



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

İÇ HAVA KALİTESİNİN SAĞLANMASINDA SICAKLIK VE NEM DAĞILIMININ MODELENMESİ

**SEYHAN UYGUR ONBAŞIOĞLU
EREN DİKEÇ
BÜŞRA UĞURLU
ORKUN DOĞU
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**



İÇ HAVA KALİTESİNİN SAĞLANMASINDA SICAKLIK VE NEM DAĞILIMININ MODELLENMESİ

Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU
Eren DİKEÇ
Büşra UĞURLU
Orkun DOĞU

ÖZET

İç ortam havasının insan konforu açısından istenen koşullara getirilmesi, gıda ve değerli ürünlerin saklanması, kurutma işlemleri ve benzer uygulamalar; kapalı bir hacmin içerisinde türbülanslı momentum, ısı geçişi ve havanın içerdiği su buharının dolaşımının incelenmesini gerektirir. Bu dolaşımda, havanın hacim içerisine giriş hızı, sıcaklığı ve nemi gibi işletimsel değişkenlerin yanısıra; giriş ve çıkış menfezlerinin konumları da etkilidir. Öte yandan; iç hava kalitesinin belirlenmesinde, toz ve kurum başta olmak üzere, katı parçacıkların konum ve miktarı da önemlidir. Bu çalışmada, sözedilen değişkenlere bağlı olan momentum, ısı ve kütle geçişi ile birlikte, hacim içerisinde mikron mertebesindeki katı parçacıkların hareketleri de modellenmiştir. Bu modelleme, parçacıkların hava akışı ile ısı ve kimyasal açıdan etkilenmediği; ancak, bu akış tarafından “taşındığı” varsayımıyla, örnek probleme uyarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Isı ve Kütle Geçişi, Ayırık Faz Modellemesi, Katı Parçacık Taşınımı

ABSTRACT

To supply a comfortable indoor environment, preserving food and valuebles, drying processes and many more similar projects depend on the investigation of turbulent momentum, heat and mass transfer in enclosures. This transport phenomena depends on both the operational parameters such as inlet air velocity, temperature, humidity etc., and the structural ones such as the location of inlet and exit openings. On the other hand, also location and amount the indoor existing solid particles, especially like dust and combustion remedies are important for the indoor air quality. In the current study movement of the solid particles are modelled together with momentum, heat and mass transport. No thermal and chemical interaction between the solid particles and the air flow has been assumed. Only the convection of the solids by the air flow has been considered. Diameters of the solid particles modelled as a discrete phase are in the order of magnitude of 10^{-6} .

Key words: Computational Fluid Dynamics, Heat and Mass Transfer, Discrete Phase Modelling, Convection of Solid Particles

1. GİRİŞ

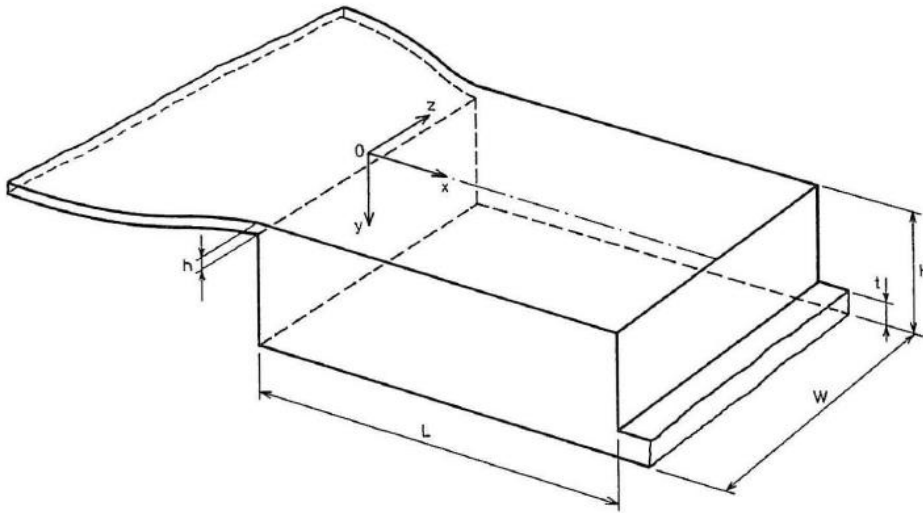
Dünya ölçeğinde, enerjinin %40'nın binalarda tüketildiği bilinmektedir [1]. Öte yandan konfor koşulları iyileştirilmiş ortamlarda yaşamak, uygar hayatın gereklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, sıcaklık ve nem açısından konfor koşullarında yaşanırken, enerji tüketimini en aza indiren

malzemelerin kullanılması, tasarımların oluşturulması iç hava kalitesinin oluşturulmasında önemli adımlardır. Literatürde, iç hava kalitesi ile ilgili olarak çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ulaşımındaki [2,3], kamu binalarındaki [4-6], ofislerdeki [7], konutlardaki [8,9] kapalı hacimler içerisinde iç havanın ısı özelliklerinin incelendiği örnekler yaygındır. Bu tür çalışmalarda üzerinde çalışılan anahtar parametreler iç ortam havasının sıcaklığı, hızı ve nemidir. Ancak; incelenen ortam yaşama alanı olduğunda insan vücudunun ve eşyaların; mal saklanan ya da şartlandırılan hacimlerde ise yükün, ısı ve kütle kaynağı olarak davranışları da ölçülmeli ve konfor ortamına katkıları incelenmelidir. Özellikle, yerden ısıtma gibi uygulamalarda ve yiyecek saklama ya da olgunlaştırma tesislerinde hava içerisindeki katı parçacıklarının da etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı konumlarda yerleştirilmiş ısıtıcılar ile ısıtılan kapalı mekanların sayısal ve deneysel çalışmalarla incelenmesi çalışmaları mevcuttur [10,11]. Ancak; ortam içerisindeki katı parçacıkların giderilmesine yönelik menfez konu veya ısıtıcı konumlandırması, özel uygulamalar dışında, filtrasyon konusunun dışına çıkmamıştır.

Bu çalışmada; ortam içerisindeki toz parçacıklarının giderilmesini de içeren iklimlendirme tasarımlarının hesaplamalı yöntemlerle yapılabilmesi için, türbülansa izin verilen kapalı ortamlarda, menfez konumlarının ve üfleme hızlarının etkileri incelenmiş; ısı ve kütle geçişinin modellenmesinde kullanılan yöntemlerin fiziksel temelleri anlatılmıştır.

2. MODELLEME VE DOĞRULAMA

İç ortamlardaki hava hareketlerinin incelenmesi, bilgisayar kapasitelerindeki gelişme ile paralel olarak yaygınlaşmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalarda Laser Doppler Anemometresi ve Sıcak Tel Anemometresi kullanılarak hava girişi ve çıkışı bulunan iç ortamlarda, hava jetinin tavandan ayrılması irdelenmiş; akım değerleri ölçülmüş ve hesaplanmıştır [12]. Bu çalışmadaki geometri Şekil 1'de görülmektedir.

