

## ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

### SÜREKLİ REJİMDE ISIL KONFOR ŞARTLARININ MODELLENMESİ

Ömer KAYNAKLI<sup>1</sup>, Muhsin KILIÇ<sup>1</sup>

#### ÖZ

Bu çalışmada, vücut ile çevre arasındaki ısı ve kütle geçişi hesabı ve ortamın ısı konfor seviyesinin tespiti için gerekli prosedür tanıtılmış ve mühendislik uygulamalarında kullanıcıya kolaylık sağlayacak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Hazırlanan bilgisayar programı, ısı konforla ilgili gerekli çevresel ve kişisel parametrelerin girilmesinin ardından sürekli rejimde vücuttan olan ısı ve kütle geçişi ile ortamın ısı seviyesini belirlemektedir. Program, görsel bir programlama dili olan Delphi 7 ile hazırlanmıştır. Kullanıcı, giriş verileri arasında yer alan, kişinin hareketlilik düzeyi ve giysi yalıtım değerlerini kendisi girebildiği gibi programda hazır bulunan veri tablolarından da kolaylıkla seçebilmektedir. Aynı zamanda, vücut üzerindeki taşınım katsayısının hesabı için kullanıcı, verilen denklemler arasından kullanım koşullarına bağlı olarak uygun olanı seçebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl konfor, Sürekli rejim, Isı ve kütle geçişi, Modelleme.

## MODELLING OF THERMAL COMFORT CONDITIONS AT STEADY STATE

### ABSTRACT

In this study a procedure for the definition of thermal comfort level is established. In the model, heat and mass transfer between the body and the environment is simulated. Also a user-friendly computer program was developed for engineering applications. The environmental and personal thermal factors are the inputs of the program. Outputs are heat and mass transfer rates and thermal comfort level of the ambient at steady state. The computer program has been developed by Delphi 7 visual programming language. User can either choose the inputs such as activity and clothing resistance from data tables or enter them himself from the keyboard easily. Also the user can choose the appropriate correlation for calculation of the convection heat transfer coefficient on the body from a set given by the program for various usage conditions.

**Key Words:** Thermal comfort, Steady state, Heat and mass transfer, Simulation.

## 1. GİRİŞ

İnsan vücudu ile çevre arasında sürekli olarak ısı ve kütle geçişi söz konusudur. İnsan, yakıtı yenilen besinler ve solunan oksijen olan termodinamik bir sistem olarak düşünülebilir. Bu sistem 100 W ile 1000 W arasında ısı üretebilmektedir. Vücut sıcaklıklarının istenilen seviyede kalması, vücuttan yayılan bu ısının dikkatli bir biçimde denetimi ile sağlanır (ASHRAE, 1973; 1993).

Konuyla ilgili yapılan önceki çalışmalarda Yiğit (1998), vücudun çeşitli bölümlerinden olan ısı kayıplarını farklı giysiler için incelemiştir. Ancak çalışmada,

vücudun konfor bölgesinde olması için ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği ve birbiriyle olan etkileşimleri belirtilmemiştir. Tanebe vd. (1994), insan vücudunun çeşitli bölümlerinden olan duyulur ısı kayıplarını bir ısıl manken üzerinde deneysel olarak incelemiştir. Göz önüne alınan her bölümdeki ısıl direnç ve toplam ısı geçiş katsayısı bulunmuştur. Ancak çalışmada, ısı konforla ilgili bir sonuca varılmamış ve ortamdaki hava hızlarının, bağıl nemin ve giysi dirençlerinin etkisi incelenmemiştir. Kaynaklı vd. (2003a) insan vücudunu 16 kısımda ele almış ve her kısım ile çevre arasında gerçekleşen ısı ve kütle geçişi için matematiksel

<sup>1</sup> Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Görükle-BURSA.

**Geliş:** 18 Nisan 2003; **Düzeltilme:** 18 Ağustos 2003; **Kabul:** 25 Eylül 2003.

model oluşturmuştur. Geliştirilen model kullanılarak ayakta durma ve oturma pozisyonları için vücuttan olan ısı kayıpları ve deri ıslaklıkları hesaplanmıştır. Kaynaklı vd. (2003b) ise çalışmalarında, çevresel parametrelerin ısı konfor bölgesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Burch vd. (1991) otomobil içindeki ısı konfor şartlarını incelerken, McCullough vd. (1985, 1989) giysilerin ısı özelliklerini tespit ederek geniş bir veri tabanı oluşturmuştur.

Vücut ile çevre arasındaki ısı etkileşim için temel ısı ve kütle geçişi denklemlerine, vücuttaki sıcaklık denetim mekanizmalarının etkilerini ifade için ise ampirik bağıntılara başvurulur. Bu tür denklemlerin bilgisayar yardımı olmadan çözülmesi oldukça vakit alır ve hata yapma ihtimali yüksektir. Bu nedenle, bu ifadeleri bilgisayar ortamında çözdürmek ve insanların kolayca kullanabileceği paket programlar haline getirmek yararlıdır. Isı konforla ilgili özellikle yurt içinde yapılan çalışmalar çok sınırlı sayıda olup bilgisayar destekli bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Bu çalışmada, ısı konfor konusunda bu yönde eksiklik görülmüş ve sürekli rejimde insanı etkileyen kişisel ve çevresel faktörlerin incelenebilmesi için bir paket program hazırlanmıştır. Program, görsel programlama dillerinden Delphi 7'de yazılmış ve istenilen parametrelerin kolaylıkla değiştirilebilmesine imkan tanıyacak şekilde esnek hazırlanmıştır. İlerleyen bölümlerde ısı ve kütle geçişi ile ilgili temel bağıntılar verilirken programın daha rahat kullanılabilmesi için gerekli açıklamalar da yapılmıştır.

