

İÇİNDE OTURAN İNSAN OLAN RADYATÖRLE ISITILAN BİR ODADAKİ ISIL KONFOR, AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

Muhsin KILIÇ
Gökhan SEVİLGİN

ÖZET

Bu çalışmada, içinde oturan bir insan olan radyatörle ısıtılan bir odada hava akışı ve sıcaklık dağılımı üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir. Hesaplama gerçekte insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken kullanılmıştır. Vücutla çevresi arasındaki ısı etkileşim ortamındaki akış, sıcaklık ve nem dağılımı belirlenmiştir. Bu kapsamda üç boyutlu curvilinear koordinat sisteminde Navier-Stokes denklemlerinin yanında enerji ve transport denklemleri de çözümlenmiştir. Modelde doğal taşınım etkileri için değişken özellikler, vücut ve ortam arasında ışınım gerçekleşen ısı transferi için yüzeyden yüzeye görüş faktörleri yöntemi ve türbülans modellenmesi için $k-\epsilon$ Reynolds sayısı modellenmesi kullanılmıştır. Farklı ortam koşullarında üç boyutlu akış, sıcaklık ve nem dağılımlarının bulunmasıyla vücut ve ortam arasındaki duyulur ve gizli ısı transferinin belirlenmesi, vücut üzerinde ışınım ve taşınım ısı akıları, yüzeyler arası görüş faktörleri, yerel ve ortalama taşınım katsayıları hesaplanması gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HAD, sanal manken, ısı konfor, panel ısıtma.

ABSTRACT

In this study, air flow and temperature distribution in a room heated by the radiator were analyzed by using a three-dimensional computational fluid dynamics (CFD) model. In the analysis, a virtual manikin sitting on a chair with real dimensions and physiological shape compared to average real human body was used. The thermal interaction between the human body and the environment, flow, temperature and moisture distribution in the room were determined. In this context, the three-dimensional Navier-Stokes equations in the curvilinear coordinate system, energy and transport equations were numerically solved with natural convection effects and radiation heat transfer. For the radiation model, surface to surface (S2S) model based on the view factors was employed. The RNG $k-\epsilon$ model is chosen for the turbulent modeling in numerical calculations. Heat interactions between human body surfaces and room environment, airflow, temperature and humidity distributions, local heat transfer characteristics of the manikin and room surfaces were computed numerically under different environmental conditions. The results were analyzed and discussed.

Key Words: CFD, virtual manikin, thermal comfort, panel heating.

1. GİRİŞ

Hacimlerin ısıtılmasında panel radyatörlü sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan radyatörün hacim içindeki konumu, yüzey alanı, çalışma sıcaklığı gibi parametrelerin yanında duvar ve pencerelerin hacim içindeki ısı karakteristikleri, enerji sarfiyatını ve içeridekilerin ısı konforunu

