

İNSAN VÜCUDUNDAN ORTAMA TAŞINIM, IŞINIM VE NEM TRANSFERİ İLE GERÇEKLEŞEN ISI TRANSFERİNİN BİRLEŞİK MODELLEMELERLE ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ÇÖZÜMLEMESİ

Gökhan SEVİLGEN
Muhsin KILIÇ

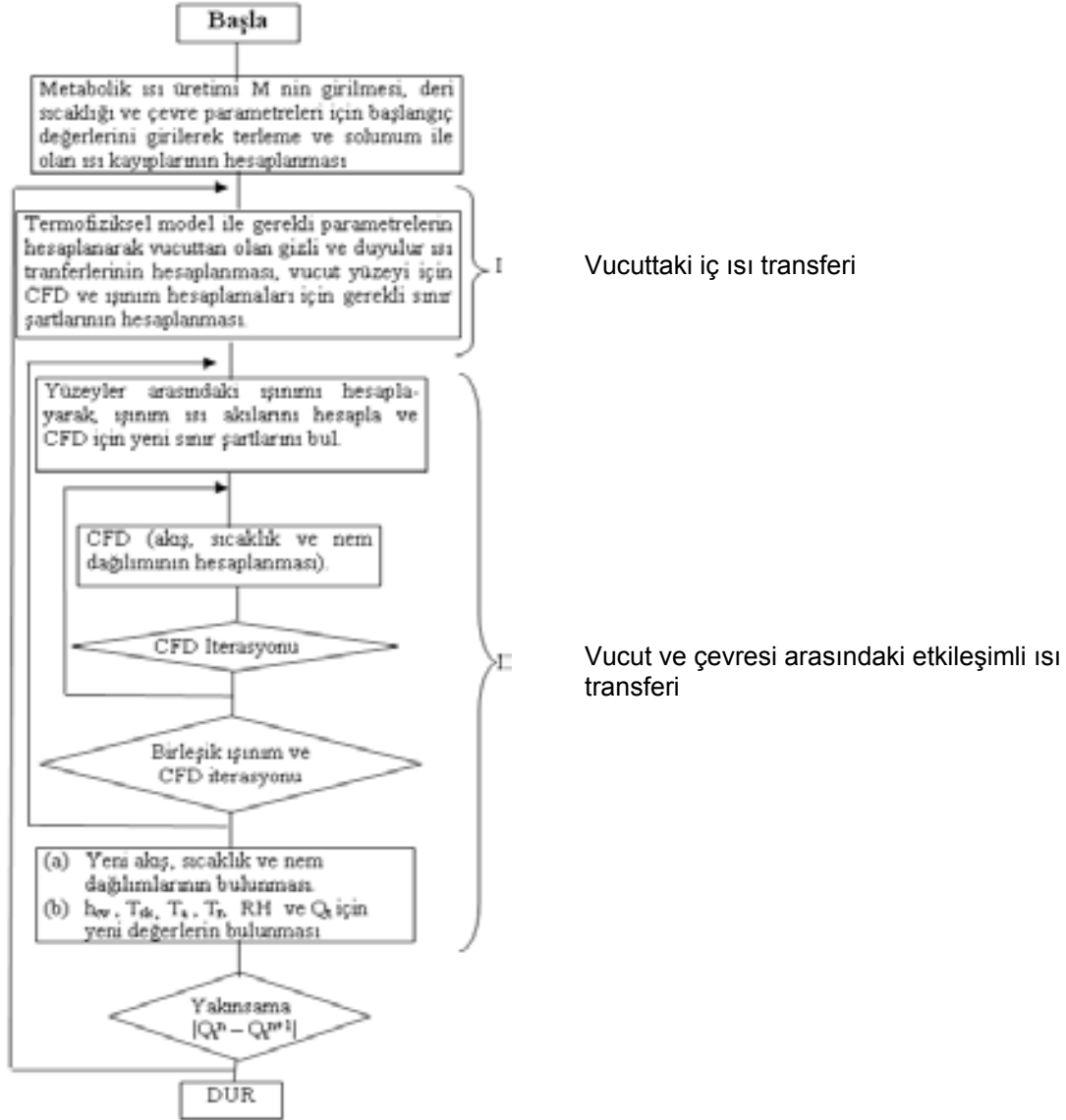
ÖZET

Bu çalışmada, vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı-kütle transferinin ve vücut fizyolojisinin gösterdiği tepkilerin belirlenmesi için gerçekleştirilen birleşik hesaplamalı bir model oluşturulmuştur. Hesaplamalarda gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken kullanılmıştır. Vücutla çevresi arasındaki ısı etkileşim ortamındaki akış, sıcaklık ve nem dağılımı üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar mekaniği kullanılarak 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 ışınlama gerçekleşen ısı transferi için ayrık ordinat yöntemi ve türbülans modellenmesi için $k-\epsilon$ Reynolds sayısı modellenmesi kullanılmıştır. Vücut metabolizmasının ısı üretimi ve fizyolojik denetim mekanizmaları iki bölgeye Gagge modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Farklı ortam koşullarında üç boyutlu akış, sıcaklık ve nem dağılımlarının bulunmasıyla vücut ve ortam arasındaki duyu ve gizli ısı transferinin belirlenmesi, vücut üzerinde ışınlama ve taşınım ısı akıları, yerel ve ortalama taşınım katsayısı, deri sıcaklığı hesaplanmıştır. Sonuçlar literatürdeki deneysel ve teorik çalışmalar ile oldukça iyi uyum göstermektedir.