## 2. SİMGELER

|           |  |
|-----------|--|
| $A_D$     | : DuBois vücut yüzey alanı, $m^2$                                      |
| $c_p$     | : özgül ısı, $kJ/kgK$  |
| $ET^*$    | : etkin sıcaklık, $^{\circ}C$  |
| $f_{cl}$  | : giysi alan faktörü   |
| $h$       | : ısı taşınım katsayısı, $W/m^2K$<br>kütle geçiş katsayısı, $W/m^2kPa$ |
| $h_{fg}$  | : suyun buharlaşma gizli ısısı, $kJ/kg$                                |
| $HSI$     | : ısı yükü indeksi   |
| $I_{cl}$  | : giysinin ısı direnci, $clo$ [ $1 clo = 0,155 m^2K/W$ ]               |
| $i_{cl}$  | : giysinin buhar geçirgenlik verimi                                    |
| $i_m$     | : toplam buhar geçirgenlik verimi                                      |
| $L$       | : ısı yükü, $W/m^2$  |
| $LR$      | : Lewis oranı ( $h_e/h_{cv}$ ), $^{\circ}C/kPa$                        |
| $\dot{m}$ | : kütleli debi, $kg/s.m^2$   |

|            |   |
|------------|---|
| $M$        | : birim zamanda toplam metabolik ısı üretimi, $W/m^2$             |
| $p$        | : basınç, $kPa$   |
| $PMV$      | : tahmini ortalama oy   |
| $PPD$      | : memnun olmayanların yüzdesi                                     |
| $Q$        | : vücut ile çevre arasında birim zamanda olan ısı geçişi, $W/m^2$ |
| $R$        | : ısı direnci, $m^2K/W$<br>buharlaşma direnci, $m^2kPa/W$         |
| $T$        | : sıcaklık, $^{\circ}C$   |
| $T_{rd}^*$ | : ortalama ışınım sıcaklığı, $^{\circ}C$                          |
| $w$        | : deri ıslaklığı  |
| $W$        | : birim zamanda yapılan dış iş, $W/m^2$                           |
| $\dot{W}$  | : havanın özgül nemi, $kg su buharı / kg kuru hava$               |

### Alt indisler

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| $a$   | : hava                |
| $atm$ | : atmosfer            |
| $c$   | : düzeltilmiş         |
| $cl$  | : giysi               |
| $cr$  | : vücudun iç bölmesi  |
| $cv$  | : taşınım             |
| $dif$ | : difüzyon            |
| $e$   | : buharlaşma          |
| $ex$  | : dışarı solunan hava |
| $max$ | : maksimum            |
| $rd$  | : ışınım              |
| $res$ | : solunum             |
| $s$   | : duyulur             |
| $sk$  | : deri                |

## 3. ISIL KONFOR VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Isıl konfor, çevreden duyulan ısı memnuniyet şeklinde tanımlanabilmektedir. Isıl konforu etkileyen parametreleri çevresel ve kişisel olmak üzere temel olarak iki grupta toplayabiliriz (ASHRAE, 1993).

### Çevresel Parametreler:

- Hava sıcaklığı
- Hava hızı
- Havanın bağıl nemi
- Ortalama ışınım sıcaklığı

## Kişisel Parametreler:

- Yapılan iş (aktivite)
- Giysi

Programın kullanımına ilişkin bilgiler, çevresel ve kişisel ısıl konfor parametrelerinin tanıtılması ve insan vücuduyla çevre arasındaki ısı ve kütle geçişiyle ilgili temel tanım, denklem ve ifadeler aşağıda verilirken programın akış şeması Şekil 1'de görülmektedir. Şekil 2'de ısıl konfor parametrelerin programa giriş sayfasındaki görünümü verilmiştir. Kullanıcı, bu kısımda çevre ve kişi ile ilgili gerekli verileri girer.