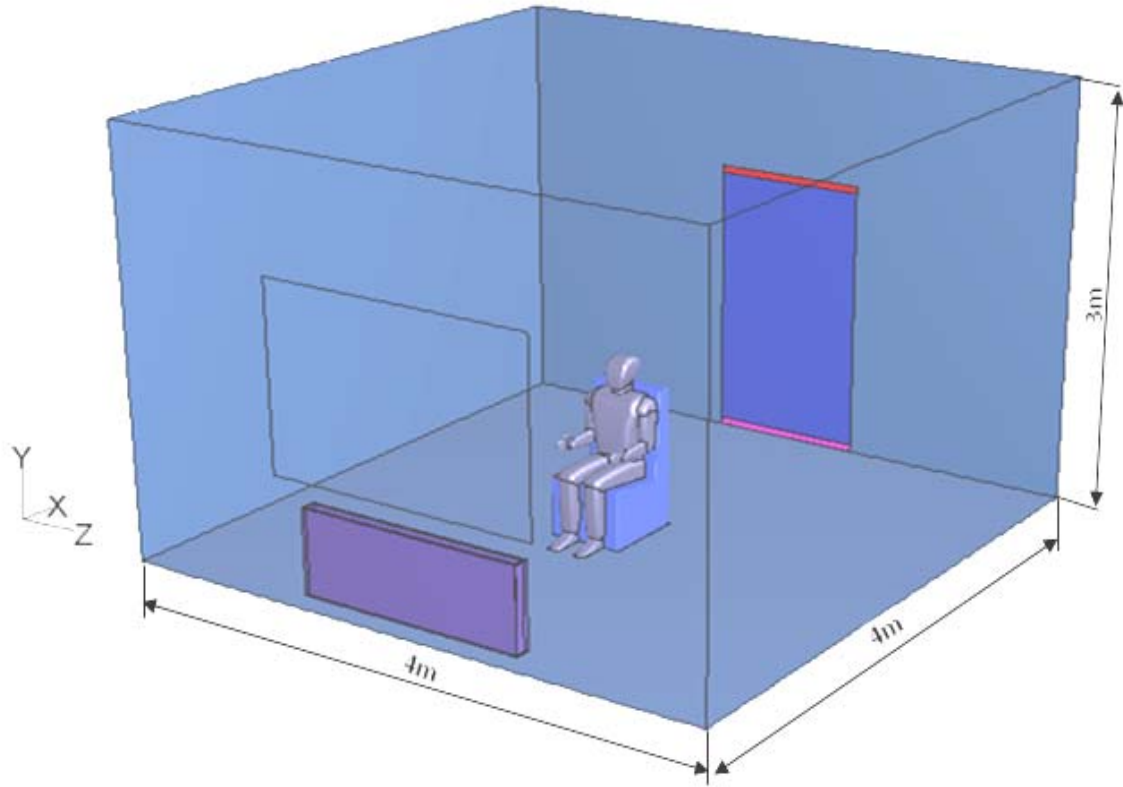
etkileyen önemli parametrelerdir. Enerjinin giderek değerlendirildiği ve beklenen konfor seviyesinin yükseldiği günümüzde yukarıdaki parametrelerin etkilerinin iyi anlaşılması uygulayıcı ve kullanıcılar için büyük önem arz etmektedir. Ancak birçok parametrenin etkisinin birlikte analiz edilmesi oldukça karmaşık ve zordur. Günümüzde CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) artan bir hızla gelişmektedir. Karmaşık HVAC sistemlerinin sayısal hesaplama yöntemlerine dayanan analiz yöntemleri, gelişen bilgisayar teknolojileri yardımıyla araştırmacılar için yeterli hassasiyette ve kabul edilebilir sonuçlara ulaştığı bir duruma doğru hızla ilerlemektedir [1-4]. Kapalı ortamlarda, akış analizi, ısı ve kütle transferinin dikkate alındığı birleşik hesaplamalı modeller kullanılmıştır. HVAC alanında araştırmaların en önemli hedeflerinden biri ısı duyarlılıktır. Isıl duyarlılık üzerine yapılan önceki çalışmalar daha çok deneysel çalışmalardır. Ancak günümüzde araştırmacılar CFD ve ışınım ile ısı transferinin birlikte değerlendirildiği birleşik hesaplama modellerini kullanarak ısı duyarlılık ile ilgili sayısal çözümleme yöntemlerini deneysel çalışmalarla birlikte kullanmaktadır. İnsan vücudunun karmaşık şekli ve fizyolojik özellikleri ile ilişkili tüm parametrelerin ele alındığı, kapalı ortamlarda akış, ısı ve kütle transferinin sayısal çözümlemesine ilişkin yapılan hesaplamalarda bir takım zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu zorlukları aşabilmek için daha önce yapılan çalışmalarda bir takım basitleştirmeler kullanılmıştır. Örneğin sayısal çözümlemelerde insan sadece bir ısı üretim merkezi olarak kabul edilmiş ve geometrisi daha basit olarak tasarlanmıştır. Ancak bugün elde edilen sonuçlar itibarıyla insan vücudunun fizyolojik şekli sayısal çözümlemelerde büyük rol oynamaktadır. İnsan vücudun ısı duyarlılığı büyük ölçüde insan vücuduna ait yüzeylerdeki yerel ısı transfer karakteristiklerine bağlıdır. Bu nedenle insan vücudu ile onu çevreleyen ortam arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferine ilişkin sayısal analizden elde edilecek sonuçların kabul edilebilir hassasiyette ve doğrulukta olabilmesi için hesaplamalarda yerel özelliklerin değişimi de dikkate alınmalıdır [5]. Bu amaçla vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferinin ve vücut fizyolojisinin gösterdiği tepkilerin belirlenmesi için gerçekleştirilen birleşik hesaplamalı bir model ile yapılan çalışma Kilic ve Sevilgen[6] tarafından yayınlanmıştır. Yapılan çalışmada, adyabatik duvarlar ile çevrili bir odada ayakta duran gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, içinde gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip oturan bir sanal mankenin olduğu radyatörle ısıtılan bir odada hava akışı, sıcaklık ve nem konsantrasyonu üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir.

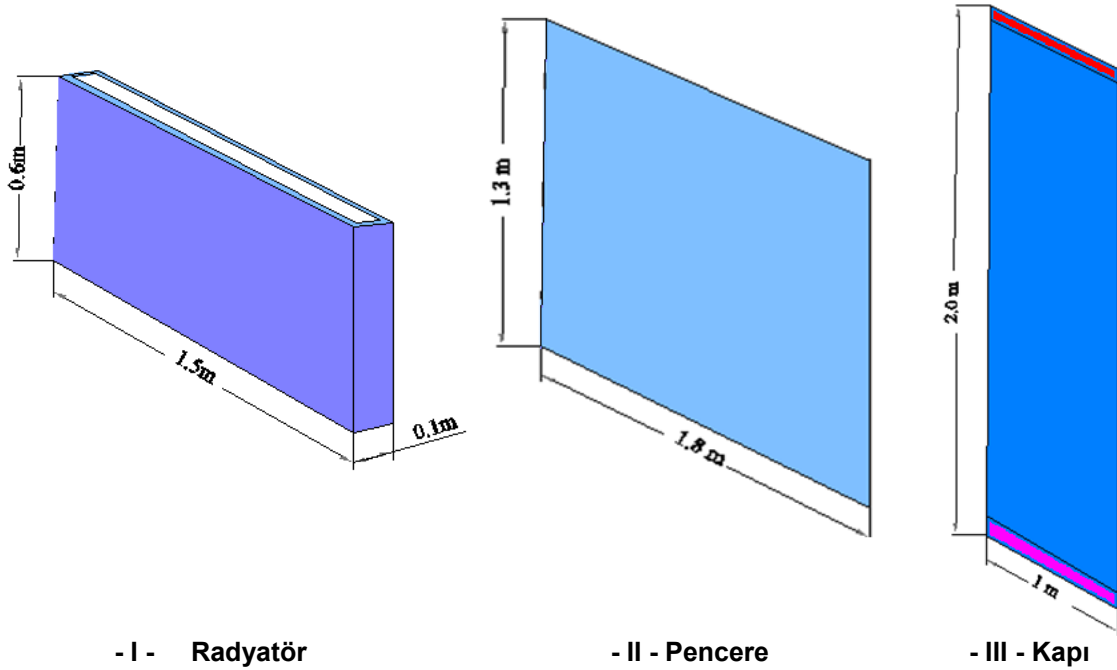
2. MODELLEME VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Geometrinin Modellenmesi

