989-998, 2001.
- [8] PITARMA, R. A., RAMOS, J. E., CARVALHO, M. G., Computational and experimental reduced-scale modelling of air-conditioned rooms, Building Simulation 2003: Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, 1041-1045, August 11-14, 2003.
- [9] TRIPATHI, B., MOULIC, S. G., Investigation of the airflow patterns inside a room through the low Re k-ε Model, Heat and Technology, 25, 1, 25-31, 2007.
- [10] ANN, K. H., LEE, I. S., Temperature field measurement around the room air conditioner using the LIF technique, JSME International Journal Series B, 43, 4, 622-627, 2000.
- [11] TÜRKOĞLU, H., ÇAKMANUS, İ., Kapalı mekanlarda panel ısıtma veya soğutmada sıcaklık ve hız dağılımı, Tesisat Mühendisliği, -, -, 53-59, Mayıs-Haziran 2001.
- [12] ÇAKIR, K., SAĞIR, E., Kapalı mahallerde termal konfor havalandırma sistemlerinde yeni nesil menfezler ve seçim kriterleri, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 3, 46-54, Eylül 2002.
- [13] KUAS, G., BAŞKAYA, Ş., Havalandırılan bir ofis odasında hava hareketinin sayısal analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 17, 2, 35-52, 2002.
- [14] BAŞKAYA, Ş., EKEN, E., Numerical investigation of air flow inside an office room under various ventilation conditions, Pamukkale Üniv. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 1, 87-95, 2006.
- [15] KARAOĞLU, E., ERSOY, H., Mekan içi hava hareketlerinin sonlu farklar yöntemi ile modellenmesi, MMO Mühendis ve Makine, 48, 564, 32-38, 2007.
- [16] BAŞYAZICI, İ. U., Jet fan ile otopark havalandırması, TTMD Dergisi, 61, -, 47-53, Mayıs-Haziran 2009.

- [17] ZHAI, Z., ZHANG, Z., ZHANG, W., CHEN, Q., Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: Part 1—Summary of Prevalent Turbulence Models, ASHRAE HVAC&R Research, 13, 6, 853-870, 2007.
- [18] LAUNDER, B.E., SPALDING, D.B., The numerical computation of turbulent flows, Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering, 3, -, 269-289, 1974.
- [19] LAUNDER, B.E., SPALDING, D.B., "Lectures in Mathematical Models of Turbulence", Academic Press, London, 1972.
- [20] BLAY, D., MERGUI, S., NICULAE, C., 1992, Confined Turbulent Mixed-Convection in the Presence of Horizontal Buoyant Wall Jet, ASME HTD, 213, Fundamentals of Mixed Convection, 65-72, 1992.
- [21] SORENSEN, D. N., NIELSEN, P. V., Quality control of Computational Fluid Dynamics in indoor environments, Indoor Air, 13, -, 2-17, 2003.
- [22] TOFTUM, J., MELIKOV, A., TYNEL, A., BRUZDA, M, FANGER, P. O., Human response to air movement-evaluation of ASHRAE's draft criteria (RP-843), ASHRAE HVAC&R Research, 9, 2, 187-202, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

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.