#### 4. İNSAN VÜCUDU İLE ÇEVRE ARASINDAKİ ISI GEÇİŞİ

##### 4.1 Enerji Dengesi

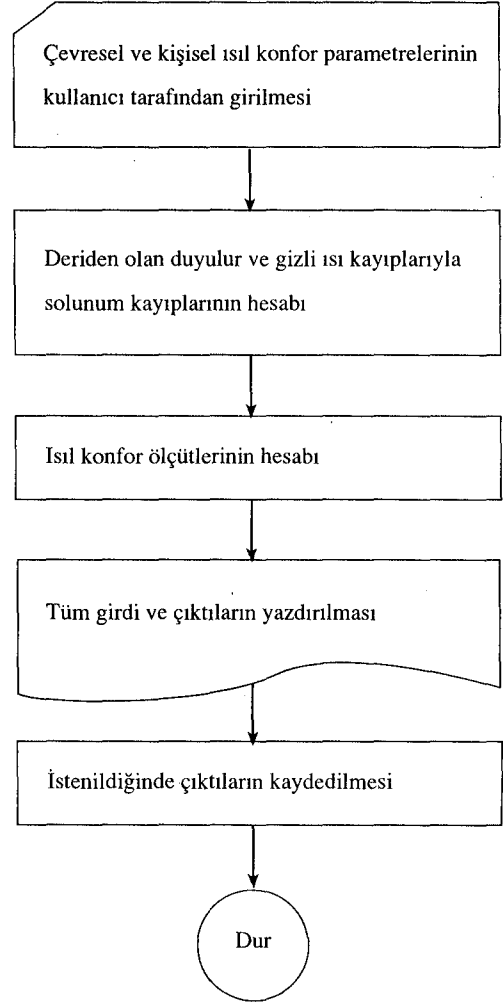
Sürekli rejimde, vücutta metabolik aktivitelerle üretilen ısıl enerji, vücuttan çevreye olan ısı kaybına eşittir. Bu denge aşağıda verilen 1 numaralı denklem ile ifade edilebilir (ASHRAE, 1973; 1993).

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (Q_{cv} + Q_{rd} + Q_{e,sk}) + (Q_{s,res} + Q_{e,res}) \quad (1)$$

Burada verilen bütün terimler vücudun birim yüzey alanı için ifade edilmektedir. Genelde vücudun çıplak yüzey alanı için DuBois denklemi kullanılmaktadır (ASHRAE, 1973, 1993, Butera, 1998).

$$A_D = 0.202m^{0.425}l^{0.725} \quad (2)$$

burada,  $m$  vücudun kütlesi ve  $l$  boy'dur.



Şekil 1. Programın Akış Şeması.

Şekil 2. Sürekli Rejim Modeli İçin Çevresel ve Kişisel Parametrelerin Girildiği Ekran.

## 4.2 Metabolik Isı Üretimi ve Dış İş

Vücudun enerji dengesini gösteren 1 numaralı ifadenin sol kısmında yer alan  $M$  ve  $W$  sırasıyla çeşitli aktivitelerde vücudun ürettiği ısıyı ve yapılan dış işi göstermektedir. Metabolik aktivite bir çok durumda  $met$  ile ifade edilir ve  $1\ met = 58.15\ W/m^2$ 'dir. Hazırlanan programda yer alan, çeşitli işler sırasında vücudun ürettiği ısı değerleri Şekil 3'de görülmektedir. Kullanıcı, burada verilen işlerden birinin üzerine tıkladığında seçim işlemini de yapmış olur. Seçimini değiştirmek için farklı bir işin üzerine tıklaması yeterlidir. Program yeni değeri, girdiler arasında yer alan Aktivite alanına getirir.

Yapılan dış iş ise, metabolik ısının yaklaşık % 0 ile % 20-25'i arasında değişir. Ancak bir çok durum için sifıra yakındır (ASHRAE, 1973; 1993; Butera, 1998).

## 4.3 Taşınım ve Işınım Olan Isı Geçişi

Vücuttan çevreye taşınım olan ısı geçişi aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunabilir.

$$Q_{cv} = f_{cl} h_{cv} (T_{cl} - T_a) \quad (3)$$

Taşınım yoluyla olan ısı geçişini etkileyen faktörler şunlardır:

- hava sıcaklığı
- ortalama giysi yüzey sıcaklığı
- ısı taşınım katsayısı (hava hızı)
- giysi çeşidi

Burada,  $f_{cl}$  giysi alan faktörü olarak tanımlanıp, vücut yüzey alanının giysilerden dolayı artma oranıdır. Giysi alan faktörü için aşağıda verilen bağıntı kullanılmıştır (McCullough vd., 1985).

$$f_{cl} = 1.0 + 0.3I_{cl} \quad (4)$$

Isı taşınım katsayısının belirlenmesi için kişinin pozisyonu (oturma veya ayakta), aktivitesi ve bulunduğu ortamdaki hava hızı gibi şartların bilinmesi gerekmektedir. Programda kullanıcı, hava hızını yazmak için gerekli hücreye girdiğinde pencerenin açıklama kısmında ihtiyaç duyulan şartlar ve formüller görülmektedir (Şekil 4). Bunlardan uygun olan birinin seçilmesi suretiyle ısı taşınım katsayısının hesabı için kullanılacak formül belirlenmiş olur.

$h_{cv}$  ısı taşınım katsayısının bilinmesi, sadece ısı taşınımının hesaplanması bakımından değil operatif sıcaklık, giysi parametreleri ve etkin sıcaklığın belirlenebilmesi için de önemlidir. Isı taşınım katsayısı için verilen denklemler, 101.325 kPa basınç için geçerlidir. Atmosfer basıncında önemli ölçüde farklılık olması durumunda bu değerlere uygulanacak düzeltme için aşağıda verilen ifade kullanılabilir (ASHRAE, 1993).

$$h_{cv,c} = h_{cv} (P_{atm} / 101.325)^{0.55} \quad (5)$$

Bu durumda, 3 numaralı denklemle verilen taşınım olan ısı geçişinin bulunabilmesi için, düzeltilmiş ısı taşınım katsayısı kullanılır. Vücuttan çevreye ışımla olan ısı geçişi aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunabilir (ASHRAE, 1993).