Akış analizini gerçekleştirmek için kapalı ortam ve mankenin modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla 4m x 4m x 3m ölçülerine sahip Şekil-1’ de yer alan oda, Solid Works yazılımı kullanarak modellenmiştir. Şekil-2’ de ise bu çalışmada modellenen pencere, radyatör, kapı vs. gibi elemanların CAD modelleri ve boyutları yer almaktadır. Hesaplamalarda kullanılan mankenin boyu standart insan boyutlarına göre modellenmiş ve 1,70 m’dir. Mankene ait toplam yüzey alanı ayakta durur vaziyette 1,81 m²’dir. Bu çalışmada manken oturur durumda olduğundan ortam ile temasta olan toplam yüzey alanı koltuk ile temas yüzeylerinden dolayı yaklaşık olarak 1,19 m² değerine düşmektedir. Odada gerekli hava değişimini sağlamak üzere kapının altından hava girişi ve üst tarafından hava çıkışı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla giriş menfezi için hava hızı 0.15 m/s ve sıcaklığı 20°C olarak alınmıştır. Odaya ait pencere ve pencere duvarında taşınım sınır şartı, diğer duvar yüzeylerinde ise adyabatik sınır şartı kullanılmıştır. Mankene ait yüzeyler toplam 18 bölgeye (Şekil-3) ayrılmıştır. 18 kısımdan oluşan manken ile çevresini sınırlayan ortam arasındaki ısı etkileşimleri incelenmiştir. Bu amaçla tasarlanan manken ve yüzeyleri Şekil-3’de yer almaktadır.

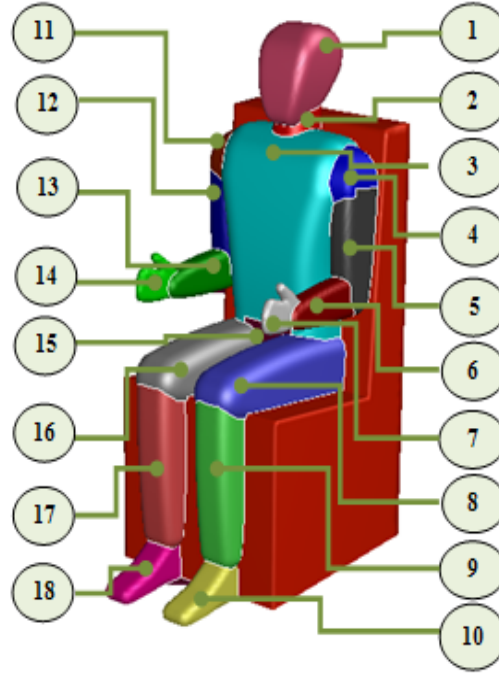


Şekil 1. Hesaplamalarda Kullanılan Odanın CAD Modeli



Şekil 2. Hesaplamalarda Kullanılan Odanın İçinde Yer Alan Elemanların CAD Modeli ve Yüzey Alanları

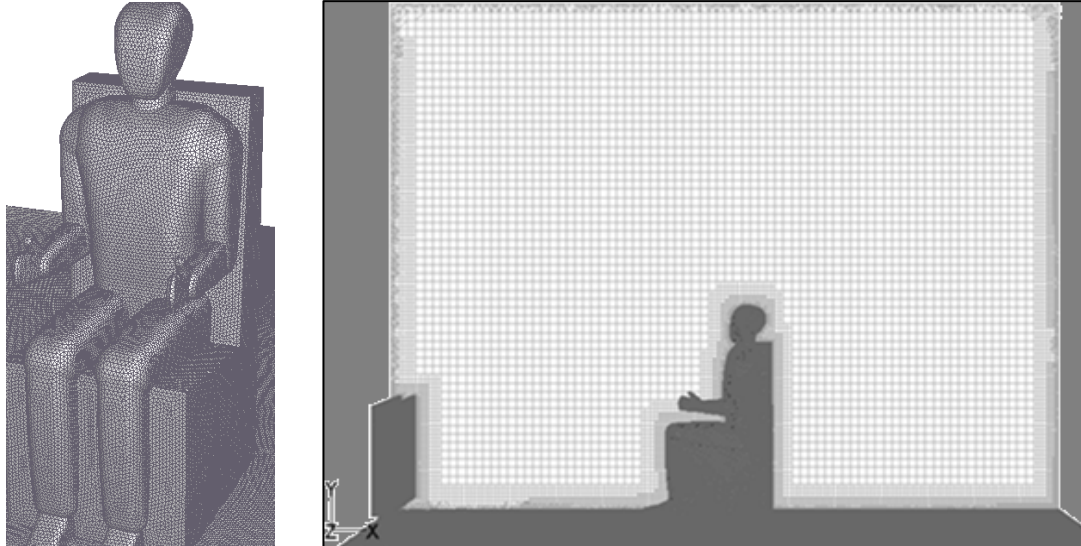
Sıra No	Yüzey	Yüzey Alanı
1	Baş	0.129
2	Boyun	0.015
3	Göğüs	0.233
4	Sol omuz	0.017
5	Sol üst kol	0.058
6	Sol alt kol	0.057
7	Sol el	0.025
8	Sol baldır	0.133
9	Sol bacak	0.081
10	Sol ayak	0.030
11	Sağ omuz	0.017
12	Sağ üst kol	0.058
13	Sağ alt kol	0.057
14	Sağ el	0.025
15	Kasık	0.011
16	Sağ baldır	0.133
17	Sağ bacak	0.081
18	Sağ ayak	0.030
Toplam Yüzey Alanı		1.190