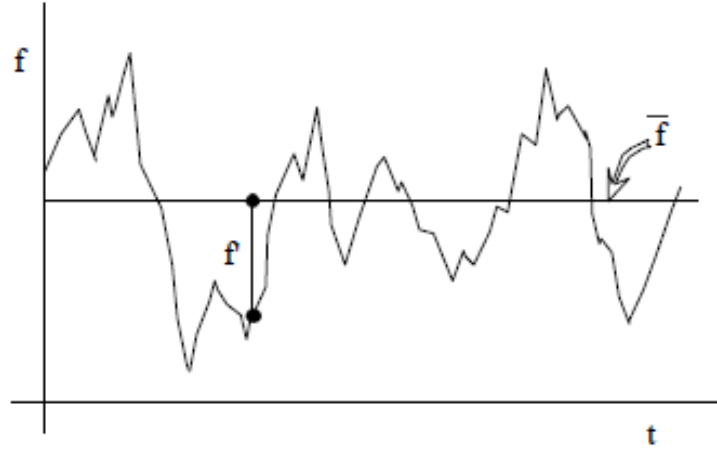


Şekil 1. Doğrulama için kullanılan geometri [12].

Kapalı bir hacimdeki akış, özel amaçlı (ameliyat, ilaç ve özel yiyecek işlemleri gibi) yerlerde olduğu gibi dışarıdan müdahale edilmezse, türbülanslıdır. Türbülans, doğal ya da zorlanmış tüm akışların doğasında bulunmaktadır. Türbülansın şiddeti, kinetik enerjisi ile karakteristik hız arasındaki bağıntı ile değerlendirilir:

$$l = \sqrt{k}/u_0 \quad (1)$$

Türbülansın kinetik enerjisi, aynı yöndeki hız salınımlarına (Şekil 2) bağlı bir büyüklüktür.



Şekil 2. Herhangi bir değişkenin (f) zamana bağlı değişiminde ortalaması (\bar{f}) ile anlık değeri (f) arasındaki fark salınım (f') olarak adlandırılır.

Türbülanslı bir akışın modellenmesi yapıldığında çözülen momentum ve süreklilik denklemleri aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\bar{P}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right) \quad (3)$$

Bu denklemlerde görülen teriminin modellenmesi için kullanılan yöntem, deneysel olarak elde edilmiş olan sonuçlarla karşılaştırıldığında güvenilir olacaktır. Bu çalışmada kullanılan k-ε modelinde, (1) ve (2) denklemlerine ilave olarak, türbülansın kinetik enerjisi ve bu enerjinin dissipasyonu için transport denklemleri çözülmektedir:

$$\frac{dk}{dt} = P + \left(\frac{v_t}{h_k} k_{,j} \right)_{,j} - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = C_{\varepsilon 1} \frac{P\varepsilon}{k} + \left(\frac{v_t}{h_\varepsilon} \varepsilon_{,j} \right)_{,j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Burada P, türbülansın üretimini temsil eden terim, h_ε ise, problemde enerji ve kütle denklemlerinin de yer alması durumunda, kullanılması gereken türbülanslı Prandtl ve türbülanslı Schmidt sayılarıdır. Türbülanslı Prandtl ve türbülanslı Schmidt sayıları akışkanın değil, akışın özellikleri olduklarından, modellemede etkileri önemlidir.

İç hava kalitesinin belirlenmesinde çözülen enerji ve kütle transport denklemleri şu şekildedir:

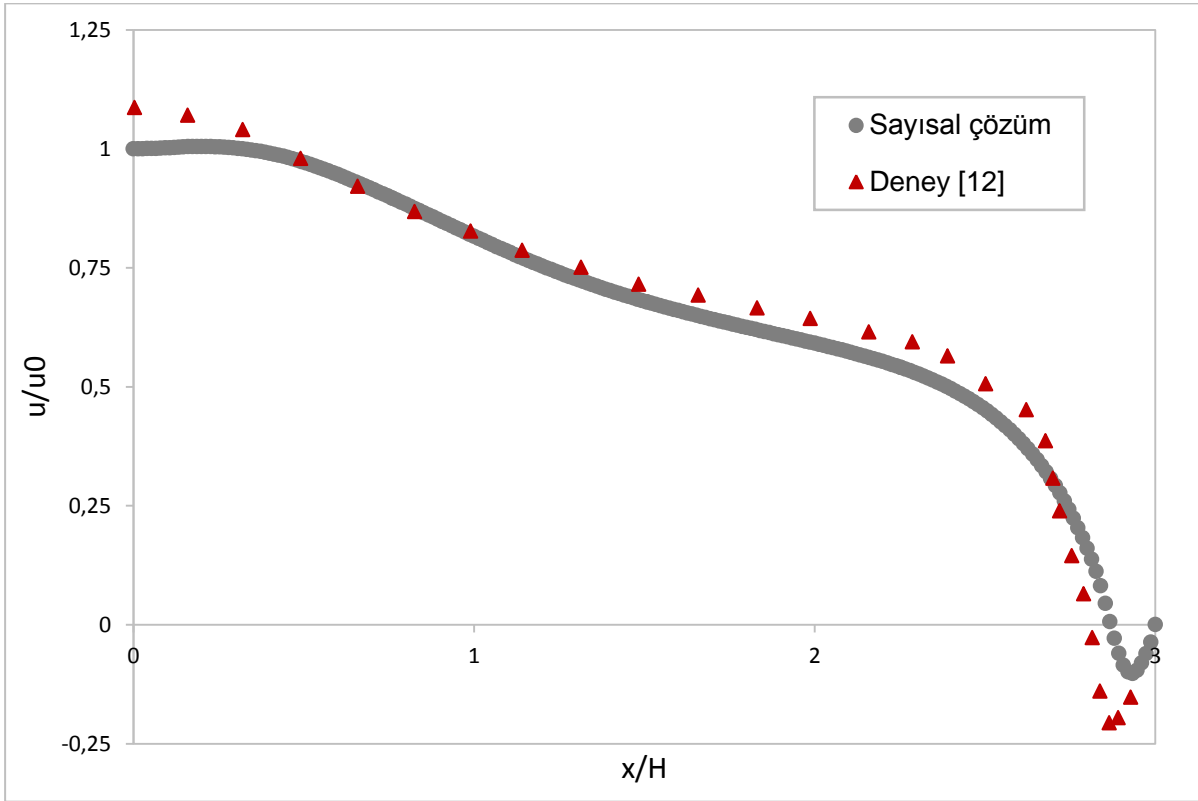
$$\frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\sigma \frac{\partial \bar{\Gamma}}{\partial x_j} - \overline{u_j \gamma} \right) \quad (6)$$

Burada, \bar{T} sıcaklık veya derişikliğin ortalama değeri; γ ise salınım değerleridir.