1.GİRİŞ

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. Isı duyarlılık üzerine yapılan önceki çalışmalar daha çok deneysel çalışmalardır. Ancak günümüzde araştırmacılar CFD ve ışınlama ile ısı transferinin birlikte değerlendirildiği birleşik hesaplama modellerini kullanarak ısı duyarlılık ile ilgili sayısal çözümleme yöntemlerini deneysel çalışmalarla birlikte kullanmaktadırlar. 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 çalışmada vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı ve kütle transferinin ve vücut fizyolojisinin gösterdiği tepkilerin belirlenmesi için gerçekleştirilen birleşik hesaplamalı bir model oluşturulmuştur. Hesaplamalarda gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken kullanılmıştır.



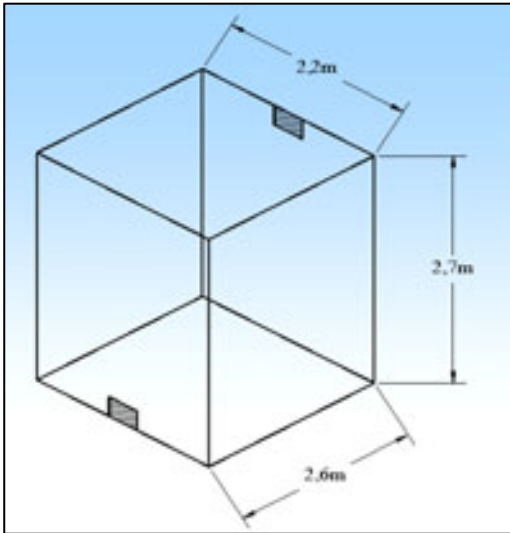
Şekil 1. Birleşik Sayısal Simulasyon Akış Şeması

2. BİRLEŞTİRİLMİŞ ANALİZ

Birleştirilmiş sayısal simülasyon metodu Şekil-1 de gösterilmiştir. Simülasyon vücut yüzeyinde ısı ve kütle transferini birleştiren iki kısımdan oluşmaktadır. Her bir kısımdaki amaç ve hesaplama prosedürü aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Birinci kısımda insan için termo-fiziksel model kullanılarak vücut içindeki ısı ve kütle transferi hesaplanmaktadır. Vücut çevresi ortam şartlarına bağlı olarak solunum ve terleme ile olan ısı ve kütle transferi miktarları hesaplanmaktadır. Buradan elde edilen veriler ikinci kısım için vücut üzerindeki sınır şartlarını tanımlamada kullanılmaktadır. Simülasyonun ikinci kısmında insanın içinde yer aldığı hacim içindeki akış, sıcaklık ve nem dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemleriyle ışınım ve nem konsantrasyonu dağılımı için tanımlanan modeller ile bütünlük olarak çözülmektedir. Hesaplanan dağılımlar ile vücut ve çevresi arasında ısı ve nem transferi bulunmaktadır. İkinci kısımdan elde edilen veriler ile birinci kısım yeniden gözden geçirilmekte ve vücut üzerindeki sınır şartları yenilenmektedir. Bu şekilde yeterli yakınsama kriterleri sağlanana kadar iterasyonlar devam etmektedir.

2.1 Modelleme

Akış analizini gerçekleştirmek için kapalı ortam ve mankenin modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla 2.6m x 2.2m x 2.7m ölçülerine sahip Şekil-2 ' de yer alan oda SolidWorks paket programı kullanarak modellenmiştir. Bu çalışma iç ortam koşulları durgun bir oda için gerçekleştirilmiştir. Çıplak, ayakta durur vaziyette yaklaşık olarak 1,81 m² 'lik toplam yüzey alanına sahip bir insanın net ısı üretimi 100,4 W/m² (ASHRAE handbook [6]) olarak alınmıştır. Oda, mankenin neden olduğu ısı ve nem üretimini ortamdaki uzaklaştıracak şekilde havalandırma sistemine sahiptir. Bu amaçla giriş menfezi için hava hızı 0.12 m/s ve sıcaklığı 22°C'dir. Odaya ait duvarlar adyabatik olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan mankenin boyu standart insan boyutlarına göre modellenmiş ve 1,70 m'dir. Mankene ait toplam yüzey alanı 1,81 m²'dir. Mankene ait yüzeyler toplam 16 bölgeye (Tablo-1) ayrılmıştır. 16 kısımdan oluşan manken ile çevresini sınırlayan ortam arasındaki ısı etkileşimleri incelenmiştir. Bu amaçla tasarlanan manken ve yüzeyleri Şekil-2'de yer almaktadır.



Şekil 2. Oda boyutları ve mankenin oda içindeki konumu

2.2 HAD Kullanılan Yöntem

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 taşınım terimleri için ikinci derece ayrıklaştırma yöntemi ve hız-basınç ilişkilendirilmesinde SIMPLEC algoritması kullanılmıştır.