Şekil 3. Hesaplamalarda Kullanılan Mankene Ait Kısımlar ve Yüzey Alanları

Ağ Yapısı

Mesh yapısının oluşturulması çözüm sonuçlarının doğruluğu için son derece önemli bir süreçtir. Mesh yapısını oluşturulurken oda içinde hız ve sıcaklık değişim hızının yüksek olduğu bölgelerde daha sık mesh yapısı kullanarak çözümün hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır. Şekil-4'te Manken ve oda ya ait diğer yüzeylerde yer alan üçgen elemanlardan oluşan mesh yapısı ve z=2 düzleminde çözüm ağı kesit görünümü yer almaktadır.



Şekil 4. İnsan Yüzeylerinde ve Oda Orta Düzleminde(z=2 düzlemi) Çözüm Ağı Yapısı.

Çözüm ağı için bu çalışmada hexcore adı verilen mesh yapısı tercih edilmiştir. Bu mesh yapısı yüzeylerde üçgen elemanlardan, hacimde ise hexahedral elemanlardan oluşmaktadır. Çözüm elemanları ve ağ yapısı hakkında detaylı bilgi literatürde bulunabilir[7]. Burada amaç mümkün mertebe

hacim içinde hexahedral elemanlar kullanarak daha düzgün bir ağ yapısıyla çözümün hassasiyetinin artırılmasıdır. Ağ yapısını oluşturmak için Tgrid ve Gambit paket programları kullanılmıştır. Hacim içerisinde yaklaşık olarak eleman sayısı üç milyon olacak şekilde bir çözüm ağı oluşturulmuştur.

HAD Yöntemi

İç ortam HAD hesaplamalarında kullanılan çeşitli ticari bilgisayar yazılımları mevcuttur. Bu çalışmada Fluent 6 yazılımı kullanılmıştır. Yazılım üç boyutlu değişken özellikli doğal taşınım etkilerini de göz önüne alan süreklilik, momentum, enerji ve transport denklemlerini çözmektedir [7]. Çözümlerde diferansiyel denklemler ikinci derece ayrıklaştırma yöntemi ve hız-basınç ilişkilendirilmesinde SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Çözüm işlemleri, panel radyatör yüzey sıcaklığı 40°C (I.Durum) ve 50°C (II. Durum) olmak üzere iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir. Çözüm işlemlerinde iki dört çekirdekli işlemciye sahip iş istasyonu kullanılmıştır. Işınım ile ısı transferi için görüş faktörlerini dikkate alarak hesaplama yapan yüzeyden yüzeye (S2S) ışınım modeli kullanılmıştır. Tablo-1'de insan yüzeylerinin oda yüzeyleri ile olan görüş faktörleri için hesaplanan değerler yer almaktadır.

Türbülans modeli olarak düşük Reynolds sayısı etkilerini de göz önüne alan RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Bu tür hesaplamalarda gerek kararlılık ve gerekse sonuçların hassasiyeti açısından RNG k-ε türbülans modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir[8]. Hesaplamalarda yakınsama kriteri açısından akış denklemleri için normalize edilmiş kalanların 10^{-4} den ve diğer parametreler için 10^{-6} dan küçük olması yeterli bulunmuştur.

Sınır Şartları

Oda içinde hava değişim oranı saatte 0.56 olacak şekilde giriş menfezinde 0.15 m/s hız tanımlanmıştır. Giren havanın sabit 20 °C sıcaklığında olduğu kabul edilmiştir. Çıkış menfezinde ise basınç sınır şartı uygulanmıştır. Giriş ve çıkışta türbülans yoğunluğu %10 olarak alınmıştır. Odanın dışarı bakan duvarı ve pencere için dış ısı taşınım katsayısı 25 W/m²K alınmıştır. Dış ortam sıcaklığı 0°C olarak belirlenmiştir. Pencere 5mm kalınlığında iki camdan oluşan çift cam ve ısı iletim katsayısı 0.20 W/mK, duvar 24cm kalınlığında ısı iletim katsayısı 0.24 W/mK olarak alınmıştır. Odadaki diğer yüzeyler adyabatik olarak kabul edilmiştir. İnsan yüzey sıcaklığı açık bölgelerde 33.7°C, giysili bölgelerde 33°C derece olarak alınmıştır. Radyatör yüzeyleri için sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmıştır. Hesaplamalar iki farklı radyatör yüzey sıcaklığı için yapılmıştır: I. Durum: T=40°C ve II. Durum: T=50°C.