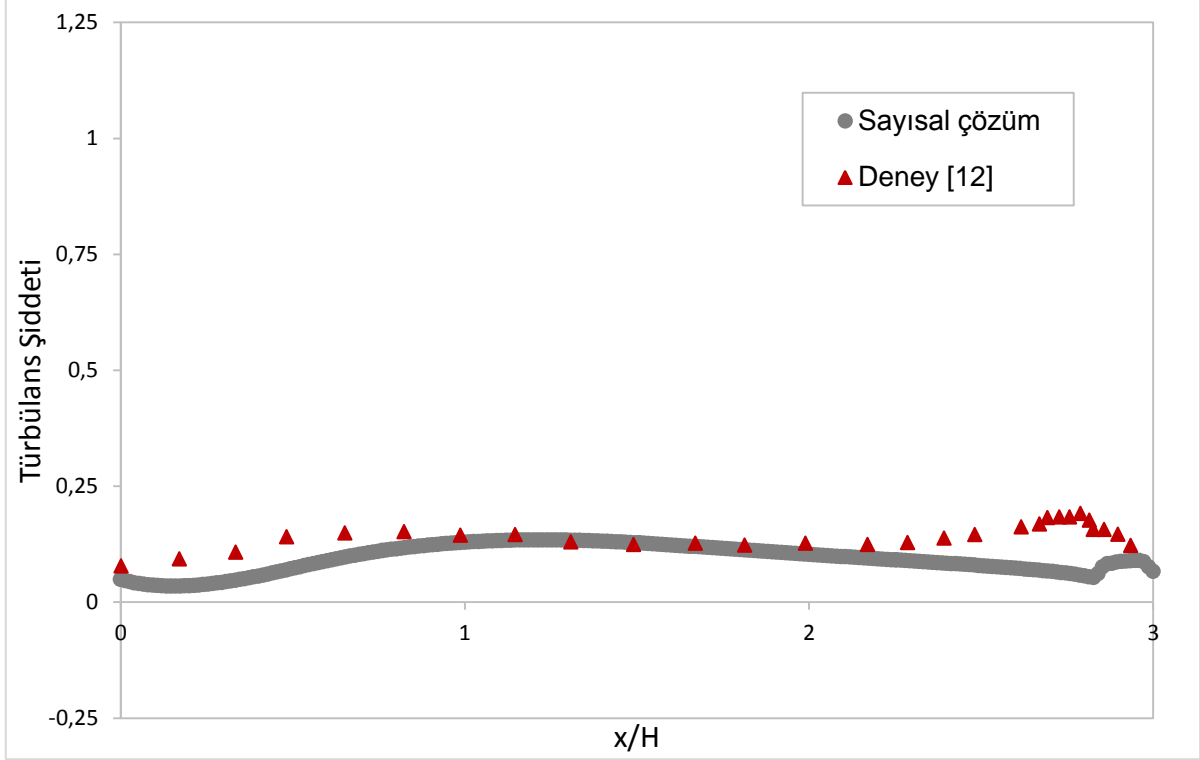
Menfez yüksekliği ve hava jeti giriş hızının, Reynolds sayısının

$$Re = \frac{h \cdot u_0}{\nu} \quad (7)$$

5000 değeri ne eşit olacak şekilde belirlendiği geometri için, modelin doğrulanmasında, enerji ve kütle transportu değil; yalnızca, momentum transportu göz önüne alınmış ve deneysel sonuçlarla uyum sağlanmışır (Şekil 4). Modelin çıkışına yakın bölgede deneysel verilerden sapma görülmüştür. Bu sapma, sözü geçen bölgede boyutsuz mesafe değeri nin ($y^+ = \rho u y / \mu$) tavsiye edilen aralık ile tam olarak [15] uyuşmamasından kaynaklanmaktadır.



(a)



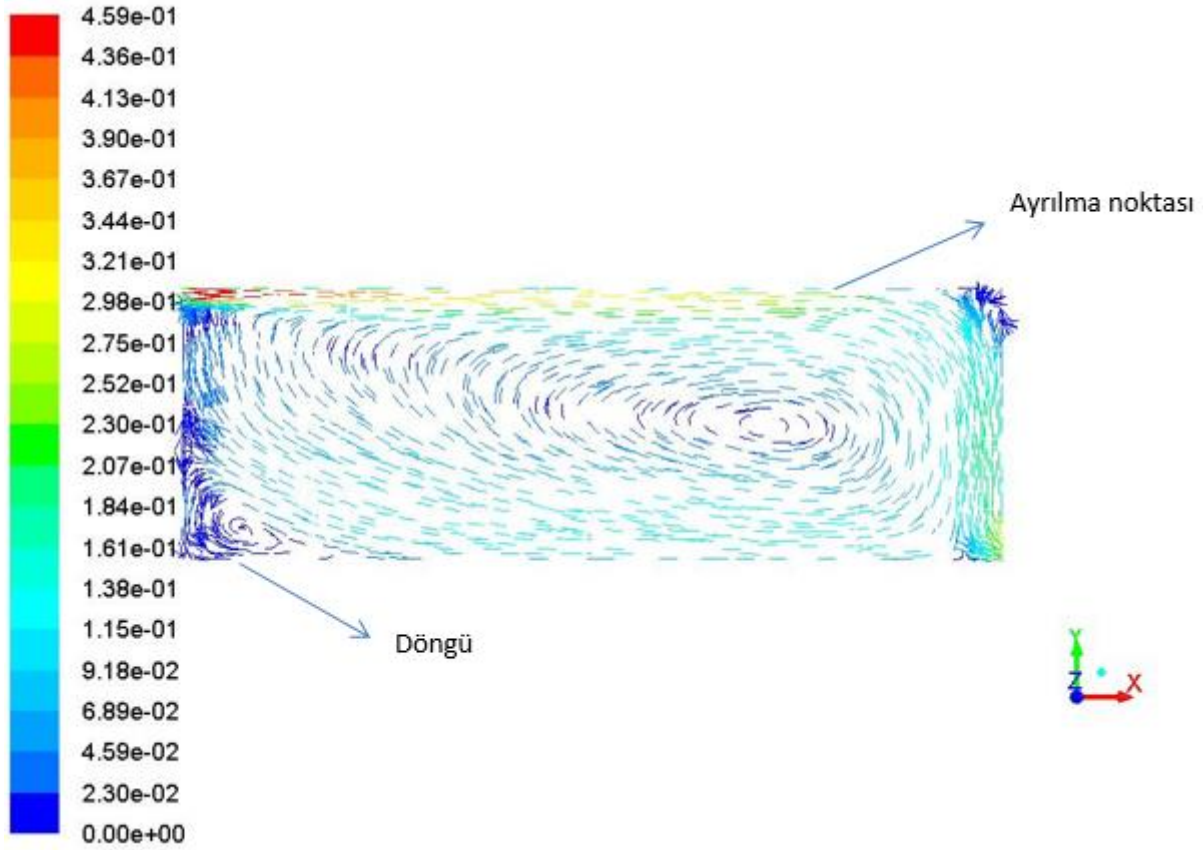
(b)

Şekil 4. Kullanılan modelin doğrulanması ($y=h/2$) a) hız, b) türbülans şiddeti.