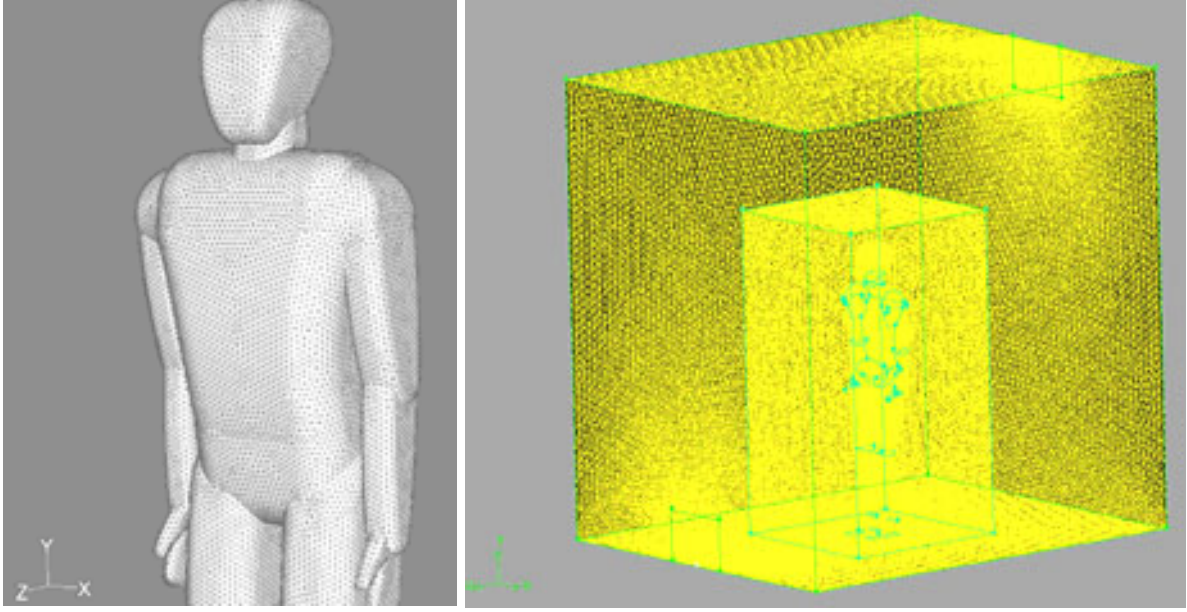
Türbülans modeli olarak düşük Reynolds sayısı etkilerini de göz önüne alan RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Bu tür hesaplamalarda gerek kararlılık ve gerekse sonuçların hassasiyeti açısından RNG k-ε türbülans modeli diğer modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir[8].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

Tablo 1. Toplam yüzey alanı ve mankene ait kısımlar



Kısım	A yüzey (m ²)
baş	0.129993850
boyun	0.018627369
gövde	0.280076270
kasık	0.017613778
sağ ayak	0.046029477
sağ bacak	0.233601890
sağ baldır	0.147219030
sağ el	0.025024958
sağ kol	0.138221550
sağ omuz	0.023072505
sırt	0.139607070
sol ayak	0.046029477
sol bacak	0.233601890
sol baldır	0.147219030
sol el	0.025024958
sol kol	0.138221550
sol omuz	0.023072505
Toplam Yüzey Alanı	1,812
Manken Boyu	1,70m

Mesh yapısının oluşturulması çözüm sonuçlarının doğruluğu için son derece önemli bir süreçtir. Mesh yapısını oluşturan elemanların sayısının fazlalığından çok oda içinde hız ve sıcaklık değişim hızının yüksek olduğu bölgelerde daha sık mesh yapısı kullanarak çözümün hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır.



Şekil 3. Manken ve odaya ait mesh yapısı

Mesh yapısı hexahedral, tetrahedral gibi elemanlardan oluşmaktadır. Şekil-3'te Manken yüzeyinde oluşturulan tetrahedral mesh yapısı yer almaktadır.

Mankene ait mesh yapısını oluşturmak için Gambit paket programı kullanılmıştır. Oda ve manken yüzeylerinde toplam mesh eleman sayısı yaklaşık olarak 1,500,000 olacak şekilde mesh oluşturulmuştur.

3. BİRLEŞİK HESAPLAMALI MODEL

3.1 Termofiziksel Model

Çok bölgeli birçok termofiziksel model 1970 ve 1980'lerde geliştirilmeye başlanmıştır. Bu modeller arasında Fanger'in modeli [9] ve Gagge'in iki bölmeli modeli [10-11] ısı duyarlılık (thermal sensation) analizlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bunun başlıca nedenleri arasında basitlikleri ve ısı denge açısından uygulamadaki başarılarıdır [12-17]. Bu çalışmada Gagge'in iki bölmeli modeli kullanılmıştır. Gagge ve arkadaşları tarafından geliştirilen iki bölmeli modelde anlık enerji dengesi iç bölüm ve deri tabakası için yazılırsa;

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - Q_{cr,sk} \quad (1)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (C + R + E_{sk}) \quad (2)$$

elde edilir. Bu denklemlerdeki $(C+R+E_{sk})$ terimi taşınım, ışınım ve buharlaşma ile vücuttan olan toplam ısı kaybını vermektedir. C taşınım ve R ışınım ısı akıları HAD hesaplamalarından bulunabilir ve buharlaşma ile olan ısı transferi E_{sk} aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$E_{sk} = \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,t}} \quad (3)$$

Solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ise;

$$C_{res} = m_{res} \cdot c_{p,a} \cdot (t_{ex} - t_a) / A_D \quad (4)$$

$$E_{res} = m_{res} \cdot h_{fg} \cdot (W_{ex} - W_a) / A_D \quad (5)$$

burada,

$$m_{res} = K_{res} \cdot M \quad (6)$$

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066 \cdot t_a + 32 \cdot W_a \quad (7)$$

$$W_{ex} = 0,0277 + 0,000065 \cdot t_a + 0,2 \cdot W_a \quad (8)$$

ifadeleriyle bulunabilir.