Tablo 1. İnsan Yüzeylerinin Diğer Yüzeylerle Olan Görüş Faktörleri

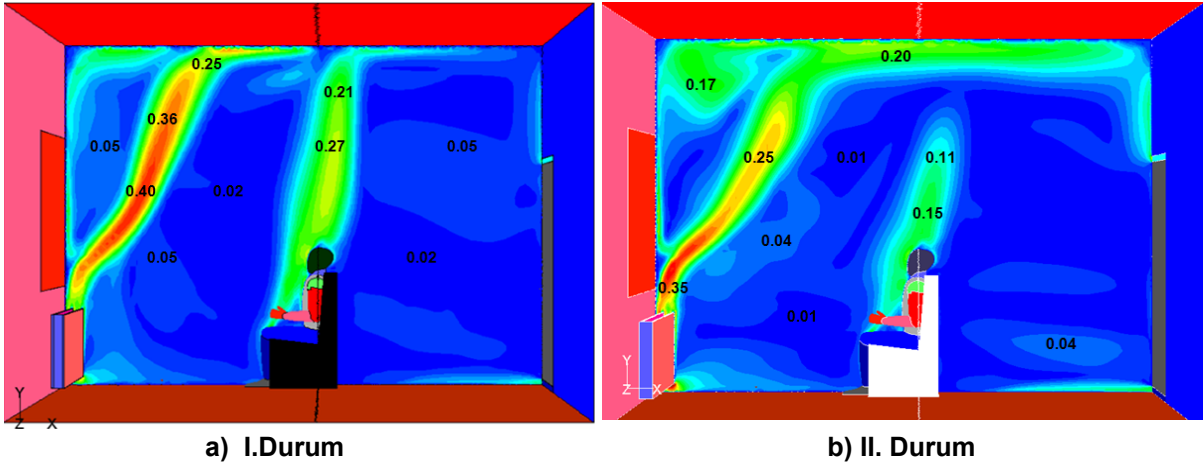
GÖRÜŞ FAKTÖRLERİ									
Yüzeyler	Kapı	Kapı duvarı	Panel	Pencere	Pencere duvarı	Sağ duvar	Sol duvar	Taban	Tavan
Baş	0.03	0.10	0.01	0.04	0.09	0.15	0.15	0.11	0.19
Boyun	0.03	0.10	0.01	0.03	0.07	0.14	0.13	0.02	0.08
Göğüs	0.00	0.01	0.04	0.08	0.14	0.08	0.08	0.09	0.12
Kasık	0.00	0.00	0.02	0.07	0.07	0.01	0.01	0.00	0.04
Sağ alt kol	0.00	0.02	0.01	0.02	0.06	0.17	0.06	0.18	0.10
Sağ ayak	0.00	0.00	0.03	0.05	0.11	0.14	0.08	0.23	0.11
Sağ bacak	0.00	0.00	0.06	0.05	0.13	0.10	0.04	0.31	0.04
Sağ baldır	0.00	0.01	0.01	0.03	0.07	0.19	0.04	0.06	0.13
Sağ el	0.00	0.03	0.02	0.03	0.08	0.19	0.12	0.19	0.11
Sağ omuz	0.00	0.03	0.02	0.05	0.11	0.33	0.01	0.10	0.23
Sağ üst kol	0.00	0.02	0.01	0.03	0.07	0.25	0.00	0.17	0.05

3. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

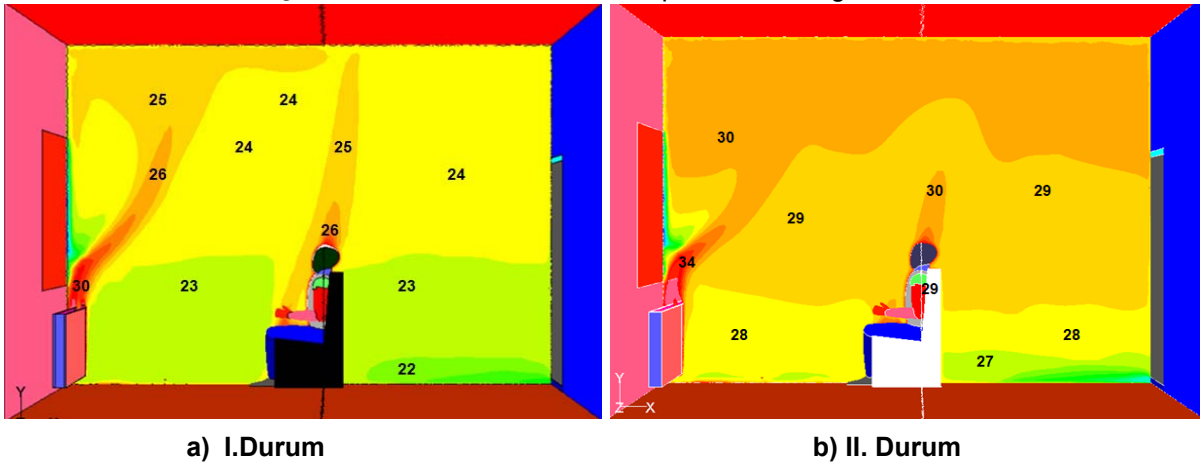
Hız ve Sıcaklık Dağılımı

Z=2.0m kesit düzleminde hız dağılımı her ki durum için Şekil-5'de gösterilmiştir. Vücut sıcaklığının ortam sıcaklığından yüksek olması nedeniyle vücut üzerine temas eden hava ısınarak yukarı doğru hareket etmektedir. Baş seviyesinin üzerinde hız I.durumda 0.27 m/s, II. Durumda ise 0.15 m/s seviyelerine ulaşmaktadır. II. Durumda ortam sıcaklığı daha yüksek olduğu için kaldırma kuvveti etkisi daha düşük dolayısıyla vücut üzerindeki hız değerleri ilk duruma göre daha düşük değerlerde olmaktadır. Panel radyatör üzerindeki hızlarda da ortam sıcaklığına göre bağıl sıcaklık farkı iki durumda da birbirine yakın olduğu için oda içinde benzer hız dağılımı gözlenmektedir. Odadaki en yüksek hız değerleri radyatör üzerinden yükselen hava içinde gözlemlenmektedir. Burada hızlar 0.48 m/s değerlerine kadar ulaşabilmektedir. Odanın en soğuk yüzeyi ise pencere camı üzerinde oluşmaktadır. Radyatör ile temas edip ısınan hava yükseldikten sonra tavan seviyesinde ikiye ayrılmakta bir kısmı pencere duvarı kısmına dönerek burada soğumanın etkisiyle aşağı doğru hareket etmekte pencere önünde ikincil bir döngü oluşturmaktadır.

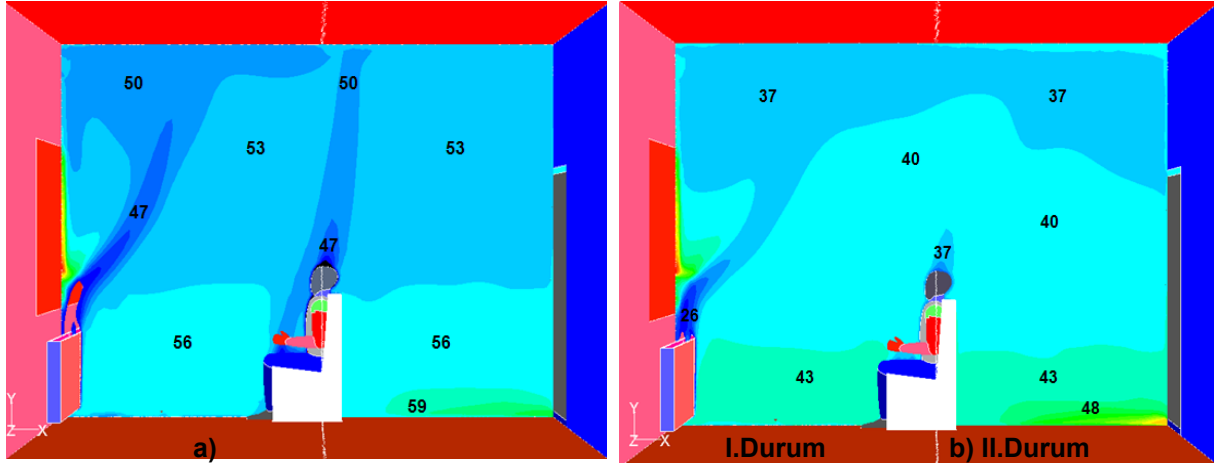
Şekil-6'da z=2.0m düzleminde sıcaklık dağılımı kesit görünümü görülmektedir. Manken ayak ve baş seviyeleri arasındaki sıcaklık farkı her iki durum için yaklaşık olarak 2-3°C'dir. Hava sıcaklığının dağılım yapısı her iki durumda da benzer olmasına karşılık yüksek radyatör sıcaklığının (II. Durum) oda genelindeki sıcaklık değerlerini düşük radyatör sıcaklığı (I.Durum) olan duruma göre 5°C daha yükselttiği sonucuna varılmıştır. Odanın üst kısımlarında yer alan bölgede mankenin üzerindeki kısımda sıcaklık yüksek değerlerde ve yaklaşık olarak I durumunda 26° C, II durumunda ise 30°C olacak şekilde bir dağılıma sahiptir. I.Durumda odanın ortalama sıcaklık değeri 23.6°C, II.Durumda ise 28.5 °C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. z=2m Düzleminde Hesaplanan Hız Dağılımları



Şekil 6. z=2m Düzleminde Hesaplanan Sıcaklık(°C) Dağılımları



Şekil 8. z=2m Düzleminde Hesaplanan Bağıl Nem (%) Dağılımları

Bağıl Nem Dağılım

İnsan vücudu tarafından üretilen nem yükselen hava ile uzaklaştırılmaktadır. Üretilen nem difüzyon ile oda içine yayıldığı gözlenmektedir. Bağıl nem, sıcaklığın düşük olduğu pencere üzerinde ve giriş menfezine yakın kısımlarda yüksek değerlere sahiptir. Sıcaklığın genel olarak odanın üst bölgesinde yüksek olması nedeniyle oda hacminin üst bölgelerinde alt bölgelere göre daha düşük bağıl nem dağılımı hesaplanmıştır. İnsanın bulunduğu orta kısımda insan yüzey sıcaklığı ortama nazaran daha yüksek olduğu için bağıl nem değerleri ortama nazaran daha düşüktür. Oda hacminde ortalama bağıl nem I.durumda %54, II. durumda ise %40 olarak hesaplanmıştır. Bağıl nem her iki durumda da maksimum değerini en soğuk yüzeyin olduğu pencere yüzeyinde almaktadır.

Tablo 4. Duvar Yüzeylerinde Isı Transfer Karakteristikleri

Yüzey	I.Durum				II. Durum			
	Q_t (W)	Q_r (W)	T_s (°C)	T_r (°C)	Q_t (W)	Q_r (W)	T_s (°C)	T_r (°C)
Kapı	0	1	23.0	23.7	0	2	27.5	28.7
Kapı duvarı	0	7	23.2	23.7	0	11	27.9	28.7
Panel alt	8	0	40.0	23.6	11	0	50.0	28.5
Panel arka	149	62	40.0	35.5	218	87	50.0	44.2
Panel iç arka	68	0	40.0	23.6	102	0	50.0	28.5
Panel iç ön	56	0	40.0	23.6	85	0	50.0	28.5
Panel iç sağ	2	0	40.0	23.6	3	0	50.0	28.5
Panel iç sol	2	0	40.0	23.6	3	0	50.0	28.5
Panel ön	154	88	40.0	40.0	218	125	50.0	50.3
Panel sağ	13	6	40.0	41.2	18	9	50.0	51.4
Panel sol	13	6	40.0	41.1	18	9	50.0	51.3
Panel üst	2	0	40.0	23.6	2	0	50.0	28.5
Pencere	-295	-103	15.2	15.1	-372	-116	19.1	19.4
Pencere duvarı	-206	-142	22.3	20.8	-250	-171	27.1	25.4
Sağ duvar	0	8	23.2	23.7	0	13	28.0	28.7
Sol duvar	0	8	23.2	23.7	0	13	28.0	28.7
Taban	0	-31	23.1	23.2	0	-62	27.5	27.8
Tavan	0	37	23.5	24.0	0	52	28.2	29.1

Duvar yüzeyleri ısı transfer karakteristikleri

Tablo 4. 'te duvar yüzeylerine ait ısı transfer karakteristikleri gösterilmiştir. Pencere ve pencere duvarı haricindeki duvar yüzeyleri adyabatik olduğu için toplam ısı değeri sıfırdır. Ancak duvarların hacim içindeki diğer yüzeyler ile yaptığı ışınlama ile ısı transferi değerleri tabloda görülmektedir. Enerji dengesinden bu yüzeylerdeki taşınım ile ısı transferi değerleri de kolaylıkla hesaplanabilir. Duvarlar insan vücudu ile etkileşim sonucunda ışınlama ile ısı transferi ile ısı kazanırlar. Adyabatik duvar yüzey sıcaklıkları ortam havasının sıcaklığından I.durumda yaklaşık olarak 0.1°C-0.5°C, ikinci durumda ise 0.3°C-1°C daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 4' te görüldüğü gibi taban sıcaklığı en düşük sıcaklık değerine sahip olup I.durumda diğer adyabatik duvar yüzeyleri sıcaklığından yaklaşık olarak 0.1-0.4°C daha düşük, II. durumda ise bu değer yaklaşık olarak 0.5-0.7°C olarak hesaplanmıştır. Radyatör ön yüzeyinden olan ısı transferinin %60 civarındaki miktarı ışınlama gerçekleşmektedir. Her iki durumda da pencere duvarındaki ısı kaybının %70 e yakın kısmının ışınlama ile ısı transferinden olduğu görülmektedir. Pencere yüzeyinden olan ısı kaybında ise ışınlama ile ısı transferinin katkısı %35 civarında olduğu görülmektedir. Pencere yüzey alanının pencere duvarı alanına oranı yaklaşık %25 olmasına karşılık ısı kaybının %150 olduğu görülmektedir. Bu durum yalıtımın yanında pencere yüzey alanlarının büyüklüğünün de enerji tasarrufu açısından dikkatle ele alınması gerektiğinin önemli bir göstergesidir.

İnsan vücudundan Ortama Olan Isı Transferinin Dağılımı

I.Durumda taşınım ile ısı transferi 33.5 W/m², ışınlama ile ısı transferi 40.9W/m² olacak şekilde toplam ısı akısı 74.4 W/m² hesaplanmıştır. Bu değer ASHRAE standartlarına[9] göre metabolik ısı 1.0 Met(60W/m²) üretimi şeklinde gerçekleşen ısı akısı değerine yakın bir değerdir. II. durumda taşınım ile ısı transferi 14.9 W/m², ışınlama ile ısı transferi 21.2 W/m² olacak şekilde toplam ısı akısı 36.1 W/m² hesaplanmıştır. II. durumda hesaplanan değer ile yukarıda belirtilen ASHRAE standartları arasındaki fark ortama insan yüzeyinden terleme ile gizli ısı yoluyla aktarılacaktır. Dolayısıyla ikinci durum daha konforsuz bir ortam olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak I.durumda insan vücudundan taşınım ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %45'ini, ışınlama ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %55'ini, II durumda insan vücudundan taşınım ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %25'ini, ışınlama ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %35'ini terleme sonucunda kaybolan ısı kaybı toplam ısı kaybının %40'ını oluşturmaktadır. Bu değerler gerçekleştirilen simülasyona ait şartlar neticesinde elde edilmiştir. İnsan vücudundan ortama olan ısı kaybının büyük bir kısmı I.durumda ışınlama ile ısı transferi şeklinde gerçekleşmekte, II durumda ise ışınlama yanında terlemenin de etkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç ise insan vücudunun ısı duyarlılığının, ışınlama ile ısı transferinin yanında terleme ile de önemli ölçüde etkilendiği sonucunu doğurur. Isı taşınım katsayısı ise genel olarak I.durumda 1-6 W/m²K değerleri arasında değişirken ortalama 4.1 W/m²K, II durumda ise 1-3 W/m²K değerleri arasında değişirken ortalama 2.0 W/m²K bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürdeki değerler ile uyumludur.