Öte yandan, çalışmada hava jetinin odaya giriş sıcaklığı 280 K, odanın başlangıç sıcaklığı ise 310 K alınarak, “Archimedes” sayısı

$$Ar = \frac{\beta \cdot g \cdot h \cdot \Delta T_o}{u_o^2} \quad (8)$$

0.6 olarak hesaplanmıştır. “Nüfuz derinliği” olarak adlandırılan, soğuk hava jetinin tavandan ayrıldığı konumun, giriş menfezine mesafesi yapılan ölçümlerde, menfez yüksekliği (h) göz önüne alındığında, oda yüksekliğinin 1.2-1.5 katı olarak bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda nüfuz derinliği, yüksekliğin 1.3 katıdır (Şekil 5).

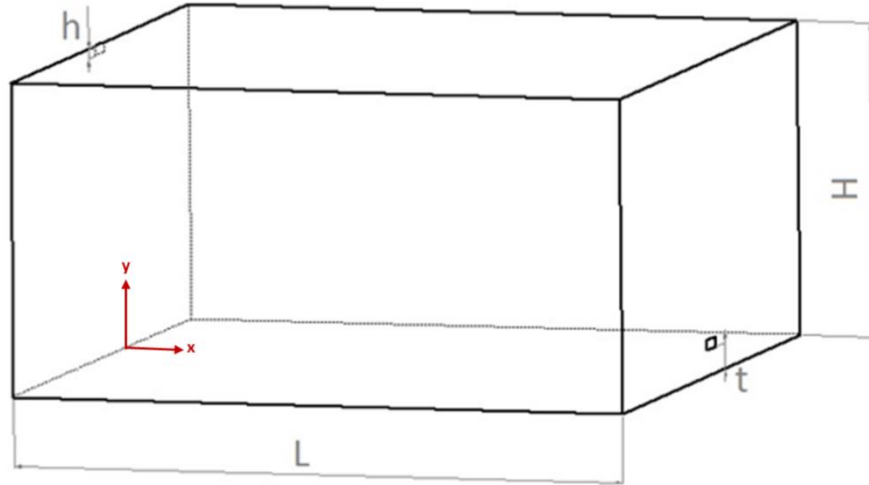


Şekil 5. Akış çizgileri [m/s].

Burada doğrulanan yöntemde, yukarıda belirtilen gibi k-ε modelinin, kapalı ortamlardaki döngüleri (Şekil 5) belirlemede başarılı olan bir çeşidi kullanılmıştır. Gözlemlenmesi pahalı ölçüm araçları gerektiren bu döngüler, köşelerdeki ölü bölgelerde gelişirler. Uygulamada, tozların köşelerde birikmesi döngüler nedeniyledir. Ancak; tozların modellenmesi için enerji ve nem transportu ile birlikte katı parçacıkların da akış tarafından taşınması irdelenmelidir. Döngüler, duvarla akış arasındaki etkileşime de önemli ölçüde bağlıdır. Bu nedenle, türbülanslı akışın modellenmesinde duvar fonksiyonlarının da, akışa uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu seçimde iki temel yaklaşım kullanılır: i-Duvara belirli bir mesafede modelin değil, fonksiyonun kullanılması (standart duvar fonksiyonu). ii-Duvara belirli bir mesafede düşük Reynolds sayılı modelin kullanılması.

3. UYGULAMA MODELİ

Toz zerreciklerinin, oda içerisinde, momentum, enerji ve kütle transportu ile birlikte hareketinin modellenmesi için uygulamaya yakın bir geometri üzerinde, yukarıda doğrulanan model aracılığıyla inceleme yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Uygulamadaki modelin geometrisi.

Modeldeki boyutlar aşağıda verilmiştir:

Menfez yüksekliği	$h = 0.1 \text{ m}$
Oda yüksekliği	$H = 3 \text{ m}$
Oda uzunluğu	$L = 6 \text{ m}$
Çıkış menfezinin yerden yüksekliği	$t = 0 \text{ (Model 1) ve } t = 0.25 \text{ m (Model 2)}$

Oda hacmi kadar dış havanın, oda içerisinde bulunan hava ile değiştirilerek mahal havasının yenilenmesi yaklaşımını esas alan saatlik hava değişim hesabına göre dış hava miktarı belirlenmiştir.

$$Q = H_d \times V_m \quad (9)$$

Burada;

Q : Odaya üflenen hava debisi (m^3/h)

H_d : Hava değişim sayısı

V_m : Odanın toplam hacmi (m^3) şeklindedir [13]

Bu yaklaşıma göre, odaya üflenmesi gereken debi miktarı $540 \text{m}^3/\text{h}$ ($0.15 \text{m}^3/\text{s}$) olarak hesaplanmıştır. Menfez çıkış hızı ise gürültü sınırını aşmayacak düzeyde, çeşitli uygulamalarda önerilen hız sınırlarına göre 5m/s olarak belirlenmiştir [14]. Bu durumda kanal kesit alanı 0.03m^2 olarak hesaplanmış, kanal kesitinin ise 100×300 boyutlarında seçilmesi uygun görülmüştür.

Momentum, enerji ve kütle sınır koşulları Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. Momentum, enerji ve kütle sınır koşulları.

	Hız [m/s]	Basınç [Pa]	Sıcaklık [K]	Konsantrasyon
$0 < y < H-h, x=0$	0	-	$q'' = \text{sabit}$	$\frac{\partial C}{\partial x_n} = 0$
$H-h < y < H, x=0$	$V_{\text{giriş}}$	-	$T_{\text{giriş}}$	$C_{\text{giriş}}$
$t < y < t+h, x=L$	-	$P_{\text{çıkış}}$	$T_{\text{çıkış}}$	$\frac{\partial C}{\partial x_n} = 0$

$t+h < y < H, x=L$	0	-	$q'' = \text{sabit}$	$\frac{\partial C}{\partial x_n} = 0$
$0 < x < L, y=0$	0	-	$q'' = \text{sabit}$	$\frac{\partial C}{\partial x_n} = 0$
$0 < x < L, y=H$	0	-	$q'' = \text{sabit}$	$\frac{\partial C}{\partial x_n} = 0$

Çalışmada, çıkış menfezinin yerden yüksekliğinin yanı sıra, giriş hızı ve nem transportunun katı parçacıklarının hareketine etkisi incelenmiştir.

