

## ISIL KONFOR İÇİN GEREKLİ VÜCUT SICAKLIKLARI VE ORTAM ŞARTLARI

Ömer KAYNAKLI\*, Recep YAMANKARADENİZ

Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim. Fak., Makine Müh. Böl., Bursa, TÜRKİYE,  
kaynakli@uludag.edu.tr

### ÖZET

Endüstrileşmiş ülkelerde insanlar zamanlarının yaklaşık %90'nını kapalı mekanlarda geçirmektedirler. Kapalı mekanlarda ısı konforu etkileyen çevresel parametreler, hava sıcaklığı, nemi, hızı ve ortalama ışınım sıcaklığıdır. Isıl çevrenin değerlendirilmesinde, bu parametrelerin yanında kişinin giysi durumu ve aktivitesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada, ısı konforu sağlayan deri sıcaklığı ( $t_{sk,req}$ ), terlemeyle olan ısı kaybı ( $E_{sk,req}$ ) değerleri ve vücut üzerindeki ısı yükün yaklaşık sıfır olması gereği referans alınarak, ısı konfor parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca vücudun iç bölme ve ortalama sıcaklıkları tespit edilmiştir.

*Anahtar Kelimeler : Isıl Konfor, ısı konfor parametreleri, vücut iç bölme ve deri sıcaklıkları*

## THERMAL COMFORT FOR REQUIRED BODY TEMPERATURES AND AMBIENT CONDITIONS

### ABSTRACT

In industrialized countries about 90 % of the time is spent indoors. The environmental parameters affecting indoor thermal comfort are air temperature, humidity, air velocity and mean radiant temperature. In assessing thermal environment, besides these environmental parameters, we should also consider some personal parameters such as clothing and human activity. In this study, we tried to determine the thermal comfort factors with reference to required skin temperature ( $t_{sk,req}$ ) and sweating heat loss ( $E_{sk,req}$ ) and necessity of heat load being equal to zero. We also determined body core and mean body temperatures.

*Key Words : Thermal comfort, thermal comfort factors, body core and skin temperatures*

### 1. GİRİŞ

Vücut ile çevre arasındaki ısı geçişi ile ilgili yaygın olarak iki model kullanılır. İlki, Fanger ve arkadaşları tarafından geliştirilen Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli'dir ve vücudu bütün olarak ele alıp enerji depolamasının ihmal edilebileceğini ve vücut sıcaklıklarının zamana göre sabit kaldığını kabul eder (1,2). İkincisi Gagge ve arkadaşları tarafından geliştirilen İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi

Modeli'dir. Bu model ise vücudu iç içe iki silindir olarak kabul eder ve iç silindir iç organları, kasları ve kemikleri, dış silindir ise deri ve ona bağlı dokuları simgeler. Her iki tabaka arasında iletim ve kan akışı yoluyla ısı geçişi söz konusudur. İç bölme ve deride birim zamanda depolanan ısı enerji, bu tabakaların sıcaklığının zamanla değişmesine neden olur (1,2).

İnsanların, bulunduğu ortamdaki ısı olarak memnuniyeti şeklinde tanımlanan ısı konforu, his ve duygular ile ilgili bir kavramdır. Isıl konfor genel olarak, ortam sıcaklığına, bağıl neme, ortamdaki hava hareketlerine, ışınım sıcaklığına, kişinin hareketliliğine (metabolik aktiviteye) ve giysi dirençlerine bağlıdır (1,3). Günümüz teknolojisinde, hemen hemen her dahili ortamın iklimlendirilmesi mümkündür. İnsan kullanımı için oluşturulan yapay iklimli ortamlarda amaç, her bireyin ısı konforuna sahip olacağı bir ısı ortamının oluşturulmasıdır. İnsanların zihinsel, fiziksel ve algısal performansları, ısı konforunda bulduklarında genelde en üst seviyededir (4).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, vücudun çeşitli kısımlarından olan ısı kayıplarını farklı giysiler için incelemiştir(2). Fakat çalışmada, vücudun konfor bölgesinde olması için ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği belirtilmemiştir. Isıl konfor şartlarına etkileyen parametreleri ve vücut ile çevre arasındaki ısı geçiş mekanizmalarını detaylı olarak anlatarak çevreyle gerçekleşen ısı ve kütle transferi denklemlerini özetlemiştir (3). Çalışmada ayrıca, insanın farklı aktivitelerde (uyuma, oturma, ayakta durma, koşma, otomobil kullanma, çalışma vs.) vücudun ürettiği ısı, giysilerin ısı dirençleri, insanla çevreye yüzeyler arasındaki görüş faktörü geniş olarak ele alınarak farklı hava hızı ve giysi durumlarında kişinin aktivitesiyle tahmini ortalama oy (PMV) değerinin değişimini verilmiştir. Çok soğuk kış şartlarında otomobil içindeki konfor şartlarını incelemiştir (5). Otomobil içinde ısıtma sürecini deneysel olarak tespit ederek bu süreçte vücuttan olan ısı kayıplarının ve ortam şartlarının ısı duyumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kapalı mekanlarda ısı konfor şartlarını etkileyen çevresel ve kişisel toplam altı parametreyi ve bunun yanında hava kalitesinin kapalı mekan konfor şartları üzerindeki etkilerini incelemiştir (6). Teorik ve deneysel ısı konfor modellerini incelemiş ve birbirleri ile karşılaştırmalar yaparak modellerin uygunluğunu tartışmıştır (7). Farklı metabolik aktivitelerde deri ve iç bölme sıcaklıklarının değişimi verilmiş ancak çevresel parametrelerin, insan fizyolojisine ve ısı konfor şartlarına etkileri araştırılmamıştır. Isıl konfor için iç ortamlarda olması gereken sıcaklıktan daha çok bu şartların nasıl oluşturulacağı üzerinde durmuştur (11). İncelenen mekanın farklı koordinatlarında hava hızı ve sıcaklık dağılımını ve bunun ısı duyumu üzerindeki etkisi verilmiştir. Toftum ve Fanger (14) ve Fountain ve ark. (15) bağıl nemin ısı konfor şartları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı sıcaklıklarda ortamdaki bağıl nem oranına bağlı olarak izafi deri ıslaklığının değişimini ve deri ıslaklığı ile memnun olmayanların oranı (PPD) arasındaki ilişkiyi vermiştir (14). Ayrıca hava kalitesini algılamada solunan hava sıcaklığının ve neminin önemini vurgulayarak sınır değerleri vermiştir. 20 C sıcaklık, %60 bağıl nemden 26 C sıcaklık, %90 bağıl nem şartlarına kadar 0,5 clo ve 0,9 clo iki giysi yalıtım değeri, 1,2, 1,6 ve 4 met aktivite değerlerinde ısı konfor şartlarını incelemiştir (15). 1,6 met ve üzeri aktivite değerleri için, verilen şartlarda PPD değerinin %25'in altına indirebilecek pratik bir bağıl nem değerinin olmadığı sonucuna varmışlardır.

İnsan vücudu ile çevre arasında sürekli bir ısı etkileşimi söz konusudur. Çevre şartlarının değişmesi sonucu vücut, fizyolojik kontrol mekanizmalarını (vazokonstriksiyon, vazodilasyon, titreme, terleme) devreye sokarak çevre ile ısı dengesi kurmaya çalışır. Ancak vücudun ürettiği ısıyla çevreye olan kayıpların birbirine eşit olması, ısı konforunun sağlanması için yeterli olmamaktadır (3). Sürekli rejim enerji dengesi modelinde, ısı konforu için gerekli deri sıcaklığı ( $t_{sk,req}$ ), terlemeyle olan ısı kaybı ( $E_{sk,req}$ ) değerleri verilmektedir. Bu çalışmada, gerekli deri sıcaklığı ve terlemeyle olan ısı kaybı değerlerinden hareketle, anlık enerji dengesi modelinde kullanılan vücut iç bölme sıcaklığı bulunmuştur. Vücut üzerindeki ısı yükünün yaklaşık sıfır olması gereği baz alınarak, ısı konforu etkileyen parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı aktivitelerde ısı konforunun sağlanması için gerekli ortam sıcaklığı, nem değeri, hava hızı ve kişinin giysi yalıtım dirençleri verilmiştir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Sürekli rejim enerji dengesi modeli

Fanger tarafından geliştirilen sürekli rejim modelleri, vücudun ısıl dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. Sürekli rejimde vücutta üretilen ısıl enerji, çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıplarına eşittir. Dolayısıyla vücut sıcaklığı zamana göre değişmez. Vücudun enerji dengesi 1 numaralı denklem ile tanımlanabilir (1,3),

$$\begin{aligned} M - W &= Q_{sk} + Q_{res} \\ &= (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \end{aligned} \quad [1]$$

burada M, vücudun metabolik enerji üretimi; W, yapılan dış iş olup bir çok iş için sıfırdır;  $Q_{sk}$ , giyinik vücuttan olan toplam ısı kaybı;  $Q_{res}$ , solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıplarını göstermektedir. Vücuttan olan duyulur ısı (taşınım ve ışınım) kayıpları aşağıda verilen eşitlikten hesaplanabilir,

$$(C + R) = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + \frac{1}{(h_c + h_r) f_{cl}}} \quad [2]$$

burada,  $t_{sk}$ , deri sıcaklığı;  $R_{cl}$ , giysinin ısıl direnci;  $f_{cl}$ , giysi alan faktörüdür. Ortalama ışınım ve çevre havası sıcaklıklarını içine alan operatif sıcaklık ( $t_o$ ) değeri ve giysi alan faktörü aşağıda verilen eşitliklerden bulunabilir (1),

$$t_o = \frac{h_r t_r^* + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad [3]$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,0 + 0,2 I_{cl} & I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \\ 1,05 + 0,1 I_{cl} & I_{cl} > 0,5 \text{ clo} \end{cases} \quad [4]$$

burada  $h_c$  ve  $h_r$  sırasıyla ısı taşınım ve ışınım katsayısı,  $t_a$  ve  $t_r$  sırasıyla ortam ve ortalama ışınım sıcaklıklarıdır. Isı taşınım ve ışınım katsayıları ise (1,3),

$$h_c = \begin{cases} 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} & 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1 (V)^{1/2} \\ 12,1 (V)^{1/2} & 2,38 (t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1 (V)^{1/2} \end{cases} \quad [5]$$

$$h_r = 4\varepsilon\sigma(A_r/A_b) \left( \frac{t_{cl} + t_r^*}{2} + 273,15 \right)^3 \quad [6]$$

eşitliklerinden bulunabilir. Burada,  $\varepsilon$ , giysi veya vücut yüzeyinin ortalama yayma katsayısı;  $\sigma$ , Stefan-Boltzman sabiti;  $A_r$ , vücudun etkin ışınım alanı;  $A_b$ , vücut yüzey alanı;  $t_{cl}$ , ortalama giysi yüzey sıcaklığıdır.  $\varepsilon$  normal koşullarda (özel yansıtıcı malzemeler veya yüksek sıcaklıklar söz konusu değilse) 0,95, ( $A_r/A_b$ ) oranı ayakta duran bir kişi için 0,73 alınması tavsiye edilmektedir (1). Ortalama giysi yüzey sıcaklığı ise,

$$\begin{aligned} t_{cl} &= 35,7 - 0,0275(M - W) - R_{cl} [(M - W) - 3,05 [5,73 - 0,007(M - W) - p_a] \\ &\quad - 0,42 [(M - W) - 58,15] - 0,0173M(5,87 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a)] \end{aligned} \quad [7]$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ise;

$$C_{res} = \dot{m}_{res} \cdot c_{p,a} \cdot (t_{ex} - t_a) / A_b \quad [8]$$

$$E_{res} = \dot{m}_{res} \cdot h_{fg} \cdot (W_{ex} - W_a) / A_b \quad [9]$$

ifadeleriyle bulunabilir. Burada  $\dot{m}_{res}$ , solunum debisi;  $t_{ex}$  ve  $W_{ex}$  sırasıyla solunumla dışarı atılan havanın sıcaklığı ve özgül nemidir.

$$\dot{m}_{res} = K_{res} \cdot M \quad [10]$$

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066t_a + 32W_a \quad [11]$$

$$W_{ex} = 0,0277 + 0,000065t_a + 0,2W_a \quad [12]$$

Vücut ile çevre arasında kurulan ısı dengesi yani vücutta üretilen ısı ile çevreye olan ısı kayıplarının birbirini dengelemesi ısı konfor için yeterli değildir. Çünkü vücudun ısı dengesinin sağlanabileceği çok geniş çevre şartları vardır. Bu geniş çevre şartlarından dar bir bölgede ısı konfor sağlanabilmektedir. Belirli bir metabolik ısı üretiminde ısı konforu sağlayan vücudun deri bölmesi sıcaklığı ve terleme ile oluşan ısı kaybı miktarı aşağıda verilen amprik bağıntılarla bulunabilmektedir (1),

$$t_{sk,req} = 35,7 - 0,0275 (M - W) \quad [13]$$

$$E_{rsw,req} = 0,42 \cdot (M - W - 58,15) \quad [14]$$

#### Anlık enerji dengesi modeli

Gagge ve arkadaşları tarafından geliştirilen model, insan vücudunu iç içe iki silindir olarak ele alır. İç silindir vücudun içini (iskelet, kaslar, iç organlar) dış silindir ise deri tabakasını simgelemektedir. Bu iki tabaka arasında direkt temasla ve kan akışı yoluyla ısı geçişi söz konusudur ve bu ısı geçişi vücudun denetim mekanizmalarıyla kontrol edilmektedir. Denetim mekanizmaları, denetim sinyalleriyle devreye girerek vücudun normal sıcaklığını korur. Bu işlemler beş sinyal tetiklenir ve sinyaller sadece artı değerler alacak biçimde, gerçek sıcaklık ( $t$ ) ile nötr sıcaklık ( $t_n$ ) arasındaki fark olarak tanımlanır,

$$WSIG_{cr} = \begin{cases} 0 & t_{cr} \leq t_{cr,n} \\ t_{cr} - t_{cr,n} & t_{cr} > t_{cr,n} \end{cases} \quad [15]$$

$$CSIG_{cr} = \begin{cases} t_{cr,n} - t_{cr} & t_{cr} < t_{cr,n} \\ 0 & t_{cr} \geq t_{cr,n} \end{cases} \quad [16]$$

$$WSIG_{sk} = \begin{cases} 0 & t_{sk} \leq t_{sk,n} \\ t_{sk} - t_{sk,n} & t_{sk} > t_{sk,n} \end{cases} \quad [17]$$

$$CSIG_{sk} = \begin{cases} t_{sk,n} - t_{sk} & t_{sk} < t_{sk,n} \\ 0 & t_{sk} \geq t_{sk,n} \end{cases} \quad [18]$$

$$\text{WSIG}_b = \begin{cases} 0 & t_b \leq t_{b,n} \\ t_b - t_{b,n} & t_b > t_{b,n} \end{cases} \quad [19]$$

İç vücut ve deri tabakası arasındaki kan dolaşımı, sıcaklık denetim sinyalleri cinsinden matematiksel olarak 20 numaralı denklem yardımıyla ifade edilebilir.

$$\dot{m}_{bl} = [(6,3 + 200 \text{WSIG}_{cr}) / (1 + 0,5 \text{CSIG}_{sk})] / 3600 \quad [20]$$

Kan debisindeki değişimler, deri ve iç vücut bölmelerinin göreceli kütlelerini etkilemektedir. Bu etki;

$$\alpha = 0,0418 + 0,745 / (3600 \dot{m}_{bl} + 0,585) \quad [21]$$

bağıntısı ile verilmektedir (1,3). İnsan vücudunun ortalama sıcaklığı, deri ve iç vücut sıcaklıklarının ağırlıklı ortalaması alınarak,

$$t_b = \alpha \cdot t_{sk} + (1 - \alpha) \cdot t_{cr} \quad [22]$$

hesaplanır. Deriden buharlaşma ile olan toplam ısı kaybı, vücudun salgılamış olduğu terin buharlaşması ve terin deriden doğal difüzyonu ile gerçekleşir.

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad [23]$$

Terleme sonucu olan buharlaşma ile ısı kaybı ( $E_{rsw}$ ) üretilen ter ile doğru orantılıdır. Maksimum buharlaşma potansiyelini gösteren  $E_{max}$ , derinin tamamının ıslak olması ( $w = 1$ ) durumunda gerçekleşir.

$$E_{max} = (p_{sk,s} - p_a) / (R_{e,cl} + 1 / (f_{cl} \cdot h_e)) \quad [24]$$

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} \quad [25]$$

Üretilen ter miktarı, hem iç vücut hem de deriden gelen ılık sinyallerle orantılıdır.

$$\dot{m}_{rsw} = 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot \text{WSIG}_b \cdot \exp\left(\frac{\text{WSIG}_{sk}}{10,7}\right) \quad [26]$$

Toplam deri ıslaklığı olan  $w$ , terin buharlaşması için gerekli olan deri ıslaklığı ( $w_{rsw}$ ) ile doğal difüzyonu için gerekli olan deri ıslaklığının ( $w_{dif}$ ) toplamıdır.

$$w = w_{rsw} + w_{dif} \quad [27]$$

Buradaki  $w_{rsw}$  ve  $w_{dif}$  aşağıda verilen denklemlerle bulunabilir,

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad [28]$$

$$w_{dif} = 0,06 (1 - w_{rsw}) \quad [29]$$

Terin deriden doğal difüzyonu ile olan ısı kaybı,

$$E_{dif} = w_{dif} E_{max} \quad [30]$$

Giysinin buharlaşmayla olan ısı geçişine göstermiş olduğu direnç (1,9),

$$R_{e,cl} = R_{cl} / (i_{cl} LR) \quad [31]$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada  $i_{cl}$ , giysinin buhar geçirgenlik verimi; LR, Lewis oranıdır. İç ortamlarda

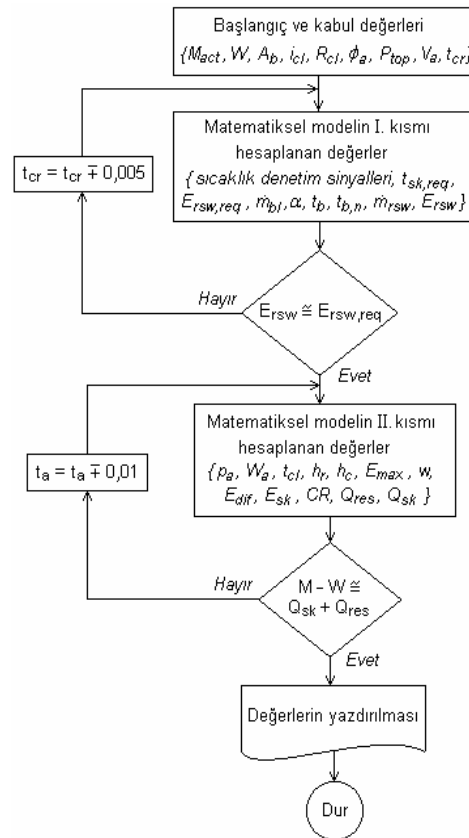
genelde kullanılan giysiler için  $i_{cl} = 0,34$  değeri ortalama bir değer olarak önerilmektedir (9). Lewis oranı, buharlaşma ile ısı geçiş katsayısının ( $h_c$ ) taşınımıyla ısı geçiş katsayısına ( $h_c$ ) oranıdır. Aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunduktan sonra  $t_{cr}$  değerini hesaplamak için kullanılır (5).

$$LR = 15,15 (t_{sk} + 273,15) / 273,15 \quad [32]$$

Buraya kadar verilen denklemler yardımıyla vücuttan çevreye olan toplam ısı kayıpları (deriden taşınım, ışıınım, buharlaşma kayıpları ve solunumla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları) bulunabilmektedir. Sürekli rejim enerji dengesi kısmında verilen konfor için gerekli deri sıcaklığı ve terleme nedeni ile gerçekleşen ısı kaybı değerlerinden hareketle vücudun iç bölme sıcaklığı bulunabilir. Daha sonra, vücudun enerji dengesini gösteren 1 numaralı denklem yardımıyla vücut üzerindeki ısı yükünün yaklaşık sıfır olması için konforu optimize eden, insan ve çevre ile ilgili temel parametrelerin (giysi, aktivite, ortam sıcaklığı, nemi, hava hızı, ortalama ışıınım sıcaklığı) değişimi bulunabilmektedir.

### 3. SİMÜLASYON

Matematiksel Model kısmında verilen bağıntılar Delphi 6.0 programlama diliyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Programın akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Program ısı konfor şartlarını etkileyen çevresel ve kişisel parametrelerden herhangi birinin kolaylıkla değiştirilebilmesi için esnek yazılmıştır. Şekil 1'de verilen program akış şemasında bu parametrelerden ortam sıcaklığı ( $t_a$ ) örnek alınarak simülasyonun adımları gösterilmiştir. Program temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, kişinin aktivite düzeyi ( $M_{act}$ ), giysi durumu ( $R_{cl}$ ), giysinin buhar geçirgenlik verimi ( $i_{cl}$ ), vücut yüzey alanı ( $A_b$ ) vb. başlangıç ve kabul değerleri girilmekte ve program bu değerlerden hareketle terleme olan ısı kaybı ( $E_{rsw}$ ) değerini hesaplamaktadır. Daha sonra konfor için gerekli olan ve simülasyon sonucu bulunan terleme kayıpları karşılaştırılmaktadır. Eğer  $E_{rsw} < E_{rsw,req}$  ise  $t_{cr}$  sıcaklığı artırılarak,  $E_{rsw} > E_{rsw,req}$  ise  $t_{cr}$  sıcaklığı azaltılarak simülasyonun başına dönülmektedir. Dolayısıyla programın bu kısmında, belirli bir metabolik aktiviteye sahip bir insanın, konfor için gerekli  $t_{sk}$  ve  $E_{rsw}$  değerlerini veren  $t_{cr}$  sıcaklığı bulunmaktadır.

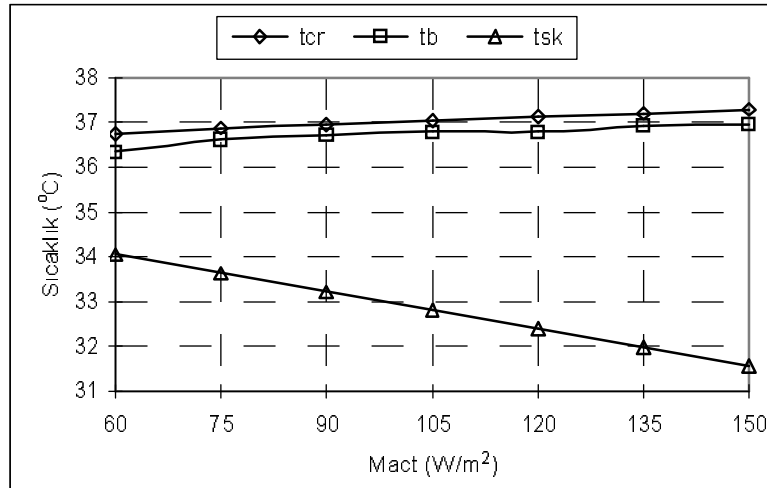


Şekil 1. Programın akış şeması

Programın ikinci kısmında ise başlangıçta girilen ve daha sonra hesaplanan değerler kullanılarak ortamın su buharı basıncı, özgül nemi, ortalama giysi yüzey sıcaklığı, taşınım ve ışınlama ile olan ısı geçiş katsayıları, vücuttan olan duyulur, gizli ve solunum kayıpları bulunmakta ve enerji dengesini veren 1 numaralı bağıntıda yerine konmaktadır. Vücutta metabolik aktivitelerle üretilen ısı, vücuttan çevreye olan toplam ısı kayıplarından büyük ise  $t_a$  sıcaklığı azaltılarak, küçük ise artırılarak ısı dengesi sağlanıncaya kadar iterasyona devam edilmektedir. Programın bu kısmında vücut üzerindeki ısı yükü yaklaşık sıfır olması için gerekli  $t_a$  sıcaklığı (veya ısı konforu etkileyen parametrelerden herhangi birinin değeri) bulunabilmektedir.

#### 4. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

Aşağıda verilen şekillerde aksi belirtilmediği sürece ortamın bağıl nemi 0,5, hava hızı 0,1 m/s,  $I_{cl} = 0,5$  clo (hafif, yazlık bir giysi), ortalama ışınlama sıcaklığı ile ortam sıcaklığı birbirine eşit alınmıştır. Şekil 2'de ısı konforu sağlayan vücutun iç bölme, deri tabakası ve ortalama sıcaklıkları verilmiştir. Hareketlilik düzeyi arttıkça vücut, ısı kayıplarını artırmak için deri sıcaklığını düşürür. Yüksek aktivitelerde vücut iç sıcaklığındaki artış, deri sıcaklığındaki düşüş ile dengelenir. Böylece ortalama vücut sıcaklığı, iç vücut sıcaklığı ile deri sıcaklığı arasındaki fark artmış olmasına rağmen korunmuş olur (1).