**Tüm Vücut İçin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli**

**Giriş Değerleri**

**Çevresel Parametreler**

Ortam Sıcaklığı (T<sub>a</sub>)  °C

Işınım Sıcaklığı (T<sub>r</sub>)  °C

Bağıl Nem (φ)  %

Hava Hızı (V)  m/s

Atmosfer Basıncı (p<sub>a</sub>)  kPa

**Kişisel Parametreler**

Ağırlık (m)  kg

Boy (L)  m

Giysi Yalıtımı (R<sub>cl</sub>)  clo

Buharlaşma Direnci (R<sub>e,cl</sub>)  m<sup>2</sup>·kPa/w

Aktivite (Met)  w/m

Yapılan Dış İş (W)  w/m

**Opsiyonel Parametreler**

Deri Sıcaklığı (T<sub>sk</sub>)  °C

Deri Islaklığı (w)

**Metabolik Isı Üretimi**

| Aktivite                  | W/m <sup>2</sup> | met        |
|---------------------------|------------------|------------|
| Yürüme (Düz Yüzeyde)      |                  |            |
| 0,89 m/s                  | 115              | 2.0        |
| 1,34 m/s                  | 150              | 2.6        |
| 1,79 m/s                  | 220              | 3.8        |
| <b>Büro İşleri</b>        |                  |            |
| Okuma, Oturma             | 55               | 1.0        |
| Yazma                     | 60               | 1.0        |
| Daktilo Yazma             | 65               | 1.1        |
| Dosyalama (oturarak)      | 70               | 1.2        |
| <b>Dosyalama (Ayakta)</b> | <b>80</b>        | <b>1.4</b> |
| Gezinme                   | 90               | 1.7        |
| Kaldırma, Paketleme       | 120              | 2.1        |
| Araba, Uçak Kullanma      |                  |            |
| Araba                     | 60-115           | 1.0-2.0    |

**Hesapla**

Şekil 3. Çeşitli İşler Sırasında Vücudun Ürettiği Isı Miktarı.

**Tüm Vücut İçin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli**

**Giriş Değerleri**

|  |                        |
|--|------------------------|
| <b>Çevresel Parametreler</b>                               |                        |
| Ortam Sıcaklığı ( $T_a$ )                                  | 20 °C                  |
| Işınım Sıcaklığı ( $T_r^*$ )                               | 20 °C                  |
| Bağıl Nem ( $\phi$ )                                       | 50 %                   |
| Hava Hızı ( $v$ )  | 0.05 m/s               |
| Atmosfer Basıncı ( $p_a$ )                                 | 101.325 kPa            |
| <b>Kişisel Parametreler</b>                                |                        |
| Ağırlık ( $m$ )  | 70 kg                  |
| Boy ( $L$ )  | 1.70 m                 |
| Giysi Yalıtımı ( $R_{cl}$ )                                | 1.00 clo               |
| <input type="checkbox"/> Buharlaşma Direnci ( $R_{e,rd}$ ) | 0 m <sup>2</sup> KPa/W |
| Aktivite ( $M_{act}$ )                                     | 80 W/m <sup>2</sup>    |
| Yapılan Diğ. İş ( $W$ )                                    | 0 W/m <sup>2</sup>     |

**Opsiyonel Parametreler**

Deri Sıcaklığı ( $T_{sk}$ )  °C

Deri Islaklığı ( $w$ )

**Açıklama**

Oturma Hali  
 $h_c = 8.3 \vee^{0.6}$

Uzanma Hali  
 $h_c = 2.7 + 8.7 \vee^{0.67}$

Durgun Havada Yürüme ( $v$ : yürüme hızı)  
 $h_c = 8.6 \vee^{0.53}$

Hareketli Havada Ayakta Durmak  
 $h_c = 14.8 \vee^{0.69}$

Durgun Havada İş Yapmak  
 $h_c = 5.66 (M - 0.85)^{0.39}$

Şekil 4. Taşınım Katsayısı Hesabında Kullanılacak Formülün Seçim Ekranı.

$$Q_{rd} = f_{cl} h_{rd} (T_{cl} - T_{rd}^*) \quad (6)$$

Işınım yoluyla olan ısı geçişini etkileyen faktörler,

- ortalama ışınım sıcaklığı
- ortalama giysi yüzey sıcaklığı
- giysi çeşidi

Burada,  $h_{rd}$  ışınım ile olan eşdeğer ısı taşınım katsayısıdır ve aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993).

$$h_{rd} = 4\epsilon\sigma (A_{rd}/A_D) \left( 273.5 + \frac{T_{cl} + T_{rd}^*}{2} \right)^3 \quad (7)$$

#### 4.4 Buharlaşmayla Olan Isı Geçişi

Terin deriden buharlaşmasıyla olan ısı kaybı ( $Q_{e,sk}$ ), aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993).

$$Q_{e,sk} = \frac{w (P_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} h_e}} \quad (8)$$

Terin deriden buharlaşmasıyla olan ısı kaybını etkileyen faktörler,

- bağıl nem
- hava hızı
- deri sıcaklığı
- giysi çeşidi (giysinin ısı direnci ve buhar geçirgenliği)
- deri ıslaklığı

$h_{cv}$  katsayısında olduğu gibi  $h_e$  katsayısı için de atmosfer basıncının 101.325 kPa değerinden farklı olması durumunda düzeltme uygulanmalıdır (ASHRAE, 1993).

$$h_{e,c} = h_e (101.325 / P_{atm})^{0.45} \quad (9)$$

Bu durumda 8 numaralı denklemle verilen buharlaşmayla olan ısı kaybı hesabında,  $h_e$  yerine  $h_{e,c}$  katsayısı kullanılır.

#### 4.5 Solunumla Olan Isı Geçişi

Solunan hava, çevre şartlarında vücuda girer ve yaklaşık iç vücut sıcaklığında doymuş şartlarda çıkar. Bu esnada havaya taşınım ve buharlaşma nedeniyle duyulur ve gizli ısı geçişi olur. Solunum yoluyla olan ısı geçişi aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993).

$$Q_{res} = Q_{s,res} + Q_{e,res} = (\dot{m}_{res} c_{p,a} (T_{ex} - T_a) + (\dot{m}_{res} h_{fg} (\dot{W}_{ex} - \dot{W}_a))) / A_D \quad (10)$$

Solunumla olan ısı geçişini etkileyen faktörler şunlardır:

- hava sıcaklığı
- aktivite
- bağıl nem

## 4.6 Giysi Yalıtımı

Vücut üzerindeki giysi grupları ve aralarındaki hava katmanlarının ısı ve buharlaşma dirençleri, çevreye olan ısı ve kütle geçişini kısıtlamaktadır. Günlük uygulamaların çoğunda giysi yalıtımı ölçülemediğinden değişik giysi grupları için ölçülmüş değerleri veren çizelgelerden yararlanarak, uygulamadaki giysi grubuna benzer bir giysi grubu seçilebilir (ASHRAE, 1993). Programda kullanıcının seçebileceği giysiler için yalıtım değerleri Şekil 5'de görülmektedir. Bir giysi türünün seçilmesi için solundaki onay kutusunun tıklanması yeterli olmaktadır. Seçim yapılırken giysi yalıtım değerleri penceresinin alt kısmında, seçim adedi ve toplam giysi yalıtım değeri de verilmektedir. Giysi yalıtımı genellikle  $clo$  biriminde ifade edilir ve  $1\ clo = 0.155\ m^2K/W$  dir.

Giysinin buharlaşmayla olan ısı geçişine gösterdiği direnç ( $R_{e,cl}$ ), kullanıcı tarafından belirlenebildiği gibi bu değer bilinmemesi durumunda aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$R_{e,cl} = R_{cl} / (i_{cl}LR) \quad (11)$$

burada,  $i_{cl}$  giysinin buhar geçirgenlik verimidir ve iç ortamlarda genellikle kullanılan giysiler için 0.34 alınması önerilmektedir (McCullough vd., 1989). Lewis oranı ( $LR$ ) olağan iç ortam koşullarında yaklaşık  $16.5\ ^\circ C/kPa$  değerindedir (ASHRAE, 1993).

## 5. ISIL KONFORUN BELİRLENMESİ

### 5.1 Deri Sıcaklığı ve Islaklığı

Deri ıslaklığı ( $w$ ), deride terlemeyle olan ısı kaybının ( $Q_{e,sk}$ ), maksimum değerine ( $Q_{e,max}$ ) oranıdır.  $Q_{e,max}$  maksimum buharlaşma potansiyelidir ve derinin tamamının ıslak olması durumunda gerçekleşir. Deri ıslaklığı, sıcaklıktan kaynaklanan rahatsızlıkla doğrudan ilişkilidir ve ısı yükünü iyi bir ölçüsüdür.

Programın giriş verileri arasında **Opsiyonel Parametreler** olarak deri sıcaklığı ve ıslaklığı yer almaktadır. Bu değerler isteğe bağlı olup, eğer kullanıcı deri sıcaklığı ve ıslaklığını ölçmüş ise **Opsiyonel Parametreler**'in yanındaki onay kutusunu işaretleyerek bu değerleri girebilir. Eğer ölçülmemişse program, aktivite değerine bağlı olarak bu değerleri hesaplamakta ve Sonuçlar ekranına yazdırmaktadır.

### 5.2 $ET^*$ , $PMV$ , $PPD$ ve $HSI$ Ölçütleri

Etkin sıcaklık ( $ET^*$ ), bulunulan ortamda çevreye olan ısı kaybına eşit bir ısı kaybına yol açan, %50 bağıl nemdeki ortamın sıcaklığıdır. Böylece farklı sıcaklık ve nemde olsalar da aynı  $ET^*$  değerine sahip iki ortam, hava hızlarının aynı olması kaydıyla kişide aynı ısı davranışa yol açar. Etkin sıcaklık aşağıda verilen denklem yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1973, 1993).

$$ET^* = T_0 + w_{im}LR (p_a - 0.5p_{ET^*,s}) \quad (12)$$

**Tüm Vücut İçin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli**

| Giriş Değerleri  |             |
|--|-------------|
| <b>Çevresel Parametreler</b>                               |             |
| Ortam Sıcaklığı ( $T_a$ )                                  | 20 °C       |
| İçinim Sıcaklığı ( $T_r^*$ )                               | 20 °C       |
| Bağıl Nem ( $\phi$ )                                       | 50 %        |
| Hava Hızı ( $V$ )  | 0.05 m/s    |
| Atmosfer Basıncı ( $p_a$ )                                 | 101.325 kPa |
| <b>Kişisel Parametreler</b>                                |             |
| Ağırlık ( $m$ )  | 70 kg       |
| Boy ( $L$ )  | 1.70 m      |
| Giysi Yalıtımı ( $R_{cl}$ )                                | 1.00 $do$   |
| <input type="checkbox"/> Buharlaşma Direnci ( $R_{e,cl}$ ) | $m^2kPa/W$  |
| Aktivite ( $M_{act}$ )                                     | 80 $W/m^2$  |
| Yapılan Diğer İş ( $W$ )                                   | 0 $W/m^2$   |

| Opsiyonel Parametreler                                   |                    |
|--|--------------------|
| <input type="checkbox"/> Deri Sıcaklığı ( $T_{sk}$ )     | °C                 |
| <input type="checkbox"/> Deri Islaklığı ( $w$ )          |                    |
| <b>Giysi Yalıtım Değerleri</b>                           |                    |
| Giysi Türü   | $i_{clo}$          |
| <input type="checkbox"/> Süeterler                       |                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Kolsuz süeter (ince) | 0.13               |
| <input type="checkbox"/> Kolsuz süeter (kalın)           | 0.22               |
| <input type="checkbox"/> Uzun kollu süeter (ince)        | 0.25               |
| <input type="checkbox"/> Uzun kollu süeter (kalın)       | 0.36               |
| <input type="checkbox"/> Ceket ve Yelekler (Astarlı)     |                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Önden düğmeli (ince) | 0.36               |
| <input type="checkbox"/> Önden düğmeli (kalın)           | 0.44               |
| <input type="checkbox"/> Kruvaze (ince)                  | 0.42               |
| <input type="checkbox"/> Kruvaze (kalın)                 | 0.48               |
| <b>Toplam</b>  | <b>1.00</b> 7 adet |

**Hesapla**

Şekil 5. Giysi Yalıtım Değerlerinin Seçim Ekranı.

Tahmini Ortalama Oy (PMV) indeksi, ortamın bir grup insan tarafından değerlendirilmesini ifade etmektedir. Bu ölçek 13 numaralı denklem yardımıyla hesaplanabilir ve sonuç 7 noktalı sayısal ölçeğe göre değerlendirilir. Bu ölçek, +3 sıcak, +2 hafif sıcak, +1 ılık, 0 nötr, -1 serin, -2 hafif soğuk, -3 soğuk, şeklindedir (ASHRAE, 1993).

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028)L \quad (13)$$

Burada  $M$  vücudun metabolik aktivitelerle ürettiği ısı olup 1 numaralı denklemde kullanılan değer ile aynıdır. Kullanıcı bu büyüklüğü Bölüm 4.2'de izah edildiği gibi programda verilen tablolardan seçebilmektedir.  $L$  ise vücut üzerindeki ısı yük olup vücutta üretilen ısıyla çevreye olan ısı kayıpları arasındaki farktır.

Memnun Olmayanların Yüzdesi (PPD) indeksi, bir ortamda bulunan insanlardan, ortamı ısısal açıdan konforlu bulmayanların oranını verir. PPD ile PMV arasındaki ilişki 14 numaralı denklem ile tanımlanmıştır (ASHRAE, 1993).

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (14)$$

Isı Yükü İndeksi (HSI), ısısal denge için gerekli toplam buharlaşmayla olan ısı kaybının, bulunulan ortam için mümkün olabilecek en yüksek buharlaşmayla olan ısı kaybına oranıdır ve bu oran 100 ile çarpılarak ifade edilir.

Isıl konforun belirlenmesinde kullanılan bütün bu ölçütler hesaplanarak programın **Sonuçlar** kısmında yazdırılmaktadır. Şekil 6'da programın **Sonuçlar** sayfasından bir örnek görülmektedir. PMV ve HSI değerleri-

nin sağ tarafında, hesaplanan sayısal sonucun açıklaması yer almaktadır. HSI ölçütü için hücrenin yanında yer alan aşağı ok tuşuna basılarak açıklamanın tamamı okunabilir.

Sonuçlar ekranında vücuttan olan ısı kayıpları (duyulur, gizli, solunum) hem  $W$  hem de  $W/m^2$  birimlerinde verilmiştir. Bu değerlerin altında ise toplam ısı kaybı yer almaktadır. Bulunan bu sonuçlar, istenilirse Çıktı Listesine Ekle düğmesiyle **Çıktılar** sayfasına gönderilebilir. Çıktılar sayfasında, kullanıcının girdiği kişisel ve çevresel faktörlerle beraber simülasyondan elde edilen veriler de görülmektedir. Burada, yapılan bir hesaplamayla ilgili tüm girdi ve çıktılar bir satırda görülür. Dolayısıyla kullanıcı etkisini incelemek istediği bir parametreyi (örnek olarak ortam sıcaklığını) girdi sayfasından değiştirebilir ve çıktılar sayfasına atmak suretiyle, ortam sıcaklığının değişiminin ısısal konfor şartlarına etkisini inceleyebilir. Şekil 7'de **Çıktılar** sayfasından bir örnek görülmektedir.