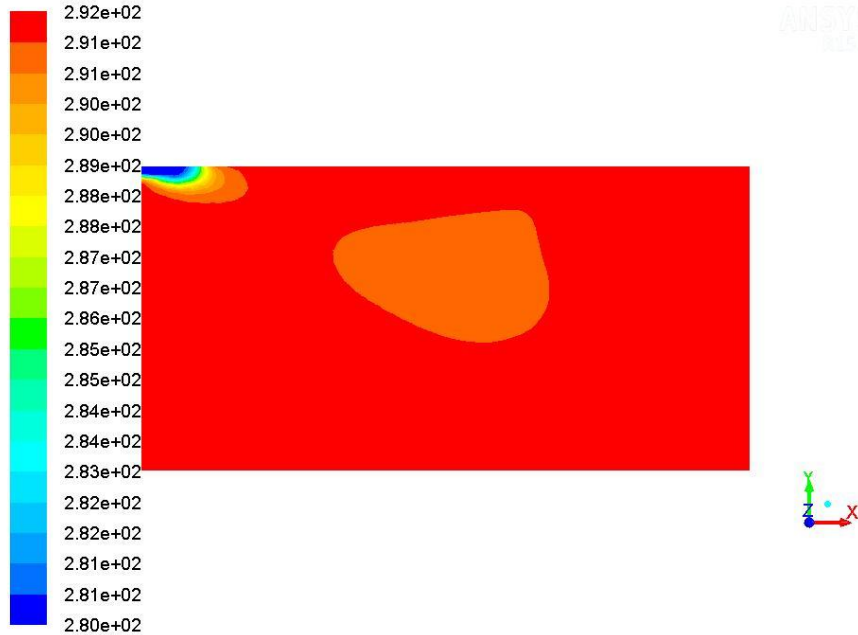
Katı parçacık modellenmesi ayırık faz kabulü ile yapılmıştır. Bu modellemede, noktasal, çizgisel veya yüzeysel olarak katı parçacıklar yerleştirilmekte ve parçacıkların akış sırasındaki davranışları izlenmektedir. Yüzeyler, katı parçacıklar için “tutan” veya “yansıtan” olarak davranabilecekleri gibi, giriş ve çıkışlar “bırakan” olarak verilmektedir. Bir başka deyişle, yüzeylere gelen toz zerrecikleri, hareketleri engellenecek şekilde duvar üzerine yapışabilirler ya da herhangi bir açı ile yüzeyden uzaklaşabilirler. Bu çalışmada tüm duvarlar “tutan” olarak kabul edilmiştir.

SONUÇLAR

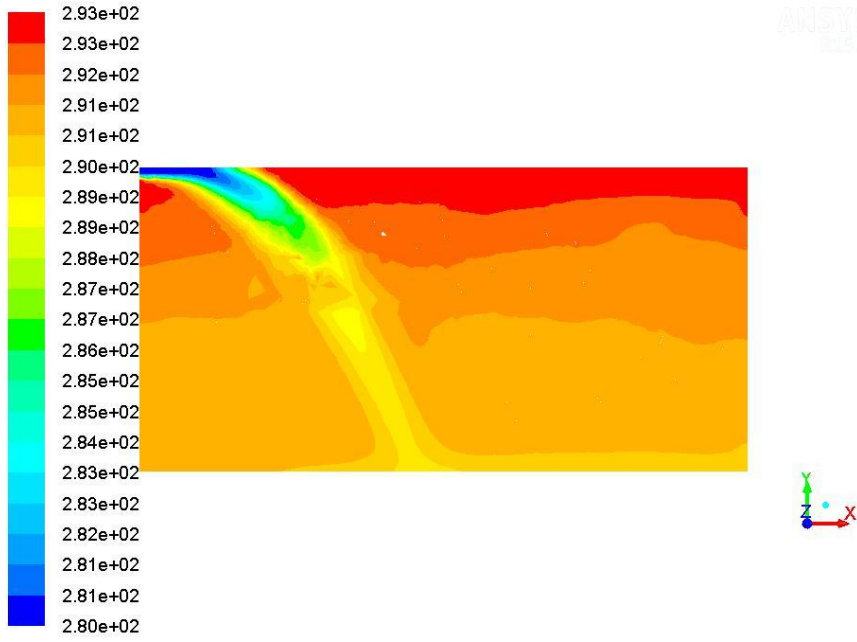
a) Katı parçacıkların bulunmadığı durum

Bu durumda, her iki model için ($t = 0$ ve $t = 0.25$ m) momentum, enerji ve kütle denklemleri çözülmüştür.

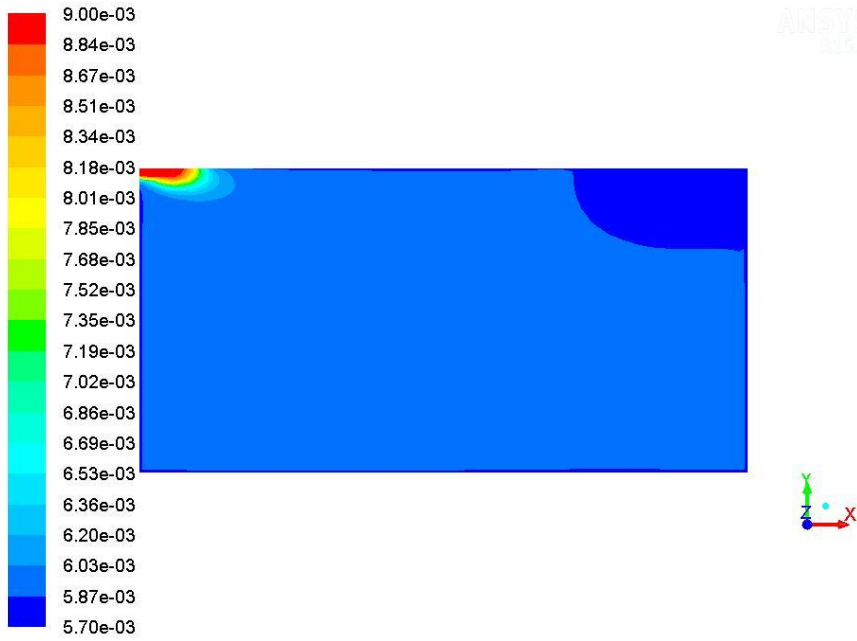
Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmiş olan eş sıcaklık ve eş nem eğrilerinden, $t = 0$ geometrisinde (Model 1) homojen bir dağılım, Model 2 için ise jetin tavadan kısa sürede ayrıldığı görülmektedir.



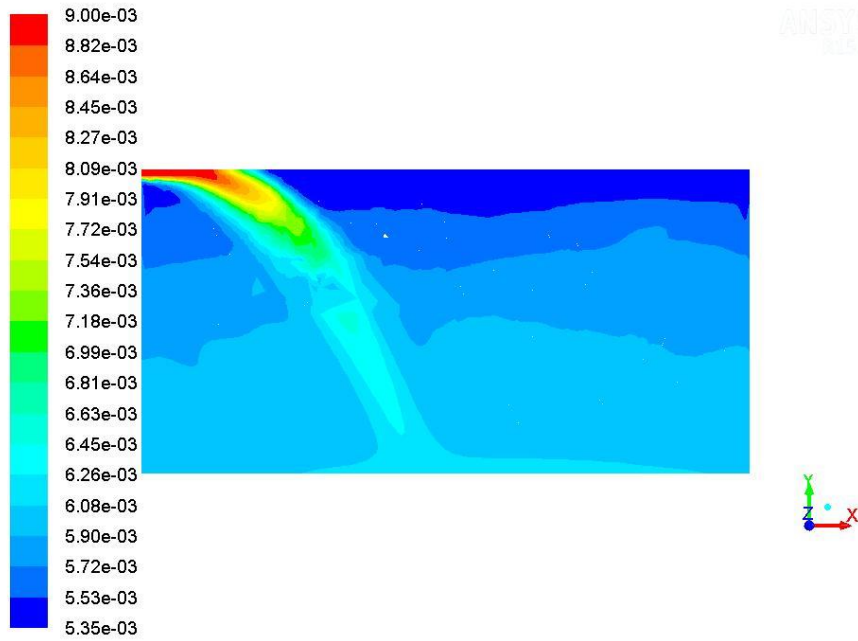
(a) Model 1



(b) Model 2

Şekil 7. Katı parçacıkların olmadığı durumda eş sıcaklık eğrileri [K]

(a) Model 1



(b) Model 2

Şekil 8. Katı parçacıkların olmadığı durumda eş nem eğrileri [kg su buharı/kg kuru hava]

Çıkış menfezinin yerden olan yüksekliği nedeni ile duvar etkileşiminin ve ölü bölgelerin etkili olacağı düşünülen Model 2 için her iki duvar yaklaşımı da kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar i-) standart duvar fonksiyonlarının, ii-) duvar yakınında düşük Reynolds sayılı modellerin kullanılmasıdır.

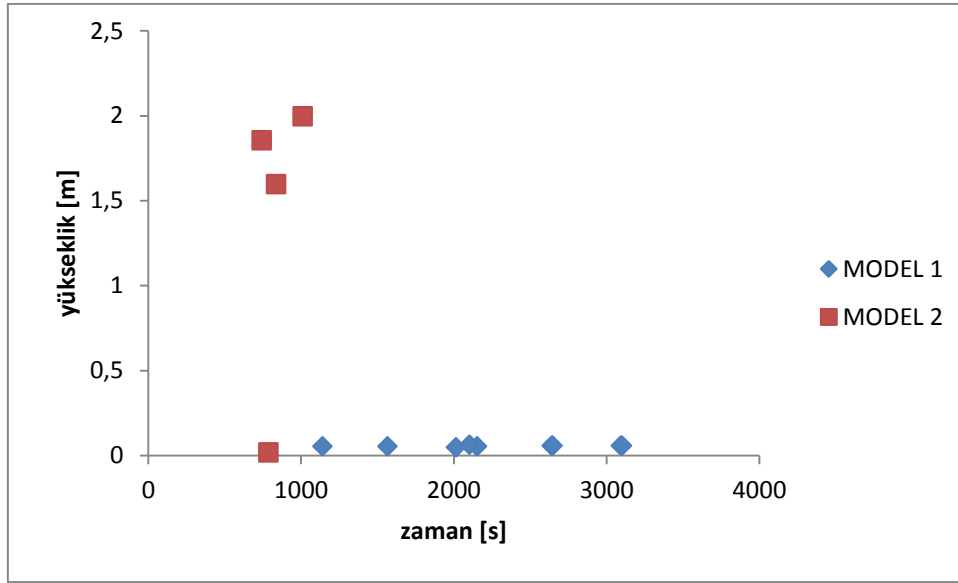
b) Geometrinin katı parçacıkların hareketine etkisi

Şekil 6'da gösterilen oda geometrisinin tabanına yerleştirilen, 1 µm çapında, 20 adet toz parçacığının hareketi duvarlara "tutan", giriş ve çıkış menfezlerine "bırakan" sınır şartları verilerek çözülmüştür. Tablo 1'de, parçacıkların 1 saat içerisinde aldıkları konumlar verilmektedir. Buna göre, her iki modelde, 11 adet parçacık duvarlara "kapılarak" hareketsiz kalırken, Model 2'de, 5 adet parçacık çıkış menfezinden "kaçmış"tır. Kalan parçacıkların (Model 1 için 9, Model 2 için 4) yüksekliğe göre değişimleri ve bu yüksekliğe gelmiş oldukları zaman Şekil 9'da verilmektedir. Tablo 1, tabanla arasına mesafe bırakılarak yerleştirilen çıkış menfezinin, akışın ilk anlarından itibaren parçacıkların dışarıya çıkmalarını sağladığını göstermektedir. Ancak; içeride kalan parçacıkların, bu model için, solunum düzeyinde olduğu; diğer geometride ise kalan parçacıkların taban yüzeyinden çok az yükselmiş oldukları görülmektedir. Tablo 2'de içeride kalan katı parçacığın oda hacmine oranları, 1 saat için, verilmiştir. Bu değerlerin, ASHRAE standartlarına göre 24 saat için 150 µg/m³ olduğu [16] göz önüne alındığında, Model 2'nin tercih edilmesi gerektiği düşünülse de, kalan parçacıkların yükseklik değerleri de göz önüne alınmalıdır.

Tablo 2. Katı parçacıkların dağılımı (1 saat içerisinde).

Bölge	Model1	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]	Model2	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]
Çıkış menfezi	-	-	-	5 bırakılan	28	665
Tavan	5 tutulan	8.5	455	5 tutulan	2.43	6.36
Sağ duvar	1 tutulan	22	22	1 tutulan	6x10 ⁻⁵	

Sol duvar	1 tutulan	1.74	1.75	2 tutulan	167	361
Ön duvar (Giriş menfezinin olduğu)	2 tutulan	1.41	3.44	1 tutulan	7×10^{-6}	
Arka duvar (Çıkış menfezinin olduğu)	2 tutulan	0.00000075	31.5	2	50	61



Şekil 9. 1 saat sonunda kalan parçacıkların buldukları yükseklik [m].