Sıcaklık denetim mekanizmaları (vazomotor, terleme, titreme), deriden ve iç bölgeden gelen sıcaklık sinyalleri ile harekete geçmektedir. Bu işlemleri beş sinyal başlatmaktadır. Bu sinyaller; iç bölgeden gelen sıcak sinyal ($WSIG_{cr}$), iç bölgeden gelen soğuk sinyal ($CSIG_{cr}$), deriden gelen sıcak sinyal ($WSIG_{sk}$), deriden gelen soğuk sinyal ($CSIG_{sk}$) ve vücuttan gelen sıcak sinyal ($WSIG_b$). Bu sinyaller tabakaların nötr sıcaklıkları ile gerçek sıcaklıkları arasındaki fark olarak tanımlanmıştır ve sadece pozitif değerler alabilirler:

$$WSIG_{cr} = \max\{(T_{cr} - T_{cr,n}), 0\} \quad (9)$$

$$CSIG_{cr} = \max\{(T_{cr,n} - T_{cr}), 0\} \quad (10)$$

$$CSIG_{sk} = \max\{(T_{sk,n} - T_{sk}), 0\} \quad (11)$$

$$WSIG_{sk} = \max\{(T_{sk} - T_{sk,n}), 0\} \quad (12)$$

$$WSIG_b = \max\{(T_b - T_{b,n}), 0\} \quad (13)$$

İnsan vücudunun ortalama sıcaklığı, deri ve iç vücut sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunabilir.

$$t_b = \alpha \cdot t_{sk} + (1 - \alpha) \cdot t_{cr} \quad (14)$$

Burada vücudun toplam kütesinin deri bölmesinde bulunan kısmını simgeleyen α değeri aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$\alpha = 0,0418 + 0,745 / (3600 \cdot m_{bl} + 0,585) \quad (15)$$

İç vücut ve deri sıcaklıklarının nötr değerden sapmalarının kan akışı üzerindeki etkileri matematiksel olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.

$$m_{bl} = \frac{1}{3600} \frac{6.3 + 200WSIG_{cr}}{1 + 0.5CSIG_{sk}} \quad (16)$$

Kan debisindeki değişimler, deri ve iç vücut bölmelerinin etkin kütlelerini değiştirecektir. İki bölmeli anlık enerji dengesi modelinde, iç bölge ile deri arasındaki ısı geçişi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$Q_{cr,sk} = (K + c_{p,bl} \cdot m_{bl}) \cdot (t_{cr} - t_{sk}) \quad (17)$$

Titreme ve kas gerilmesi yoluyla metabolik ısı üretimi soğuk ortamlarda vücudun ısı dengesini koruması açısından damarlarda vazokonstrüksiyona oranla daha etkili bir mekanizmadır. Titreme ile metabolik enerji üretimi hem deri hem de iç vücuttan eşzamanlı soğuk sinyallerin gönderilmesini gerektirir ve bu iki sinyal ilişkisi denklem-18 ile ifade edilmiştir.

$$M_{shiv} = 19,4 \cdot CSIG_{sk} \cdot CSIG_{cr} \quad (18)$$

Bu durumda toplam metabolik enerji aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir.

$$M = M_{act} + M_{shiv} \quad (19)$$

3.2 Sınır Şartları

Odaya ait yüzeylerde, mankene ait yüzeylerde, giriş ve çıkış menfezlerinde tanımlanan sınır şartları Tablo-2' de yer almaktadır.

Tablo 2. Sınır şartları

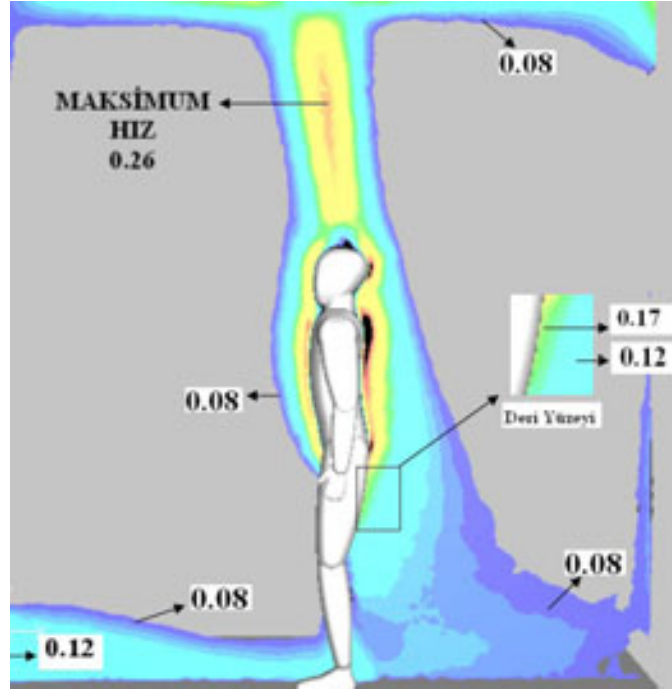
Giriş Menfezi	$U_g=0.12$ m/s, $T_g=22^\circ\text{C}$, $X_g=9.5$ g/kg $k_g=0.002U_g^2$, $\varepsilon_g=k_g^{3/2} / (0.3D)$ burada ($D=0.2$ m)
Duvar Sınır Şartı	Nem : Duvar $(\partial X / dy)_d = 0$ (Adyabatik yüzey) $U_d=0$, $k_d = (\partial k / dy)_d = 0$, $\varepsilon_d = 0$ Sıcaklık : Duvarlar(Oda yüzeyleri): $q = 0$ Manken yüzeyleri : $q = M - (C_{res} + E_{res}) - E_{sk}$ $\varepsilon = 0.98$ (Manken yüzeyleri için), $\varepsilon = 0.95$ (Duvar yüzeyleri için)
Çıkış Menfezi	U , k , ε , T , X : serbest çıkış

4. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

4.1 Hız Dağılımı

Z=1,1 kesit düzlemlerinde hız dağılımı Şekil-4 'de gösterilmiştir. Omuz kısmından baş kısmına doğru mankene ait vücudun geometrisindeki boyutsal azalmadan dolayı yukarı yönlü havanın hızında artış görülmektedir.

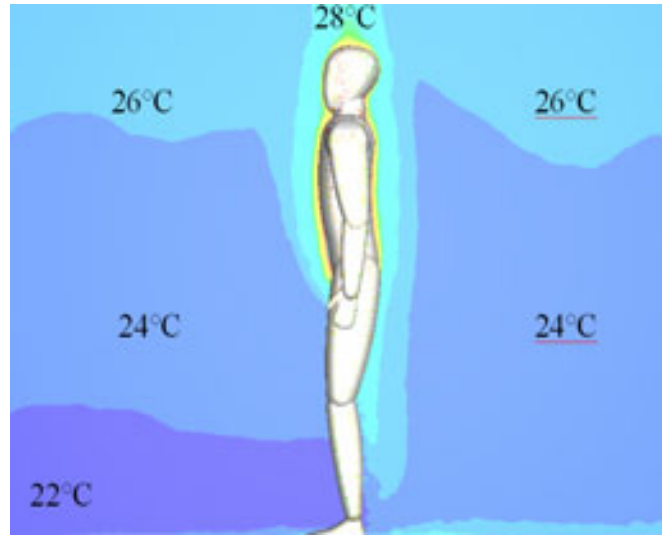
Manken yüzeyindeki hız sınır tabakası omuz bölgesinde yükseklik doğrultusuna bağlı olarak artmaktadır. Baş kısmının üzerinde hız maksimum değere ulaşmakta ve 0,26 m/s'dir.



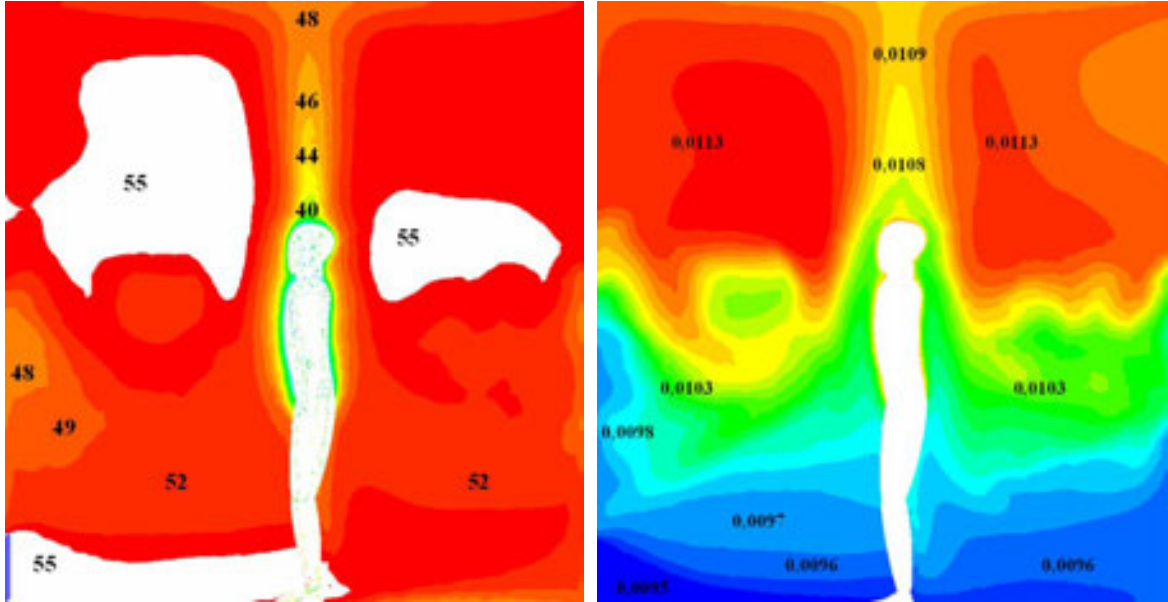
Şekil 4. Z=1,1 Düzleminde Hız(m/s) Dağılımı