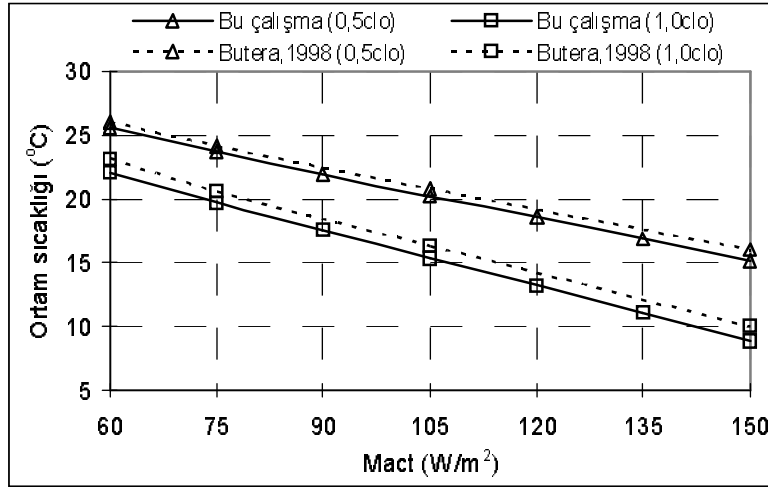


**Şekil 2.** Isıl konforu sağlayan vücutun iç bölme, ortalama ve deri tabakası sıcaklıklarının aktivite ile değişimi

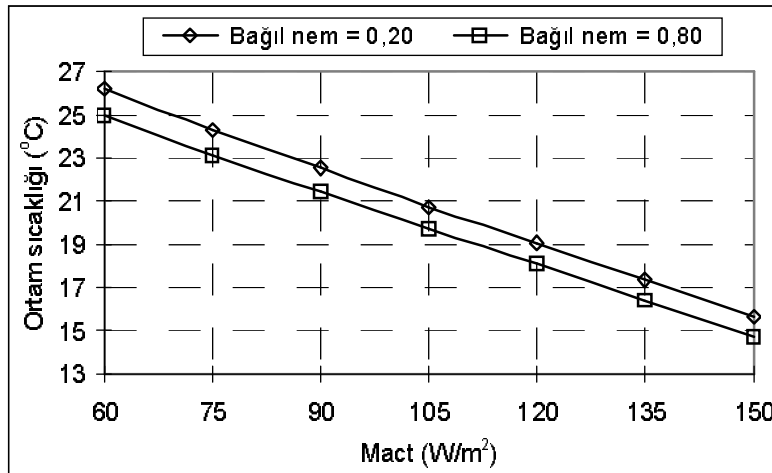
Şekil 3'de yazlık (~0,5 clo) ve kışlık (~1,0 clo) giysi durumlarında konfor için gerekli ortam sıcaklıkları, (3) numaralı çalışmayla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu ortam sıcaklıklarında vücut, ısı konforu sağlayan  $t_{sk}$  ve  $E_{rsw}$  değerlerine sahip olduğu gibi enerji dengesini gösteren 1 numaralı eşitliği de sağlamaktadır. Yani, vücuttan çevreye olan ısı geçişi ile vücutta üretilen ısı birbirini dengelemektedir. İnsanın hareketlilik düzeyi arttıkça, ısı dengesinin kurulması için ısı kayıplarının da artması gerektiğinden ortam sıcaklığı azalmaktadır. Örnek olarak, dinlenme durumunda (~60 W/m<sup>2</sup>) ve hafif giysili bir kişi için ısı konfor şartlarının sağlandığı ortam sıcaklığı 25,5°C iken orta aktiviteli (~120 W/m<sup>2</sup>) bir kişi için 18,2 °C'dır. Daha kalın giysi giyen bir kişi için ise bu değerler biraz daha düşüktür. Çünkü, aynı çevre şartlarında giysi kalınlığı arttıkça vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları azalmaktadır. Bu durumda vücut ile çevre arasındaki ısı dengesi daha düşük ortam sıcaklıklarında sağlanmaktadır.

Şekil 4'de bağıl nemin, vücut ile çevre arasında kurulan ısı dengesi üzerindeki etkisi görülmektedir. Ortamın bağıl nemi arttıkça, deriden buharlaşma yoluyla olan ısı kaybı için gerekli deri yüzeyi ile ortam arasındaki su buharının kısmi basınç farkı azalmaktadır. Bu basınç farkının azalmasıyla deriden buharlaşma yoluyla olan ısı kaybı da azalmaktadır. Bu nedenle, ısı dengesi için duyulur ısı kayıplarının

artması gerektiğinden daha düşük ortam sıcaklıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bağıl nemin etkisi Şekil 5'de daha detaylı olarak görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde, sabit aktivite eğrilerinin biraz sola yattığı yani nem oranı arttıkça ortam sıcaklığının azaltılması gerektiği burada da görülmektedir. Literatürde, bağıl nemde her %10'luk azalma için sıcaklığın yaklaşık  $0,3^{\circ}\text{C}$  artırılması gerektiği söylenmektedir (16). Ancak şu husus göz ardı edilmemelidir. Yapılan bu çalışmada, insan vücudu ile çevre arasında kurulacak ısı dengesi referans alınmıştır. Yani, %100 bağıl neme sahip bir ortamda yaklaşık  $24,6^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında vücut ile çevre arasında ısı dengesi kurulduğundan bu analiz yöntemi için bir sorun oluşturmamaktadır. Yapılan yeni araştırmalar, solunan havanın sıcaklık ve neminin, konfor algısını çok büyük oranda etkilediğini ortaya koymuştur. İnsanlar kuru ve serin havayı tercih etmektedirler (12). Genel olarak, bir mahaldeki nem oranının alt ve üst limit değerleri olarak %25-30 ile %60-70 verilmektedir (1,14,15). Bu nedenle bağıl nem için verilen limit değerlerin alt ve üst bölgelerinde ısı dengesi sağlansa da bu bölgeler, konfor bölgesi olarak nitelendirilmemelidir.

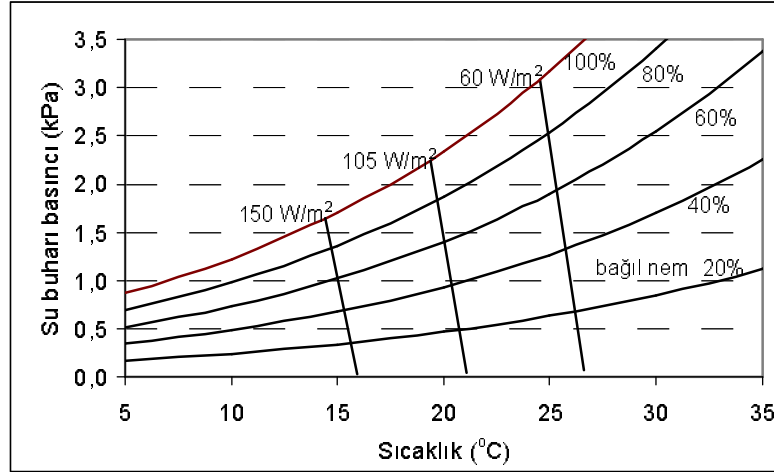


Şekil 3. Farklı giysi yalıtımı için gerekli ortam sıcaklığının aktivite ile değişimi



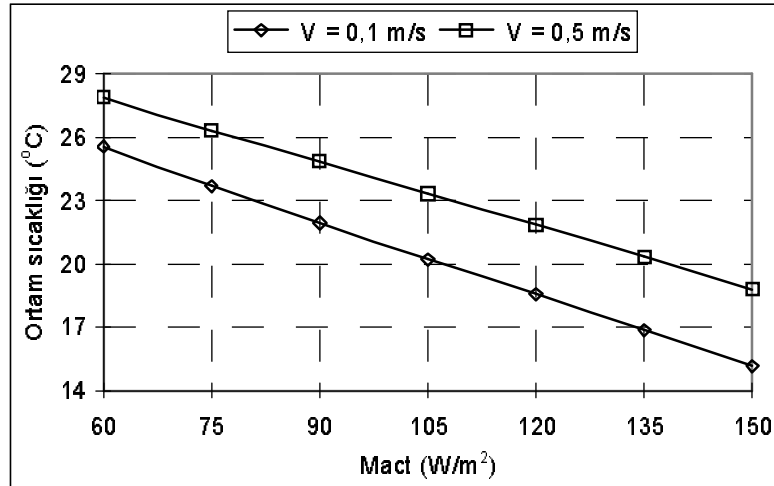
Şekil 4. Farklı bağıl nemde gerekli ortam sıcaklığının aktivite ile değişimi





Şekil 5. Farklı bağıl nemde ve aktivitede gerekli ortam sıcaklıkları

Şekil 6'da vücut üzerindeki ortalama hava hızının etkisi verilmiştir. Hava hızı arttıkça taşınım ve buharlaşma katsayıları artmaktadır. Bu, vücuttan çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıplarının artmasına neden olur. Isıl konforun ve ısı dengesinin sağlanması için ısı geçişinin azaltılması gerekir. Bu nedenle hava hızı arttıkça ortam sıcaklığı artırılmalıdır.



Şekil 6. Farklı hava hızında gerekli ortam sıcaklığının aktivite ile değişimi

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, insanın yapmış olduğu aktivitelerde, ısı konforu sağlayan deri tabakası sıcaklığı ve terlemeyle olan ısı kaybı bağıntılarından yola çıkarak vücudun iç bölme ve ortalama sıcaklıkları tespit edilmiştir. Isıl konforu sağlayan  $t_{sk}$ ,  $E_{rsw}$  ve  $t_{cr}$  değerleri, deriden duyulur ısı geçişini ( $C+R$ ) veren 2 nolu ve gizli ısı kayıplarını ( $E_{sk}$ ) veren 23 nolu denklemlerde yerlerine konularak, vücut ile çevre arasındaki enerji dengesini gösteren 1 nolu denklem, sürekli rejimde konforu optimize eden insan ve çevre ile ilgili parametreleri belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma sonunda varılan sonuçlar özetle şunlardır:

Aktivite arttıkça ısı konforun sağlandığı vücut deri tabakası sıcaklığı düşerken iç bölme ve ortalama sıcaklığı az da olsa artmaktadır.

Aktivite veya giysi yalıtımı arttıkça ısıl konforun sağlandığı ortam sıcaklığı azalmaktadır. Aktivitenin artması durumunda vücudun ürettiği ısı fazlalaştığından, giysi yalıtımının artması durumunda ise üretilen ısı kolayca çevreye atılamadığında ortam sıcaklığının azaltılması gerekmektedir.

Ortamın bağıl nemi arttıkça, deri yüzeyi ile ortam arasındaki su buharı kısmi basınç farkı azalmakta ve bu azalma sonucu deriden buharlaşma ile ısı kaybı rahat olamamaktadır. Bu nedenle bağıl nem arttıkça ısıl konfor, ısı kayıplarının arttığı daha düşük ortam sıcaklıklarında sağlanmaktadır.

İnsanlar, bağıl nemi yüksek olan ortamlarda kendilerini konforlu hissedebilmeleri için yalıtım direnci düşük giysiler giymelidir. Ancak ısı dengesi açısından bağıl nem, ortam sıcaklığı kadar etkili değildir. Örnek olarak, 25,5°C ortam sıcaklığında ve düşük aktivitede ( 60 W/m<sup>2</sup>), bağıl nem 0,5'den 0,8'e çıkması durumunda konfor şartlarının bozulmaması için giysi yalıtımı 0,5 clo'dan 0,42 clo değerine indirilmesi gerekirken ortam sıcaklığının 1 derece artması giysi yalıtımını 0,5 clo'dan 0,37 clo değerine indirilmesini gerektirmektedir.

Hava hızının artması ısı kayıplarını artırmaktadır. Yüksek hava hızlarının olduğu ortamlarda insanların rahat ve konforlu hissedebilmeleri için ortam sıcaklığı biraz daha yüksek olmalıdır. Dinlenme durumunda ve hava hızının 0,1 m/s olduğu bir ortamda bulunan bir kişi 25,5°C ortam sıcaklığında konforlu iken hava hızı 0,5 m/s olması durumunda 27,8°C ortam sıcaklığında konforlu olmaktadır.

## 6. SİMGELER

$A_b$	: Vücut yüzey alanı, m <sup>2</sup>
$c_{p,a}$	: Havanın özgül ısısı, kJ/kgK
$c_{p,b}$	: Vücudun özgül ısısı, kJ/kgK
$C_{res}$	: Solunum nedeniyle duyulur ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$C+R$	: Deriden toplam duyulur ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$CSIG_{cr}$	: Vücudun iç bölmesinden gelen soğuk sinyal
$CSIG_{sk}$	: Deriden gelen soğuk sinyal
$E_{dif}$	: Terin deriden doğal difüzyonuyla olan ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$E_{max}$	: Maksimum buharlaşmayla olan ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$E_{res}$	: Solunum nedeniyle gizli ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$E_{rs,w}$	: Deriden terin buharlaşmasıyla olan ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$E_{rs,w,req}$	: ısıl konforu sağlayan deriden terin buharlaşmasıyla gerekli ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$E_{sk}$	: Deriden toplam gizli ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>
$f_{cl}$	: Giysi alan faktörü, boyutsuz
$h_c$	: Taşınım ile ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> K
$h_e$	: Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> kPa
$h_r$	: Işınmın ile ısı geçiş katsayısı, W/m <sup>2</sup> K
$h_{fg}$	: Suyun buharlaşma gizli ısısı, kJ/kg
$I_{cl}$	: Giysinin ısı yalıtım direnci, clo [1 clo = 0,1548 (m <sup>2</sup> K)/W ]
$i_{cl}$	: Giysinin buhar geçirgenlik verimi, boyutsuz
$K_{res}$	: Oranlama sabiti, kg.m <sup>2</sup> /kJ
$LR$	: Lewis oranı ( $h_e/h_c$ ), °C/kPa
$\dot{m}_{bl}$	: İç vücut ile deri tabakası arasındaki kan dolaşımı, kg/ s.m <sup>2</sup>
$\dot{m}_{res}$	: Solunum debisi, kg/s.m <sup>2</sup>
$M$	: Toplam metabolik ısı üretimi, W/m <sup>2</sup>
$M_{act}$	: Aktivite ile gerçekleşen metabolik ısı üretimi, W/m <sup>2</sup>
$p_a$	: Çevre ortamı için subuharı basıncı, kPa
$p_{sk,s}$	: $t_{sk}$ sıcaklığında doymuş havada subuharı basıncı, kPa
$Q_{sk}$	: Deriden toplam ısı kaybı, W/m <sup>2</sup>

$Q_{res}$	: Solunumla toplam ısı kaybı, $W/m^2$
PMV	: Tahmini ortalama oy, boyutsuz
PPD	: Memnun olmayanların yüzdesi, boyutsuz
$R_{cl}$	: Giysinin ısı yalıtım direnci, $(m^2.K)/W$
$R_{e,cl}$	: Giysinin buharlaşma direnci, $(m^2.kPa)/W$
$t_a$	: Ortam sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_b$	: Ortalama vücut sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{cr}$	: İç vücut sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{ex}$	: Dışarı solunan havanın sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_n$	: Nötr sıcaklıklar, $^{\circ}C$
$t_o$	: Operatif sıcaklık, $^{\circ}C$
$t_r^*$	: Ortalama ışıma sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{sk}$	: Deri tabakası sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{sk,req}$	: Isıl konforu sağlayan deri tabakası sıcaklığı, $^{\circ}C$
$w$	: Deri ıslaklığı, boyutsuz
$w_{dif}$	: Terin doğal difüzyonu için gerekli deri ıslaklığı, boyutsuz
$w_{rsw}$	: Terin buharlaşması için derinin ıslak olması gereken kısmı, boyutsuz
$W$	: Yapılan dış iş, $W/m^2$
$W_a$	: Çevre havasının mutlak nemi, $kgH_2O / kg$ kuru hava
$W_{ex}$	: Dışarı solunan havanın mutlak nemi, $kgH_2O / kg$ kuru hava
$WSIG_b$	: Vücuttan gelen ılık sinyal
$WSIG_{cr}$	: Vücudun iç bölmesinden gelen ılık sinyal
$WSIG_{sk}$	: Deriden gelen ılık sinyal
$\alpha$	: Vücudun toplam kütesinin deri bölmesinde bulunan kısmı, boyutsuz
1 met	: Metabolik hız ( $\sim 58,15 W/m^2$ )

## KAYNAKLAR

1. ASHRAE handbook - Fundamentals, "Atlanta: American Society of Heating, *Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.*, (8):34 (1989).
2. Yiğit, A., "The Computer-based human thermal model" *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 25(7): 969-977 (1998).
3. Butera, F.M., "Chapter 3- principles of thermal comfort" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2: 39-66(1998).
4. Özdemir, H., Melek, D., Kaykayoğlu, C.R., "Yolcu otobüslerinde seyir halinde kabin içi sıcaklık dağılımının bilgisayar destekli analizi" *İTÜ Makine Mühendisliği Kongresi*, 4-7 Haziran, 36-43 (1997).
5. Burch, S.D., Ramadhyani, S. and Pearson, J.T., "Analysis of passenger thermal comfort in an automobile under severe winter conditioning" *ASHRAE Transactions*, 97 (1991).
6. Höppe, P., Martinac, I., "Indoor climate and air quality" *Int. J. Biometeorol*, 42: 1-7 (1998).
7. Horuz, İ., ve Yiğit, A., "Isıl konfor modellerinin incelenmesi ve karşılaştırılması" *10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 613-622 (1995).
8. de Dear, R.J., Knudsen, H.N. and Fanger, P.O., "Impact of air humidity on thermal comfort during step-changes" *ASHRAE Transactions*, 95(2): (1989).
9. McCullough, E.A., Jones, B.W. and Tamura, T., "A data base for determining the evaporative resistance of clothing" *ASHRAE Transactions*, 95(2): 316-328 (1989).
10. Semiz, B.D., İnsan snatomisi ve fizyolojisi, *Marmara Üniversitesi*, 476: 207 (1990).
11. Cho, S.H., Kim, W.T. and Zaheer-uddin, M., "Thermal characteristics of a personal environment module task air conditioning system: an experimental study" *Energy Conversion and Management*, 42: 1023-1031 (2001).
12. Fanger, P.O., "Human requirements in future air-conditioning environments" *International Journal of Refrigeration*, 24: 148-153 (2001).
13. Tamer, Ş., Klima ve Havalandırma, Cilt I, 2. Baskı, *Meteksan Baskı*, Ankara, 193: 220 (1990).

14. Toftum, J. and Fanger, P.O., "Air humidity requirements for human comfort" *ASHRAE Transactions*, 99 (1999).
15. Fountain, M.E, Arens, E.A., Tengfang, X., Bauman, F.S. and Oguru, M., "An investigation of thermal comfort at high humidities" *ASHRAE Transactions*, 94 (1999).
16. Nevins, R., Rohles, F., Springer, W. and Feyerherm, A., "Temperature Humidity chart for thermal comfort of seated persons" *ASHRAE Transactions*, 72: 283-291 (1966).

*Geliş Tarihi:30.09.2002*

*Kabul Tarihi:02.01.2003*