Çıktılar sayfasında yer alan Kaydet düğmesiyle, bu veriler metin (.txt) dosyasına kaydedilerek saklanabilir. Daha sonra herhangi bir tablolaştırma veya grafik programı kullanılarak (Excel, Lotus vb.) üzerinde istenilen analizler yapılabilir.

## 6. PROGRAMIN GEÇERLİLİĞİ

Programın geçerliliği, modelden elde edilen sonuçların Butera (1998)'in çalışmasıyla karşılaştırılarak ortaya konmuştur. Konfor şartlarının bozulmaması

| Tüm Vücut İçin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli     |                |   |                              |
|--|----------------|---|------------------------------|
| <b>Sonuçlar</b>  |                |   |                              |
| Etkin Sıcaklık (ET*)                                   | 20             | °C  |                              |
| Tahmini Ortalama Oy İndeksi (PMV)                      | 0.52           | Ilık  |                              |
| Memnun Olmayanların Yüzdesi (PPD)                      | 10.661         |   |                              |
| Isı Yük İndeksi (HSI)                                  | 17.228         | Hafif ile orta  |                              |
| Deri Sıcaklığı (T <sub>sk</sub> )                      | 33.5           | Hafif ile orta düzeyde ısı zorlanma. İş, kafa ve el becerileri gerektiren dikkat isteyen bir nitelikte ise performansta azdan çoğa kadar değişen bir kötüleşme görülebilir. Ağır iş yapan kişilerde, kişinin sıcak ortamlarda çalışmaya karşı özel bir direnci yoksa etkilenme çok azdır. |                              |
| Deri İstediği (w)                                      | 0.172          |   |                              |
| <b>Isı Kayıpları</b>                                   |                |   |                              |
| Deriden Olan Duyulur Isı Kaybı (Q <sub>s,sk</sub> )    | 85.105         | W   | 47.137 W/m <sup>2</sup>      |
| Deriden Olan Gizli Isı Kaybı (Q <sub>e,sk</sub> )      | 23.898         | W   | 13.236 W/m <sup>2</sup>      |
| Solunumla Olan Duyulur Isı Kaybı (Q <sub>s,res</sub> ) | 2.936          | W   | 1.626 W/m <sup>2</sup>       |
| Solunumla Olan Gizli Isı Kaybı (Q <sub>e,res</sub> )   | 11.63          | W   | 6.441 W/m <sup>2</sup>       |
| <b>Toplam Isı Kaybı</b>                                | <b>123.568</b> | <b>W</b>  | <b>68.44 W/m<sup>2</sup></b> |
| Çıktı Listesine Ekle                                   |                |   |                              |
| Girdiler   |                | Çıktılar  |                              |

Şekil 6. Programdan Elde Edilen Verilerin Görüldüğü Sonuçlar Ekranı.



**Tüm Vücut İçin Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli**

| Çıktılar |        |        |        |          |       |           |                           |           |      |  |
|----------|--------|--------|--------|----------|-------|-----------|---------------------------|-----------|------|--|
| ET* (°C) | PMV    | PPD    | HSI    | Tsk (°C) | w     | Qs,sk (W) | Qs,sk (W/m <sup>2</sup> ) | Qe,sk (W) | Qe,s |  |
| 20       | -0.051 | 5.054  | 6.912  | 34.05    | 0.069 | 88.873    | 49.224                    | 9.992     |      |  |
| 20       | 0.52   | 10.661 | 17.228 | 33.5     | 0.172 | 85.105    | 47.137                    | 23.898    |      |  |
| 22.526   | 1.836  | 68.869 | 68.192 | 31.575   | 0.682 | 62.298    | 34.505                    | 71.788    |      |  |
| 20.958   | 1.697  | 61.584 | 63.282 | 31.575   | 0.633 | 68.183    | 37.764                    | 72.329    |      |  |
| 22       | 1.404  | 45.716 | 42.062 | 32.4     | 0.421 | 65.31     | 36.173                    | 51.422    |      |  |
| 22       | 1.047  | 28.126 | 35.088 | 32.4     | 0.351 | 83.683    | 46.349                    | 53.181    |      |  |
| 22.984   | 0.983  | 25.392 | 28.639 | 32.4     | 0.286 | 85.826    | 47.536                    | 55.772    |      |  |

Kaydet

Sonuçlar

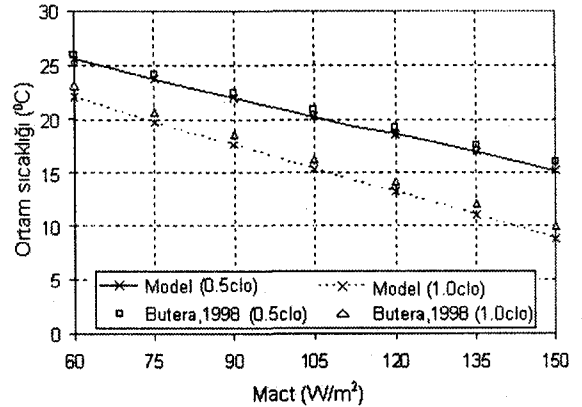
Şekil 7. İstenilen Sonuçların Gönderildiği Çıktılar Sayfası.

(PMV  $\approx$  0) için Şekil 8'de farklı giysi dirençlerinde, Şekil 9'da farklı hava hızlarında aktivite ile ortam sıcaklığının değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar oldukça uyumludur.