Tablo 3. Hacim içerisinde kalan katı parçacık oranı (1 saat sonra) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

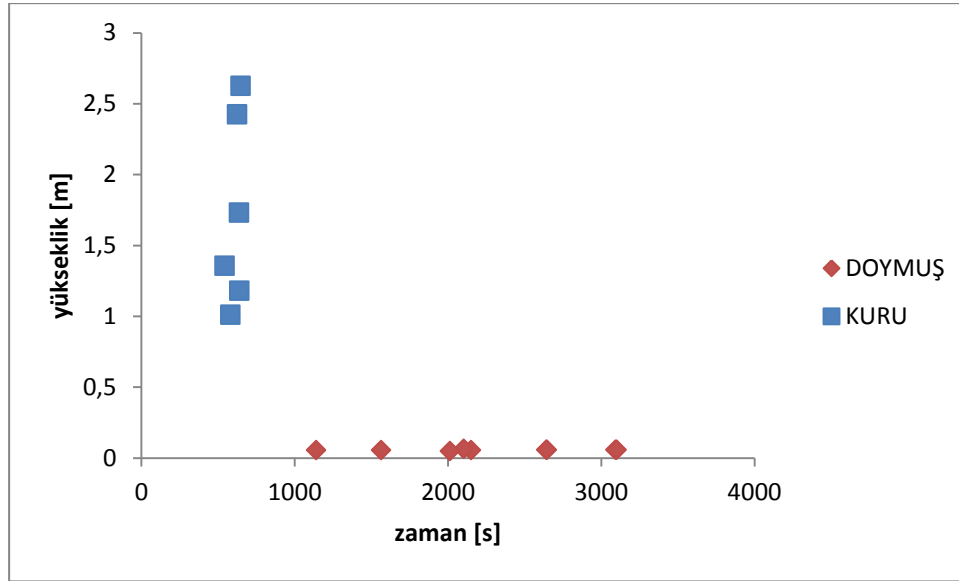
Model 1	8.64×10^{-5}
Model 2	1.2×10^{-5}

c) Nemli havanın katı parçacıklara etkisi

Hacim içerisindeki havanın içerdiği nem miktarı da, katı parçacıkların etkileyecektir. Bunun nedeni, parçacıklar ile hava arasında bir etkileşim olmasa da; parçacık hareketinin momentum, enerji ve kütle geçişine bağlı olmasıdır. Tablo 3'te parçacıkların davranışı, Model 1 için, havanın kuru olması ve giriş menfezinden doymuş hava verilmesi durumlarında, katı parçacıkların 1 saat içerisindeki dağılımları verilmiştir. Şekil 10'da ise, içeride kalan parçacıkların 1 saat sonundaki yükseklikleri ve bu yüksekliğe gelmiş oldukları zaman görülmektedir. Kuru havada, parçacıkların çıkış menfezinden bırakılarak, içeride kalan parçacık oranı (Tablo 4) azaltılsa da, yüksekliğin solunum hızında olması iç hava kalitesi açısından değerlendirilmelidir.

Tablo 4. Model 1 için hava jetinin kuru ve neme doymuş olmaları durumuna katı parçacıkların dağılımı (1 saat içerisinde)

Bölge	Kuru	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]	Neme doymuş	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]
Çıkış menfezi	4 bırakılan	6.55	570	-	-	-
Tavan	-	-	-	5 tutulan	8.5	455
Sağ duvar	1 tutulan	400	400	1 tutulan	22	22
Sol duvar	3 tutulan	7×10^{-6}	8	1 tutulan	1.74	1.75
Ön duvar (Giriş menfezinin olduğu)	2 tutulan	17	18	2 tutulan	1.41	3.44
Arka duvar (çıkış menfezinin olduğu)	4 tutulan	7×10^{-6}	326	2 tutulan	0.00000075	31.5

**Şekil 10.** Model 1 için 1 saat sonunda kalan parçacıkların buldukları yükseklik [m].**Tablo 5.** Model 1 için hacim içerisinde kalan katı parçacık oranı (1 saat sonra) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Doymuş	8.64×10^{-5}
Kuru	1.19×10^{-5}

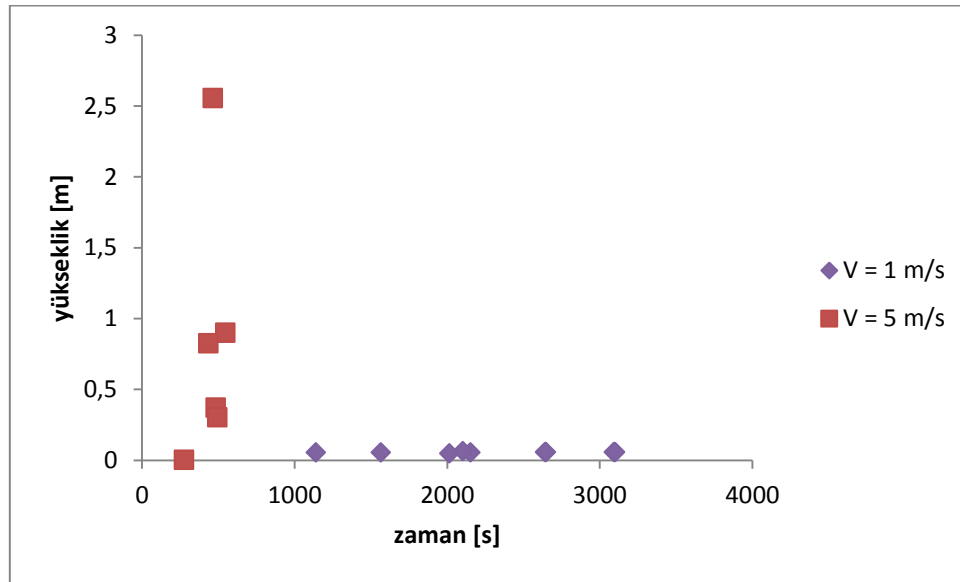
d) Hava giriş hızının katı parçacıklara etkisi.

Giriş hızının etkisinin görülebilmesi için, Model 1 geometrisi için, neme doymuş hava, 5 kat hızla odaya gönderilmiştir. Bu durumda, duvarlarda tutulan ve çıkış menfezinden bırakılan parçacık sayısı azalmıştır (Tablo 5). Öte yandan, 1 saat içerisinde kalan parçacıkların yükseldiği (Şekil 11)

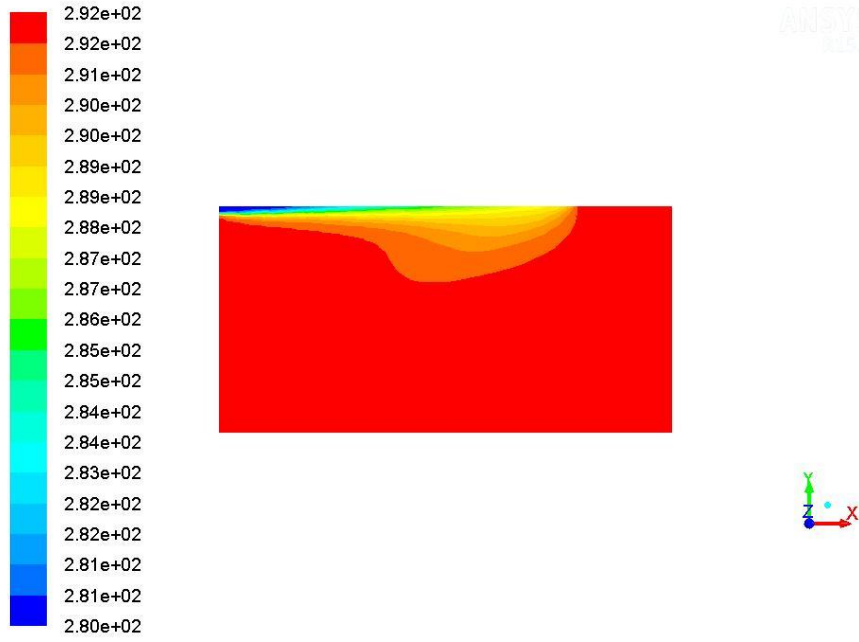
görülmektedir. Fakat bu yükselme, daha düşük hızdaki kuru havanın yükselişine göre daha yavaş olmakta; oda içerisindeki sıcaklık dağılımının düzgünlüğü yüksek hızda artmaktadır (Şekil 12).