4.2 Sıcaklık Dağılımı

Şekil-5'de manken yüzeyindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Menfezlerin konumlarındaki farklılıktan dolayı dikey yönlü bir sıcaklık gradyeni oluşmuştur. Manken yüzeyinde ayak ve baş seviyeleri arasındaki sıcaklık farkı 3-4°C'dir. Işınım ile ısı transferi ve taşınım ile ısı transferi birlikte etki ettiği durumda dikey yönlü sıcaklık gradyeni, sadece taşınım ile ısı transferi etkili olduğu duruma göre karşılaştırıldığında hızlı bir artış göstermemektedir. Bunun nedeni ışınım ile ısı transferi sonucunda odaya ait duvar yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının azalmasıdır. Bu durumda odaya ait yüzeyler adyabatik kabul edilebilir. Hava sıcaklığının uniform dağılım gösterme eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Odanın üst kısımlarında yer alan bölgede mankenin üzerindeki kısımda sıcaklık yüksek değerlerde ve yaklaşık olarak 26° C olacak şekilde uniform dağılıma sahiptir.



Şekil 5. Z=1,1 Düzleminde Sıcaklık(°C) Dağılımı



- İzafi Nem(%) -

- Mutlak Nem(kg/kg kuru hava) -

Şekil 6. Z=1.1 Düzleminde Mutlak ve İzafi Nem Dağılımı

4.3 Mutlak ve İzafi Nem Dağılımı

İnsan vücudu tarafından üretilen nem yükselen hava ile uzaklaştırılmaktadır. Üretilen nem difüzyon ile oda içine yayıldığı gözlenmektedir. Sonuç olarak oda hacminin üst bölgeleri alt bölgelere göre daha yüksek mutlak nem dağılımı hesaplanmıştır.

Oda içindeki mutlak nem dağılımı açısından oda içindeki sıcaklığa benzer özellikler göstermektedir. İzafi nem, sıcaklığın düşük olduğu giriş menfezine yakın kısımlarda yüksek değerlere sahiptir.

Oda hacminde izafi nem uniform kabul edilebilecek şekilde %60 ile %80 arasında bir değişim göstermektedir. Ortalama İzafi nem yaklaşık olarak %65 olarak hesaplanmıştır.

4.4 Duvar Yüzey Sıcaklıkları

Tablo-3 'de duvar yüzey sıcaklıklarına ait dağılım gösterilmiştir. Adyabatik duvarlar insan vücudu ile etkileşim sonucunda ışınlam ile ısı transferi ile ısı kazanırlar. Bu ısı, taşınım ile ısı transferi ile ortam havasına aktarılır. Dolayısıyla duvar yüzey sıcaklıkları ortam havasının sıcaklığından yaklaşık olarak 0.3°C daha yüksek hesaplanmıştır.

Ayrıca duvar yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan ışınlam ile ısı transferi de meydana gelmektedir. Bu durum duvar yüzey sıcaklıklarını uniform kabul etmemiz sonucunu doğurur.

Tablo-3 Duvar Yüzey Sıcaklıkları

Duvar Yüzey Sıcaklıkları	
Duvar Yüzeyi	Ortalama Sıcaklık Değeri(°C)
Çıkış kısmındaki duvar	26,16
Giriş kısmındaki duvar	26,07
Sağ duvar	26,01
Sol duvar	26,01
Taban	25,21
Tavan	26,46

4.5 İnsan Vücudundan Ortama Olan Isı Transferinin Dağılımı

İnsan Vücudundan onu çevreleyen ortama metabolik ısı üretimi şeklinde 1,72 Met, taşınım ile ısı transferi şeklinde 31,1 W/m², ışınlam ile ısı transferi şeklinde 39,9W/m², buharlaşma şeklinde 20,4 W/m² solunum şeklinde 8.6 W/m² değerinde olmak üzere toplam 100 W/m² ısı kaybı olmaktadır.

Sonuç olarak insan vücudundan taşınım ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %31.1'ni, ışınlam ile ısı transferi kaybı toplam ısı kaybının %39,9'unu, buharlaşma ile ısı kaybı toplam ısı kaybının % 20,4'ünü ve solunum ile ısı kaybı toplam ısı kaybının %8,6'sını oluşturmaktadır.

Bu değerler gerçekleştirilen simülasyona ait şartlar neticesinde elde edilmiştir. İnsan vücudundan ortama olan ısı kaybının büyük bir kısmı ışınlam ile ısı transferi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu sonuç ise insan vücudunun ısı duyarlılığının, ışınlam ile ısı transferinden önemli ölçüde etkilendiği sonucunu doğurur.

4.6 Manken ve Oda Duvarları Arasındaki Isıl Denge

Tablo 3 de görüldüğü gibi taban sıcaklığı en düşük sıcaklık değerine sahip olup diğer duvar yüzeyleri sıcaklığından yaklaşık olarak 1°C daha düşüktür. Dolayısıyla taban yüzeyi diğer duvarlara göre ışınlam ile ısı transferi açısından kazancı daha büyüktür ve 40,6 W değerindedir.

Buna karşın tavan yüzeyinde sıcaklık değeri en düşük ve ışınlam ile ısı transferi açısından kazancı 12,7 W civarındadır.