Tablo 5. İnsan Yüzeylerinde Isı Transfer Karakteristikleri

Manken Yüzeyleri	I. Durum (T=40°C) T _{ortam} = 23.6°C Ortalama Bağıl Nem=%54				II. Durum (T=50°C) T _{ortam} = 28.5°C Ortalama Bağıl Nem=%40			
	q _s (W/m ²)	q _r (W/m ²)	q _t (W/m ²)	h _s (W/m ² K)	q _s (W/m ²)	q _r (W/m ²)	q _t (W/m ²)	h _s (W/m ² K)
Baş	40.3	60.6	101.0	5.4	18.5	34.4	52.8	2.8
Boyun	21.9	46.7	68.6	3.7	11.2	26.3	37.5	2.0
Goğüs	27.2	35.9	63.1	3.5	11.2	17.9	29.2	1.6
Kasık	10.5	16.6	27.1	1.5	7.6	8.8	16.4	0.9
Sag alt kol	40.5	37.0	77.5	4.3	17.4	19.7	37.1	2.1
Sag ayak	39.6	41.1	80.7	4.5	20.9	20.0	40.8	2.3
Sag bacak	34.9	41.8	76.7	4.3	16.5	18.5	35.0	1.9
Sag baldır	30.0	36.0	66.1	3.7	13.6	19.2	32.8	1.8
Sag el	49.4	50.8	100.2	5.4	22.9	28.5	51.4	2.7
Sag omuz	29.9	52.0	81.9	4.6	12.8	27.6	40.4	2.2
Sag üst kol	31.2	35.8	67.0	3.7	12.4	18.9	31.3	1.7
Sol alt kol	40.6	37.0	77.6	4.3	17.8	19.7	37.5	2.1
Sol ayak	39.8	41.2	81.0	4.5	19.8	20.0	39.9	2.2
Sol bacak	35.1	41.7	76.7	4.3	17.0	18.4	35.3	2.0
Sol baldır	30.4	36.0	66.5	3.7	12.9	19.2	32.1	1.8
Sol el	48.8	50.8	99.6	5.3	23.1	28.5	51.6	2.8
Sol omuz	31.6	52.2	83.8	4.7	11.5	27.7	39.2	2.2
Sol üst kol	31.8	36.0	67.8	3.8	12.8	18.9	31.7	1.8
Ort.değer	33.5	40.9	74.4	4.1	14.9	21.2	36.1	2.0

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, içinde oturan bir insan olan radyatörle ısıtılan bir odada hava akışı ve sıcaklık dağılımı üç boyutlu hesaplamalı akışkan dinamiği (HAD) yardımıyla modellenerek analiz edilmiştir. Hesaplamalarda gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken kullanılmıştır. Modelde doğal taşınım etkileri için değişken özellikler, vücut ve ortam arasında ışınlama gerçekleşen ısı transferi için yüzeyden yüzeye görüş faktörleri yöntemi ve türbülans modellenmesi için RNG k-ε Reynolds sayısı modellenmesi kullanılmıştır. Vücutla çevresi arasındaki ısı etkileşim ortamındaki akış, sıcaklık ve nem dağılımı belirlenmiştir. Radyatör yüzeyleri için sabit sıcaklık sınır şartı uygulanmıştır. Hesaplamalar iki farklı radyatör yüzey sıcaklığı için yapılmıştır. Yüksek panel sıcaklığının ortam sıcaklığını ve odadaki yüzeylerin sıcaklığını arttırdığı, ancak ısı kayıplarının buna paralel arttığı görülmüştür. Odadaki hava hareketi dağılımı panel sıcaklığından bağımsız olarak benzer dağılım gösterdiği görülmüştür. Yüksek panel sıcaklığının insan yüzeylerinden olan doğal taşınımı azalttığı, dolayısıyla terleme yoluyla ısı transferini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanında artan ortam sıcaklığının bağıl nem oranlarını önemli derecede azalttığı ve daha kuru bir ortam oluşturduğu görülmüştür. Işınlama ısı transferinin oda içinde ısı transferi mekanizmasında ihmal edilemeyecek oranda önemli olduğu gösterilmiştir. Isı kayıpları açısından pencereden olan kayıpların oldukça önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları diğer çalışmalara da öncülük edecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Rapp GM. Convective heat transfer and convective coefficients of nude man, cylinders and spheres at low velocities. ASHRAE Trans 1973;2264:75
- [2] Homma H, Yakiyama M. Examination of free convection around occupant's body caused by it's metabolic heat. ASHRAE Trans 1988;94(1):104-24.
- [3] Murakami S, Kato S, Zeng J. CFD analysis of thermal environment around human body. Indoor air '96 1996;2:479-84.
- [4] Chen Q. Computational fluid dynamics for HVAC: successes and failures. ASHRAE Transactions 1997;103(1):178-87.
- [5] Murakami S, Kato S, Zeng J. Combined simulation of airflow, radiation and moisture transport for heat release from a human body. Building and Environment 2000; 35:489-500.
- [6] Kılıç, M., Sevilgen, G. Modelling airflow, heat transfer and moisture transport around a standing human body by computational fluid dynamics. Int. Comm. Heat and Mass Transfer 2008; 35(9): 1159-1164.
- [7] Fluent 6 user's guide. Lebanon, NH, USA, Fluent Inc, 2001.
- [8] Chen Q. Comparison of different k-e models for indoor airflow computations. Part B, Fundamentals. Numerical Heat Transfer 1999;28(3):353-69.
- [9] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1997.

ÖZGEÇMİŞ**Muhsin KILIÇ**

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Makine Mühendisi olarak 1986 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesinden, Doktora derecesini 1993 yılında İngiltere'de Bath Üniversitesi'nden almıştır. 1994 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. Aynı bölümde 1996 yılında Doçent ve 2002 yılında Profesör unvanlarını alarak atanmıştır. Halen aynı yerde Enerji Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği), Isı ve kütle transferi, Termik Turbo Makineler, Enerji, Isıl konfor, Otomotiv ve Yangın Güvenliği konularında çalışmaktadır. Çalışma konularında uluslararası ve ulusal dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuş çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır.

Gökhan SEVİLGİN

1978 yılı ANKARA doğumludur. 2001 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2003 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde başladığı Doktora eğitimi devam etmektedir. 2004 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi Orhangazi Meslek Yüksekokulu Makine programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) , Otomobil kabininde havanın hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal çözümlemesi, Bilgisayar Destekli Tasarım konularında çalışmaktadır.