Tablo 6. Model 1 için hava hızının katı parçacıkların dağılımına etkisi (1 saat içerisinde)

Bölge	V = 5 m/s	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]	V = 1 m/s	İlk tutma/ bırakma zamanı [s]	Son tutma/ bırakma zamanı [s]
Çıkış menfezi	4 tutulan	160	450	-	-	-
Tavan				5 tutulan	8.5	455
Sağ duvar				1 tutulan	22	22
Sol duvar	1 tutulan	4.2×10^{-5}	4.2×10^{-5}	1 tutulan	1.74	1.75
Ön duvar (Giriş menfezinin olduğu)	1 tutulan	175	175	2 tutulan	1.41	3.44
Arka duvar (çıkış menfezinin olduğu)	2 tutulan	7.5×10^{-6}	1.69	2 tutulan	0.00000075	31.5



Şekil 11. Model 1 için doymuş hava durumunda, 1 saat sonunda kalan parçacıkların buldukları yükseklik [m].



Şekil 12. Model 1 için, yüksek hızda sıcaklık dağılımı.

YORUMLAR

Bu çalışmada, iklimlendirilen bir ortam içerisindeki türbülanslı hava hareketi, ısı ve kütle geçişi ile birlikte modellenirken; ortam ile ısıl ve kimyasal açılarından bir etkileşimde bulunmayan, mikron mertebesindeki parçacıkların dolaşımı da göz önüne alınmıştır. Böylece; havada asılı olan yanma sonu katı parçacıkların ve tozların önemli sağlık sorunlarına yol açtığı çevrelerde; iklimlendirme sistemlerinin yapısal (menfez konumları) ve işletimsel (giriş hızları ve özgül nem oranları) özelliklerinin belirlenmesi mümkün olacaktır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, çıkış menfezi ile taban arasında mesafe bırakılmamalı, hava nemlendirilerek verilmeli; hava hızı, sıcaklık dağılımını düzgün kılarken, içeride kalan parçacıkları yükseltmeyecek şekilde belirlenmelidir. Çalışmanın genelleştirilmesi için; parçacık çapı, sayısı ve kaynağı genişletilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] European Commission, EU Energy Policy for Buildings after the recast, UnitD4—Energy Efficiency, DG TREN, Directorate General for Energy and Transport. [_http://ec.europa.eu/energy/efficiency/doc/buildings/presentation_generalshort.pdf_](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/doc/buildings/presentation_generalshort.pdf) [erişim tarihi Mayıs 2014].
- [2] ALAHMER A., ABDELHAMİD M., OMAR M., Design for thermal sensation and comfortstates in vehicles cabins, Appl. Therm. Eng. 36 (2012) 126–140.
- [3] LI F., LIU J., PEI J., LIN C.H., CHEN Q., Experimental study of gaseous and particulate contaminants distribution in an aircraft cabin, Atmos. Environ. 85 (2014)223–233.
- [4] POURSHAGHAGHY A., OMİDVARİ M., Examination of thermal comfort in a hospital nusing PMV–PPD model, Appl. Ergon. 43 (2012) 1089–1095.
- [5] ALFANO F.R.D., IANNIELLO E., PALELLA B.I., PMV–PPD and acceptability in naturalventilated schools, Build. Environ. 67 (2013) 129–137.



- [6] BARBHUIYA S., BARBHUIYA S., Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building, *Build. Environ.* 68 (2013) 1–11.
- [7] HENS H.S.L.C., Thermal comfort in office buildings: two case studies commented, *Build. Environ.* 44 (2009) 1399–1408.
- [8] BOS M.A., LOVE J.A., A field study of thermal comfort with underfloor air distribution, *Build. Environ.* 69 (2013) 233–240.
- [9] PARK A.H., CHUNG W.J., YEO M.S., KİM K.W., Evaluation of the thermal performance of a Thermally Activated Building System (TABS) according to the thermal load in a residential building, *Energy Build.* 73 (2014) 69–82.
- [10] MYHREN J.A., HOLMBERG S., Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating, *Energy Build.* 40 (2008) 524–536.
- [11] TYE-GINGRAS M., GOSSELİN L., Comfort and energy consumption of hydronic heating radiant ceilings and walls based on CFD analysis, *Build. Environ.* 54 (2012) 1–13.
- [12] NIELSEN, P. V. (1990). Specification of a Two-Dimensional Test Case: (IEA). Aalborg: Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. (Gul serie; No. 8, Vol. R9040).
- [13] DOĞAN, H., "Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği", Seçkin Yayıncılık, 2013
- [14] Hava Koşullandırma Sistem Tasarımı (2004). Alarko Carrier Yayınları, Yayın No: 2004-5, Cilt 1
- [15] ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide (2009). ANSYS, Inc.
- [16] ASHRAE 62-1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Table 1.

ÖZGEÇMİŞ

Seyhan UYGUR ONBAŞIOĞLU

1988 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 1990 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında doktora derecelerini almıştır. Aynı birimde öğretim üyesidir. Endüstri destekli olarak kurulmuş olan Yüksek Sıcaklıkta Isı Geçişi Laboratuvarı'nda, sayısal ve deneysel çalışmaları kapsayan araştırmaları yürütmektedir. Türbülanslı ısı ve kütle geçişi ve yenilenebilir enerji sistemleri konularında çalışmaktadır.

Eren DİKEÇ

2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Öğrenimine aynı üniversitenin Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı'nda devam etmektedir. 2014 yılından itibaren aynı bölümde araştırma görevlisi olarak görev yapmakta ve 113M525 numaralı "Kapalı Hacimlerdeki Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Yalıtım Etkisinin İyileştirilmesi" isimli Tübitak projesinde proje bursiyeri olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Büşra UĞURLU

2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Öğrenimine aynı üniversitenin Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı'nda devam etmektedir. 113M525 numaralı "Kapalı Hacimlerdeki Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Yalıtım Etkisinin İyileştirilmesi" isimli Tübitak projesinde proje bursiyeri olarak çalışmalarına devam etmektedir.

Orkun DOĞU

2013 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Öğrenimine aynı üniversitenin Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı'nda devam etmektedir. 113M525 numaralı "Kapalı Hacimlerdeki Yüksek Sıcaklık Uygulamalarında Yalıtım Etkisinin İyileştirilmesi" isimli Tübitak projesinde proje bursiyeri olarak çalışmalarına devam etmektedir. .