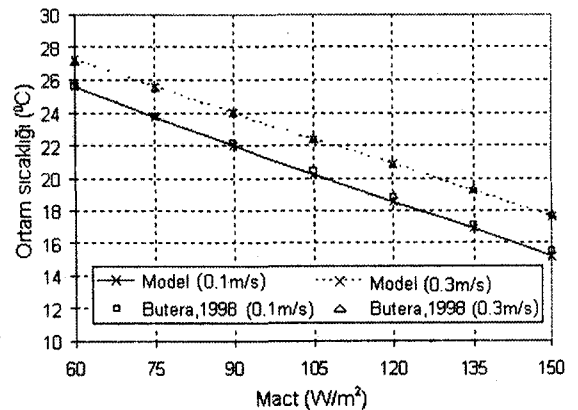
## 7. SONUÇ

Vücut ile çevre arasındaki ısıl etkileşim, konforun yanısıra insanın sağlığını da etkilemektedir. Özellikle çalışılan mekanlarda istenilen ısıl şartların temin edilememesi ve bunun getirdiği yerel konforsuzluklar kişinin performansını, konsantrasyonunu ve iş verimini olumsuz yönde etkileyebilecektir. Bu nedenle vücuttan çevreye olan ısı geçişinin kontrol edilmesi son derece önemlidir.

Deri yüzeyinden çevreye olan ısı ve kütle geçişinin hesaplanması, verilen denklemlerin sık sık kullanılması zaman alıcı olduğundan pratik bir yol değildir. Bu nedenle bu çalışmada, ısıl konfor konusunda çalışanlara, konfor amaçlı iklimlendirme uygulamalarıyla uğraşanlara ve mühendislik öğrencilerine hız ve kolaylık sağlayacak bir program hazırlanmıştır. Bu program kullanılarak, ortam şartlarının (sıcaklık, nem ve ışınım sıcaklığı), vücut üzerindeki hava hızının, kişinin aktivitesinin ve giysi durumunun ısıl konfor şartlarına etkisi kolaylıkla incelenebilmektedir. Çalışılan bir mekanda (fabrika veya ofis ortamı) çalışanların rahat ve konforlu olması ve iş veriminin olumsuz yönde etkilenmemesi için gerekli ortam şartları hassas bir şekilde tespit edilebilir. Hazırlanan program, vücut ile çevre arasındaki ısı ve kütle geçişi ve ısıl konfor şartları ile ilgili yapılacak yeni çalışmalara da taban oluşturmaktadır.



Şekil 8. Farklı Giysi Dirençlerinde Aktivite ile Ortam Sıcaklığının Değişimi.



Şekil 9. Farklı Hava Hızlarında Aktivite ile Ortam Sıcaklığının Değişimi.



**KAYNAKÇA**

ASHRAE (1973). ASHRAE handbook and product directory – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 34p.

ASHRAE (1993). ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29p.

Burch, S.D., Ramadhyani, S. ve Pearson, J.T. (1991). Analysis of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditioning. *ASHRAE Transactions*, 97, 247-257.

Butera, F.M. (1998). Chapter 3- Principles of thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2, 39-66.

Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü. ve Kılıç, M. (2003a). Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. *Int. Comm. Heat and Mass Transfer* 30(8), 1178-1188.

Kaynaklı, Ö., Ünver, Ü. ve Kılıç, M. (2003b). Calculation of thermal comfort zones with the ambient parameters. *The First International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEES-1)*. 13-17 July, Izmir, Turkey, ss. 769-773.

McCullough, E.A., Jones, B.W. ve Huck, J. (1985). A Comprehensive data base for estimating clothing insulation. *ASHRAE Transactions* 91(2), 29-47.

McCullough, E.A., Jones, B.W. ve Tamura, T. (1989). A Data base for determining the evaporative resistance of clothing. *ASHRAE Transactions* 95(2), 316-328.

Olesen, B.W., Hasebe, Y. ve de Dear, R.J. (1988). Clothing insulation asymmetry and thermal comfort. *ASHRAE Transactions* 94 (1), 32-51.

Tanebe, S., Arens, E.A., Bauman, F.S., Zang, H. ve Madsen, T.L. (1994). Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. *ASHRAE Transactions* 100(1), 39-48.

Yiğit, A. (1998). The Computer-based human thermal model. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 25(7), 969-977.



**Muhsin KILIÇ**, 1965 yılında doğdu. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1986 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 1989 yılında O.D.T.Ü. de yüksek lisans, 1993 yılında İngiltere’de Bath Üniversitesi’nde Doktora çalışmasını tamamladı. 1996 yılında Isı ve Kütle Transferi ve Uygulamaları bilim dalında Doçent, 2002 yılında Profesör oldu. Halen Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim dalında öğretim üyesidir. Evli ve iki çocuk babasıdır.



**Ömer KAYNAKLI**, 1977’ de Bursa’ da doğdu. 1994 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başladı. 1998 yılında bölümden mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başladı. 1999 yılında bölümde Araştırma Görevlisi oldu. 2000 yılında yüksek lisans derecesini aldı ve aynı yıl doktora öğrenimine başladı. Halen aynı bölümde görevine ve Doktora öğrenimine devam etmektedir.