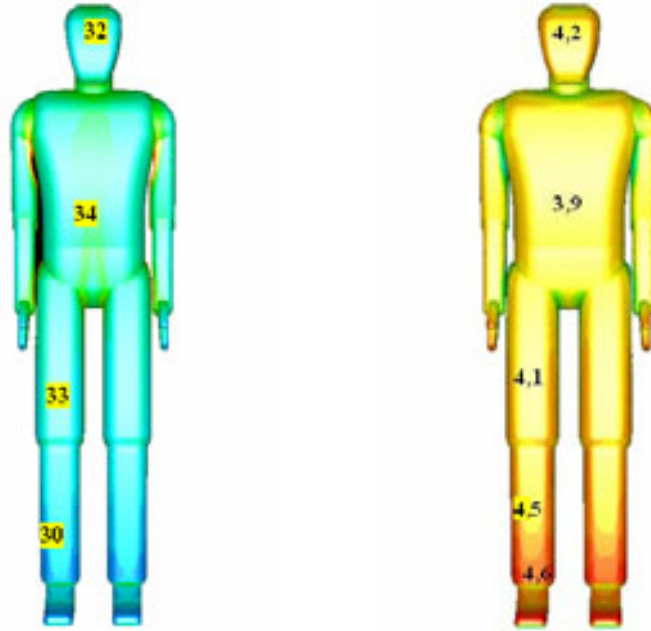
Yan duvar yüzeyleri, giriş ve çıkış kısmındaki duvar yüzeylerine göre daha düşük ışınlam ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Bunun temel nedeni yan duvarlar ile insan vücudu arasında, menfezlerin bulunduğu duvar yüzeylerine göre daha düşük görüş faktörüne sahip olmasıdır.

Ayrıca yan duvarlar arasında simetrik yüzey sıcaklıklarına sahip olmalarına rağmen, ışınım ile ısı transferi sonucunda hesaplanan ısı akısı değerleri arasında düşük bir fark vardır. Bunun nedeni insan vücudunun yüzey sıcaklık dağılımının asimetrik olmasıdır.

4.7 Manken Deri Yüzey Sıcaklığı

Şekil-7 Manken Deri yüzey sıcaklığının dağılımını göstermektedir. Genel olarak 26°C ile 35°C arasında bir değişim göstermektedir. Deri yüzey sıcaklığı ayak kısmında 26°C 'ye kadar düşmekte, omuz kısmında ise 34°C'ye kadar çıkmaktadır.

Ortalama deri yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak 33.1°C hesaplanmıştır. Bu değer insan vücudunun fizyolojik ısı denge şartlarında kapalı ortamda normal aktivite durumunda elde edilen 33,7°C değerine oldukça yakındır.



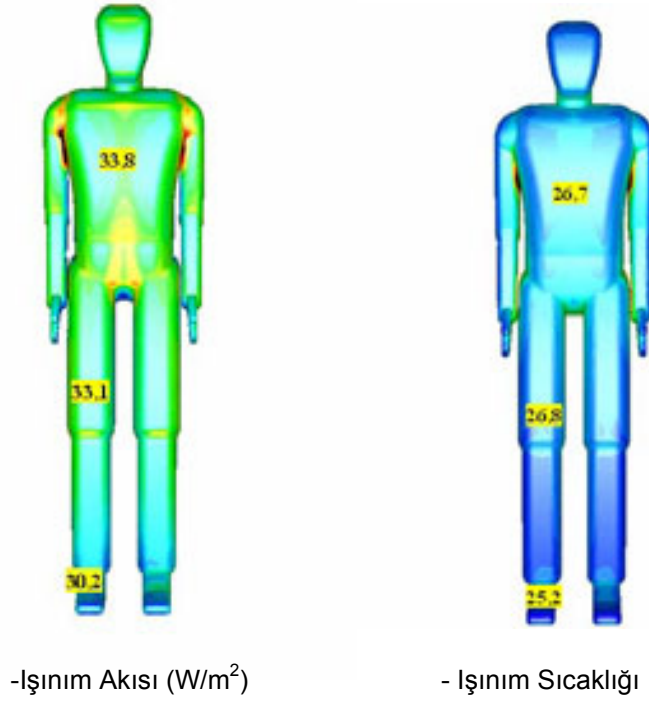
Şekil 7. Manken Deri Yüzey Sıcaklığı(°C) Dağılımı ve Isı Taşınım Katsayısı (W/m²K)

4.8 Manken Yüzeyinin Taşınım ile Isı Transfer Karakteristikleri

Şekil-7'de manken yüzeyinde taşınım ile ısı transferi sonucunda hesaplanan ısı akısı değerleri görülmektedir. Tüm şekillerin ortak özelliği ayak kısımlarında daha ince sınır tabaka kalınlığından dolayı ısı akısı değerleri daha yüksek hesaplanmıştır.

Mankenin boyuna bağlı olarak değerler giderek azalmaktadır. Taşınım ile ısı transferi sonucunda hesaplanan ısı akısı değerleri 30-45 W/m² değerleri arasında değişmektedir.

Isı taşınım katsayısı ise genel olarak 4-5 W/m² değerleri arasında değişmektedir. Ayak yüzeyinde 6 W/m² değerine kadar çıkmaktadır. Ortalama ısı transfer katsayısı 4,1 W/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Manken Yüzeyinin Işınım Akısı ve Işınım Sıcaklığı Dağılımı

4.9 Manken Yüzeyinin Işınım ile Isı Transfer Karakteristikleri

Şekil-8'de mankenin ışınım ile ısı transfer karakteristikleri yer almaktadır. Hem odaya ait duvar yüzey sıcaklık farklarının hem de manken yüzeylerindeki sıcaklık farklarının düşük olmasından dolayı ışınım ile ısı transferi şeklinde hesaplanan ısı akısı 30-40 W/m² arasında değişmektedir.

Ayak kısımlarında düşük yüzey sıcaklığından dolayı daha düşük ısı akısı değeri hesaplanmıştır. Ortalama olarak bakıldığında ışınım ile gerçekleşen ısı akısı (39,9 W/m²), taşınım ile gerçekleşen ısı akısı(31,1 W/m²) değerinden daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Şekil-8 manken yüzeyindeki ortalama ışınım sıcaklık dağılımını göstermektedir. Manken yüzeyindeki ortalama ışınım sıcaklığı 25°C ile 27°C arasında değişmektedir. Mankenin sağ ve sol yüzeyleri düşük ortalama ışınım sıcaklık değerlerine sahiptir. Bunun nedeni bu yüzeyler ile düşük yüzey sıcaklığına sahip taban yüzeyi arasındaki büyük görüş faktörleridir.

SONUÇ

Bu çalışmada, gerçek insan vücudu ölçü ve şekline sahip bir manken kullanılarak vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı-kütle transferinin ve vücut fizyolojisinin gösterdiği tepkilerin belirlenmesi için gerçekleştirilen birleşik hesaplamalı bir model oluşturulmuştur. Vücut metabolizmasının ısı üretimi ve fizyolojik denetim mekanizmaları iki bölge Gagge modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Fizyolojik model hesaplamaları insan yüzeyi sınır şartları olarak kullanılarak, vücutla çevresi arasındaki ısı etkileşim ortamdaki akış, sıcaklık ve nem dağılımı üç boyutlu hesaplamalı akışkanlar mekaniği kullanılarak 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 ışınlama gerçekleşen ısı transferi için ayrık ordinat yöntemi ve türbülans modellenmesi için RNG k- ϵ 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 ışınlama ve taşınım ısı akıları, yerel ve ortalama taşınım katsayısı, deri sıcaklığı hesaplanmıştır. Konforun önemli bir faktör olduğu kapalı ortamlarda, akış analizi, ısı ve kütle transferinin dikkate alındığı birleşik hesaplamalı modelleri kullanılarak karmaşık HVAC sistemlerinin sayısal hesaplama yöntemlerine dayanan analiz yöntemlerinin araştırmacılar için yeterli hassasiyette ve kabul edilebilir sonuçlara ulaştığı bu çalışma ile gösterilmiştir. Geliştirilen yöntem farklı mekanlarda sadece ayakta duran insan için değil farklı konumlarda örneğin oturan ve yatan mankenler ile kullanılabilir. Ayrıca farklı ölçülerde ve sayıda mankenler kullanılarak çeşitli analizler yapmak mümkün olabilecektir. Bu çalışmanın sonuçları diğer çalışmalara da öncülük edecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M262 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

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 its 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] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- [7] Fluent 6 user's guide. Lebanon, NH, USA, Fluent Inc, 2001.
- [8] Chen Q. Comparison of different k- ϵ models for indoor airflow computations. Part B, Fundamentals. Numerical Heat Transfer 1999;28(3):353-69.
- [9] Fanger PO. Thermal comfort. Danish Technical Press, 1970.
- [10] Gagge AP, Stolwijk JAJ, Nishi Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Transactions 1970;77(1):247-62.
- [11] Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG. A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 1986;92(1):709-31.
- [12] Kaynaklı O, Unver U, Kilic M. Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. Int. Comm. Heat and Mass Transfer 2003; 30(8): 1179-1188.
- [13] Kaynaklı, Ö., Kılıç, M., "Titremenin İnsan Fizyolojisine Etkisi ve Vazokonstriksiyon ile Karşılaştırılması", Mühendis ve Makine , 44(527), 30-40 (2003).
- [14] Kaynaklı, Ö., Kılıç, M., "Sürekli Rejimde Isıl Konfor Şartlarının Modellenmesi", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 247-256 (2003).
- [15] Kaynaklı, O. and Kilic, M., " Investigation of Indoor Thermal Comfort Under Transient Conditions", Building and Environment, 40(2), 165-174 (2005).
- [16] Kaynaklı, Ö., Atmaca, İ. ve Kılıç, M., "Giysi Isıl Direnç Faktörünün İnsan Konforu Açısından Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine , 46(543), 20-28 (2005).

- [17] Kilic, M., Kaynakli,O.and Yamankaradeniz, R.,2006, "Determination of the required core temperature for thermal comfort with steady-state energy balance method", Int. Com. in Heat and Mass Transfer, 32(2), 199-210, (2006).

ÖZGEÇMİŞLER

Gökhan SEVİLGEN

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 M.Y.O. Makine programında Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) , Otomobil kabininde havanın hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal çözümü, Bilgisayar Destekli Tasarım konularında çalışmaktadır.

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 uluslar arası ve ulusal dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuş çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır.