



# SÜREKLİ REJİM ENERJİ DENGESİ MODELİNE GÖRE ISIL KONFOR BÖLGELERİ

**Ömer KAYNAKLI, Ümit ÜNVER, Muhsin KILIÇ, Recep YAMANKARADENİZ**  
Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059-Görükle/Bursa

Geliş Tarihi : 09.08.2002

## ÖZET

Bu çalışmada, sürekli rejim enerji dengesi modeli için verilen, vücut ile çevre arasındaki ısı geçişi denklemlerinden ve ısı konfor ile vücuttaki fizyolojik kontrol mekanizmalarının etkilerini ifade eden ampirik bağıntılardan yararlanarak, insanların ısı konfor şartlarını etkileyen sıcaklık, bağıl nem, hava hızı, metabolik aktivite ve giysi yalıtım dirençleri gibi parametrelerin değişimi ve birbirine etkileri incelenmiştir. ASHRAE Standart 55 - 1992'nin vermiş olduğu, bir ortamın konforlu olarak nitelendirilebilmesi için memnun olmayanların yüzdesinin (PPD) % 10'u aşmaması gerektiği göz önünde tutularak insanların farklı şartlarda konforlu hissedebilmeleri için ısı konfor bölgeleri çıkarılmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Isıl konfor, Sürekli rejim enerji dengesi modeli, Konfor bölgeleri

## THERMAL COMFORT ZONES FOR STEADY-STATE ENERGY BALANCE MODEL

### ABSTRACT

In this study, the various thermal comfort parameters including temperature, relative humidity, air velocity, metabolic activity and clothing resistance and their effect to each other are examined. The heat transfer equations given for steady state energy balance between body and environment and the empirical equations which give thermal comfort and physiological control mechanisms of body are used. According to the ASHRAE Standard 55-1992, an environment can be assumed comfortable while Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) is less than % 10. Considering this, thermal comfort zones in various conditions are studied and results are presented and discussed.

**Key Words :** Thermal comfort, Steady-state energy balance model, Comfort zone

## 1. GİRİŞ

İnsan vücudu ile çevre arasındaki ısı etkileşim için yaygın olarak iki model kullanılır. İlki, Gagge ve arkadaşları tarafından geliştirilen iç bölme ve deride depolanan ısı enerjilerden hareketle, bu bölmelerin sıcaklıklarının zamanla değiştiğini kabul eden İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modeli'dir. Diğeri ise Fanger tarafından geliştirilen vücudun enerji depolamasının ihmal edilebileceğini ve vücut sıcaklıklarının zamanla değişmediğini kabul eden

Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli'dir (Anon., 1989).

Isıl konfor, bir kişinin içinde bulunduğu ortamdan ısı olarak memnun olması veya ısı çevreden hoşnut olma hali olarak tanımlanabilmektedir. Fakat, aynı ortam içerisinde bulunan bir grup insanın aynı memnuniyet hissini duymaları mümkün değildir. Çünkü genel anlamda ısı konfor, hisler ve duygular ile ilgili bir değerlendirme olup kişiden kişiye değişen, göreceli bir kavramdır. Isıl konfor için ilk şart, insan vücudu ile çevre arasındaki ısı dengenin

kurulması veya dengesizliğin kabul edilebilir olması ve daha sonra insanın daha düşük veya daha yüksek hava sıcaklıkları istememesidir.

Isıl çevrenin bir grup tarafından fizyolojik değerlendirmesini sayısallaştırmak için sürekli rejim modelinde yaygın olarak tahmini ortalama oy (PMV) ve memnun olmayanların yüzdesi (PPD) ısı konfor ölçütleri kullanılır. ASHRAE Standart 55-92'nin ısı konfor kıstasına göre bir mahalın konforlu olarak değerlendirilebilmesi için PPD değerinin % 10'u aşmaması gerekmektedir (Anon., 1989).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda; Yiğit (1998), vücudun çeşitli bölümlerinden olan ısı kayıplarını farklı giysiler için incelemiştir. Fakat çalışmada, vücudun konfor bölgesinde olması için ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği belirtilmemiştir. Tanebe et al., (1994), insan vücudundan olan ısı kayıplarını belirlemek için bir ısı manken üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Vücudu belli bölümlere ayırarak her bir kısımdaki ısı direnç ve duyulur ısı kayıplarını bulmuştur. Ancak çalışmada, ısı konforla ilgili bir sonuca varılmamış ve ortamdaki hava hızlarının, bağıl nemin ve metabolik aktivitenin etkisi incelenmemiştir. Burch et al., (1991) soğuk kış şartlarında otomobil içindeki konfor şartlarını incelemiştir. Vücuttan olan ısı kayıplarının ve termal hissin ortam sıcaklığına bağlı olarak zamanla nasıl değiştiğini incelemişler ancak bağıl nemin, hava hızının ortalama ışınım sıcaklığının, metabolik aktivitenin ve giysilerin ısı konfor şartlarına etkisi üzerinde durulmamıştır. De Dear et al., (1989), 12 denek ve 1 ısı manken üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmalarda giysilerin ısı konfora etkisini incelemiştir. Çalışmada, ortamdaki bağıl nemin ani değişmesi sonucu farklı giysilerin (yün, pamuk, polyester vb.) su buharı geçirme özelliklerinin deri sıcaklığı ve termal his üzerindeki etkileri verilmiştir. Fountain et al., (1999) yüksek nemin ısı konfor şartlarına etkisini araştırmışlar ve aktivite azaldıkça kabul edilebilir nem miktarının arttığı sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada, insanın yapmış olduğu aktivitede sürekli rejim enerji dengesine göre konfor bölgesinde kalabilmesi için, gerekli deri tabakası sıcaklığı ve terlemeyle olan ısı kaybı ifadelerinden yararlanarak ortam şartları (sıcaklık, nem, hava hızı) veya mevcut ortamda gerekli giysi yalıtım direnci gibi çeşitli parametrelerin değişimi ve birbirine olan etkisi incelenmiştir. Isıl konfor, his ve duygular ile ilgili bir kavram olduğundan kişiden kişiye farklılık

göstermektedir. Bu sebeple ortamda bulunan herkesi tatmin edecek bir ısı çevrenin oluşturulması mümkün değildir. ASHRAE Standardı 55 - 92, bir mahalde bulunan insanların en az % 90'nının ısı çevreden memnun olmasını o ortamın ısı olarak konforlu olarak değerlendirilmesi için yeterli görmektedir. Buna göre çevreden ısı olarak memnun olmayanların yüzdesinin (PPD) % 10'u aşmaması gerekmektedir. Bu çalışmada bu değer referans alınarak insanların rahat hissettiği ısı konfor parametrelerinin değişim aralığı (bölgeleri) tespit edilmiştir. Farklı metabolik aktivitelerde olması gereken ortam sıcaklığı, bağıl nem veya kişinin giydiği elbisenin yalıtımı, ortamdaki hava hızları gibi ısı konforu etkileyen temel etkenlerin değişim aralığı (veya bölgesi) belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Fanger tarafından geliştirilen sürekli rejim modelleri, vücudun ısı dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. Sürekli rejimde vücutta üretilen ısı enerji, çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıplarına eşittir. Dolayısıyla vücut sıcaklığı zamana göre değişmez. Vücudun çevreyle ısı etkileşimi 1 numaralı denklem ile tanımlanabilir (Anon., 1989 ; Tamer, 1990).

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (1)$$

Denklemdaki C+R terimi, giyinik vücuttan olan duyulur ısı kaybını,  $E_{sk}$  terimi ise gizli ısı kaybını vermektedir.  $C_{res}$  ve  $E_{res}$  sırasıyla solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıplarını göstermektedir. Deriden olan duyulur (konveksiyon + radyasyon) ve gizli (terin buharlaşması + doğal difüzyonu) ısı kayıpları aşağıda verilen denklemlerle bulunabilir;

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + 1/(h \cdot f_{cl})} \quad (2)$$

$$E_{sk} = \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + 1/(h_e \cdot f_{cl})} \quad (3)$$

burada, ortalama ışınım ve çevre havası sıcaklıklarını içine alan operatif sıcaklık ( $t_o$ ) değeri;

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_r^* + h_c \cdot t_a}{h_r + h_c} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmıştır.  $h_r$  ışınım ile ısı geçiş katsayısıdır ve iç ortamlarda yeterli hassasiyeti veren  $4.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  değeri kullanılmıştır (McCullough, 1989).  $h_c$  ise taşınım ile ısı geçiş katsayısıdır ve aşağıda verilen denklemlerden bulunabilir (Anon., 1989; Burch et al., 1991).

$$h_c = 8.3V^{0.8} \quad (5)$$

$$h_c = 5.66(M/58.15 - 0.85)^{0.39} \quad (6)$$

Taşınım katsayısı için verilen ikinci denklem vücut hareketlerinden kaynaklanan hava hızının neden olduğu taşınım katsayısıdır. Verilen bu iki ifadeden bulunan taşınım katsayısından hangisi büyükse onun kullanılması tavsiye edilmektedir (Burch et al., 1991). 1 numaralı enerji dengesi denkleminin ikinci kısmını oluşturan solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ise;

$$C_{res} = \dot{m}_{res} \cdot c_{p,a} \cdot (t_{ex} - t_a) / A_D \quad (7)$$

$$E_{res} = \dot{m}_{res} \cdot h_{fg} \cdot (W_{ex} - W_a) / A_D \quad (8)$$

Burada,

$$\dot{m}_{res} = K_{res} \cdot M \quad (9)$$

$$t_{ex} = 32.6 + 0.066t_a + 32 \cdot W_a \quad (10)$$

$$W_{ex} = 0.0277 + 0.000065t_a + 0.2W_a \quad (11)$$

ifadeleriyle bulunabilir. Vücudun ısı dengesi denklemindeki yapılan işi gösteren  $W$  değeri, vücudun mekanik verimi % 5 alınarak (Anon., 1989).

$$W = 0.05M \quad (12)$$

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

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (13)$$

Burada, terin deriden doğal difüzyonuyla olan ısı kaybı;

$$E_{dif} = 0.06(E_{max} - E_{rsw}) \quad (14)$$

ile bulunabilir ve maksimum buharlaşma potansiyelini gösteren  $E_{max}$  ise;

$$E_{max} = (p_{sk,s} - p_a) / (R_{e,cl} + 1 / (f_{cl} \cdot h_e)) \quad (15)$$

denkleminde bulunur. Terleme sonucu olan buharlaşma ile ısı kaybı, üretilen ter ile doğru orantılıdır.

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} \quad (16)$$

Burada, deri yüzeyindeki su buharının doyma basıncı,

$$\log p_{sk,s} = 42.837 - \frac{19905.67}{t_{sk} + 491.7} - \frac{2325955.22}{(t_{sk} + 491.7)^2} \quad (17)$$

ifadesi ile bulunmuştur. Buraya kadar, vücudun çevreyle olan ısı etkileşiminin hesaplanabilmesi için yararlanılabilecek bir takım denklemler verilmiştir. Vücudun ısı dengenin uzak olmadığı bir halde, belirli bir metabolik ısı üretiminde ısı konforu sağlayan vücudun deri bölmesi sıcaklığı ( $t_{sk}$ ) ve terleme ile oluşan ısı kaybı miktarı ( $E_{rsw}$ ) aşağıda verilen ampirik bağıntılarla bulunabilmektedir.

$$t_{sk,req} = 35.7 - 0.0275 \cdot (M - W) \quad (18)$$

$$E_{rsw,req} = 0.42(M - W - 58.15) \quad (19)$$

Bir ortamın sıcaklığı sayısal olarak ifade edilmesine rağmen, konfor hissi diğer fizyolojik duyular gibi niteliksel olarak değerlendirilir. Isıl çevrenin bir grup tarafından fizyolojik değerlendirilmesini sayısallaştırmak amacıyla kullanılan tahmini ortalama oy (PMV) ısı konfor ölçütü aşağıda verilen 7 noktalı sayısal ölçeğe dayanmaktadır.

+ 3 sıcak	- 3 soğuk
+ 2 hafif sıcak	- 2 hafif soğuk
+ 1 ılık	- 1 serin
0 nötr	

PMV değeri, verilen bir çevrede vücudun ürettiği ısı ile ısı konfor için gerekli ısı geçişi arasındaki farka bağlı olup aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir.

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028) L \quad (20)$$

Burada  $L$  değeri, vücut üzerindeki ısı yükü göstermekte olup, iç ısı üretimi ile bulunulan ortamda konfor kıstaslarını sağlayan deri sıcaklığı ( $t_{sk,req}$ ) ve terin buharlaşmasıyla olan ısı kaybı

( $E_{rsw,req}$ ) değerlerine sahip bir insanın ısı kaybı arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. PMV için verilen 20 numaralı eşitlik kullanılarak, belli bir ısı çevrenin, insanların çoğunluğu tarafından yukarıda verilen skalaya göre nasıl algılanacağını tahmin etmek mümkündür. Ancak bu ortalama değere bakarak, söz konusu ortamdaki insanların hangi oranda bu ortamı ısı çevre açısından konforlu bulduklarını veya bulmadıklarını tahmin etmek mümkün değildir. Bunun için memnun olmayanların yüzdesi (PPD) olarak adlandırılan başka bir ısı konfor ölçütü kullanılmaktadır. PPD, bir ortamda bulunan insanlar içerisinde ortamı ısı açıdan konforlu bulmayanların yüzdesini verir. Fanger, PPD ile PMV arasındaki ilişkiyi aşağıdaki bağıntı ile vermiştir (Anon., 1989).

$$PPD = 100 - 95 \exp\left(-\left(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2\right)\right) \quad (21)$$

Denklem incelendiğinde,  $PMV=0$  olduğunda bile % 5'lik bir grubun ısı açıdan tatmin olmadığı görülmektedir. ASHRAE Standart 55 - 92'de belirtildiği üzere PPD değerinin maksimum % 10 olması için, PMV aşağıdaki sınırlar arasında değişmektedir;

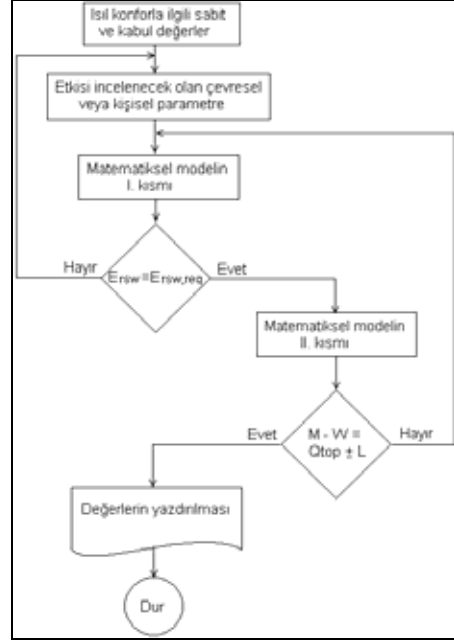
$$-0.5 < PMV < 0.5 \quad (22)$$

verilen bu aralıkta denklem 20 yardımıyla L değeri yani insan üzerinde konfor hissini bozulmaması için müsaade edilen ısı yük değeri bulunabilir.

### 3. SİMÜLASYON

Matematiksel model kısmında anlatılan değişkenler ve bağıntılar Fortran programlama diliyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Programın akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Programa ilk olarak ısı konforla ilgili çevresel ve kişisel sabitler ve kabul değerler girilmektedir. Daha sonra program verilen değerleri denklemlerde yerine koyarak, belirli bir metabolik aktiviteye sahip bir insanın, şartları belli olan bir ortamda gerekli  $t_{sk}$  sıcaklığını ve  $E_{rsw}$  değerlerini bulmakta daha sonra iterasyon ile bu değerleri sağlayan  $t_{cr}$  sıcaklığını hesaplamaktadır. Bulunan bu sıcaklıklardan hareketle Matematiksel modelin II. kısmı'nda, vücuttan olan toplam ısı kayıpları  $\pm L$  toleransı içinde bulunmaktadır. Eğer vücut ile çevre arasında ısı denge istenilen tolerans değerleri arasında değilse etkisi incelenen çevresel veya kişisel ısı konfor parametresinin değeri değiştirilerek simülasyonun başına dönülür. Böylece PPD değerinin % 10'u geçmemesi gereği ile konfor

bölgeleri bulunur. Kurulan simülasyon ile ısı konforu optimize eden temel parametrelerden biri değiştirilerek konfor şartlarının bozulmaması için bu değişimin diğer parametreleri nasıl ve ne ölçüde etkilediği bulunabilmektedir.



Şekil 1. Akış şeması

### 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Sürekli rejim enerji dengesi modeli kullanılarak, insanın rahat olabileceği ısı konfor bölgelerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada, ısı konforu etkileyen çevresel parametrelerden ortam sıcaklığı, ortamın bağıl nemi, hava hızları ve kişisel parametrelerden giysi yalıtım direnci ve kişinin aktivitesi (metabolik ısı üretimi) gibi faktörlerin birbirleriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Isıl konfor, his ve duygular ile ilgili bir kavram olduğundan kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Bu sebeple ortamda bulunan herkesi tatmin edecek bir ısı çevrenin oluşturulması mümkün değildir. ASHRAE Standardı 55 - 92, bir mahalde bulunan insanların % 90'nının ısı çevreden memnun olması o ortamın ısı olarak konforlu değerlendirilmesi için yeterli görmektedir.

Isıl duyumun değerlendirilmesi için kullanılan PMV ve PPD indeksleri arasındaki ilişki 21 numaralı denklem ile verilmiştir. Bu denkleme göre memnun olmayanların yüzdesi (PPD) %10 için, tahmini ortalama oy (PMV) 0.5 olmaktadır. PMV ile vücut

üzerindeki ısı yük (L) arasındaki ilişki ise 20 numaralı denklem ile verilmiştir ve PMV'nin 0.5 olabilmesi için farklı metabolik aktivitelerde vücut üzerinde müsaade edilen ısı yük değeri ise Tablo 1'de verilmiştir.

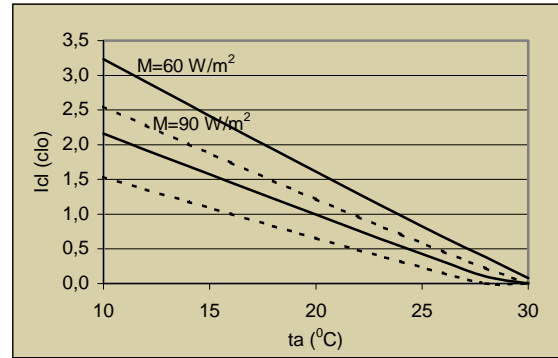
Tablo 1. PMV = 0.5 için vücut üzerindeki ısı yükleri

M (W/m <sup>2</sup> )	L (W/m <sup>2</sup> )
60	7.94
90	12.54
120	15.61
150	17.03

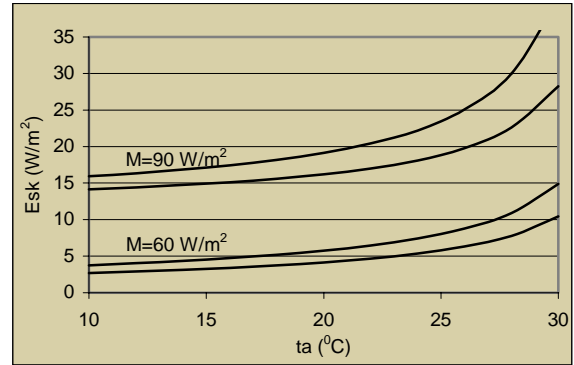
Tablo 1'den görüldüğü gibi metabolik aktivite arttıkça vücut üzerinde depolanmasına müsaade edilen ısı yük artmaktadır. Dolayısıyla vücutta metabolik aktivitelerle üretilen ısının yapılan iş için kullanılmayan kısmı (M-W) ile vücuttan çevreye olan toplam ısı kayıpları arasında tabloda verilen  $\pm L$  kadar bir farka müsaade edilmektedir.

Şekil 2'de ortam sıcaklığı ile giysi yalıtım direncinin değişimi verilmiştir. Burada, ortamdaki hava hızları ihmal edilebilir düzeydedir ve ortamın bağıl nemi 0.5 alınmıştır. Verilen şekilden, ortam sıcaklığının artmasıyla ısı konfor şartlarının bozulmaması için giysi yalıtım direncinin azaltılması gerektiği görülmektedir. Aynı zamanda yine ortam sıcaklığının artmasıyla konfor bölgesi de daralmaktadır. Örnek olarak,  $M = 60 \text{ W/m}^2$  ve ortam sıcaklığı  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  için giysi yalıtım direncinin değişim aralığı yaklaşık 1.1 clo iken ortam sıcaklığı  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıktığında bu aralık daralarak 0.4 clo'ya kadar inmektedir. Dolayısıyla düşük ortam sıcaklıklarında insanlar, daha geniş giysi yalıtımı aralığında kendilerini konforlu hissetmektedir. Aynı diyagramda aktivite düzeyi  $90 \text{ W/m}^2$  için de ortam sıcaklığı ile giysi yalıtım direncinin değişimi de verilmiştir.  $M = 90 \text{ W/m}^2$  için giysi yalıtım dirençleri  $M = 60 \text{ W/m}^2$ 'ye göre doğal olarak biraz daha düşüktür. Çünkü insanın aynı çevre şartlarında metabolik aktivitelerle ürettiği ısı daha fazla olursa, o ısıyı ortama verebilmesi için giysi yalıtım direncinin daha düşük olması gerekir. Aynı zamanda  $M=90 \text{ W/m}^2$  için konfor bölgesi,  $M = 60 \text{ W/m}^2$ 'ye göre çok küçük de olsa daha dardır. Yani aktivite arttıkça giysi yalıtım direncinin azaltılması gerektiği gibi insanın konforlu olduğu giysi yalıtım aralığı da daralmaktadır. Örnek olarak  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $M = 60 \text{ W/m}^2$  için konforlu olunan giysi yalıtım aralığı 1.1 clo iken  $M = 90 \text{ W/m}^2$ 'de 1 clo'dur. Bu fark ortam sıcaklığı arttıkça yaklaşık olarak kendini korumaktadır. Ayrıca  $M = 90 \text{ W/m}^2$  için ortam sıcaklığı  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde giysi yalıtımı ne olursa olsun insan kendini konforlu hissedemediği yine verilen grafikten görülmektedir.

Şekil 3'de deriden buharlaşmayla olan toplam ısı kayıpları ( $E_{\text{dif}} + E_{\text{rsw,req}}$ ) verilmiştir. Ortam sıcaklığı arttıkça deriden buharlaşma ile olan kayıplar artmaktadır. Çünkü ortam sıcaklığı arttıkça, vücuttan olan konveksiyon, radyasyon ve solunumla olan kayıplar azalmaktadır ve bunu dengelemek için buharlaşmayla olan kayıplar artmaktadır. Eğrinin artan bir şekilde devam etmesinin yani buharlaşmayla olan kayıpların artmasının en önemli sebeplerinden biri, yüksek ortam sıcaklıklarında konveksiyon ve radyasyon kayıplarındaki hızlı düşüş gösterilebilir.



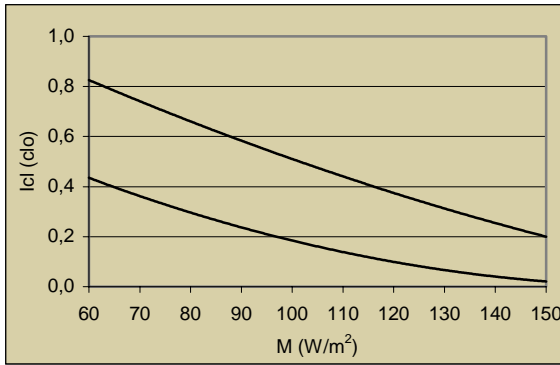
Şekil 2. Ortam sıcaklığı ile giysi yalıtım direncinin değişimi



Şekil 3. Ortam sıcaklığı ile deriden buharlaşmayla olan ısı kaybının değişimi

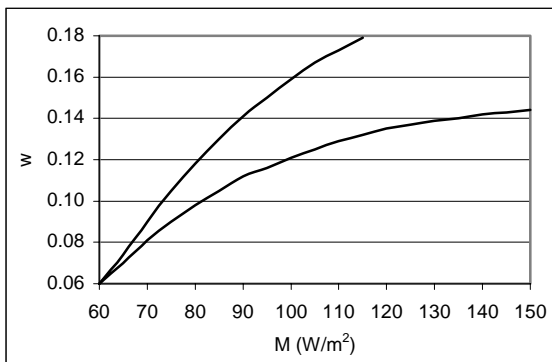
Şekil 3, 4 ve 5'de metabolik aktivitenin giysi yalıtım direncine, deri ıslaklığına ve buharlaşma kayıplarına etkileri verilmiştir. Bu diyagramlarda ortam sıcaklığı  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nem 0.5'dir. Aktivite arttıkça doğal olarak giysi yalıtım direncinin azaltılması gerekmektedir. Aynı zamanda vücutta metabolik aktivitelerle üretilen enerji arttıkça vücut sıcaklıklarının korunması için, vazodilasyon (damarların genişlemesi) ve terleme gibi fizyolojik denetim mekanizmaları devreye girer. Vazodilasyon işlemleriyle deri bölmesine gönderilen kan akışı

dolayısıyla iç bölmeden deriye olan ısı geçişi artırılır. Şekil 4’de verilen şartlarda ve  $M = 60 \text{ W/m}^2$  için  $\dot{m}_{bl} = 0.0018 \text{ kg/sm}^2$  iken  $M = 150 \text{ W/m}^2$  için  $\dot{m}_{bl} = 0.0114 \text{ kg/sm}^2$ ’ye çıkmıştır. Böylece vücut iç bölme sıcaklığının kritik değerlere ulaşması önlenir.  $M = 60 \text{ W/m}^2$  için iç bölme sıcaklığı  $36.723 \text{ }^\circ\text{C}$  iken  $M = 150 \text{ W/m}^2$  için  $37.245 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Ayrıca yine Şekil 3’den aktivite arttıkça giysi yalıtımı aralığının daraldığı görülmektedir. Yani yüksek aktivitelerde sürekli rejim enerji dengesi modeline göre konfor bölgesinde kalınabilmesi için daha dar bir aralıktaki giysi yalıtımı değişmektedir.



Şekil 4. Metabolik aktivite ile giysi yalıtım direncinin değişimi

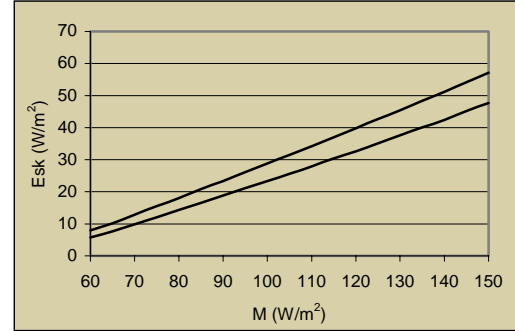
Şekil 5’de metabolik aktivite ile deri ıslaklığının değişimi verilmiştir. Aktivite arttıkça vücut ısı kayıplarını artırmak için daha fazla ter salgılamakta ( $M = 60 \text{ W/m}^2$ ’de ter üretimi yok iken  $M = 150 \text{ W/m}^2$ ’de  $1.31 \cdot 10^{-5} \text{ kg/sm}^2$ ) ve bu da ortalama deri ıslaklığını artırmaktadır.



Şekil 5. Metabolik aktivite ile ortalama deri ıslaklığının değişimi

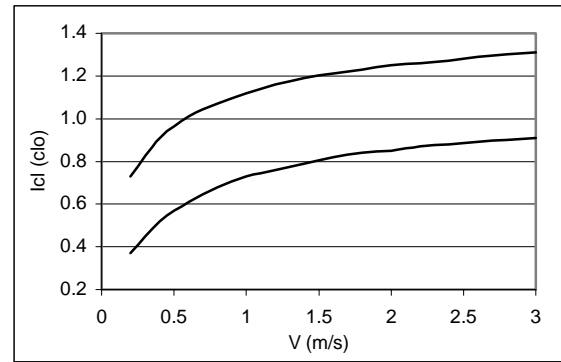
Şekil 6’da ise, metabolik aktivite ile deriden buharlaşma ile olan ısı kayıplarının değişimi görülmektedir. Metabolik aktivite arttıkça

buharlaşma kayıpları da artmaktadır. Bunun en önemli nedeni olarak, kişi aktivitesini artırdıkça giysi yalıtımının azaltılması gerektiği (Şekil 4) ve vücudun ortalama deri ıslaklığının artması (Şekil 5) gösterilebilir. Böylece deriden hem difüzyon hem terin buharlaşması ile olan ısı kayıpları artmaktadır.



Şekil 6. Metabolik aktivite ile deriden buharlaşmayla olan ısı kaybının değişimi

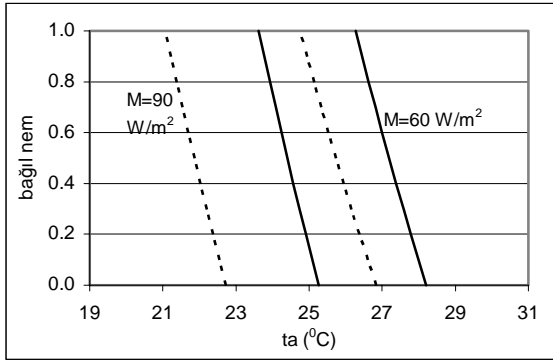
Ortamdaki hava hızlarının giysi yalıtımına etkisi Şekil 7’de verilmiştir. Burada  $M = 60 \text{ W/m}^2$ , ortam sıcaklığı  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nem 0.5 alınmıştır. Vücuttan çevreye olan ısı kaybının metabolik aktivitelerle üretilen ısıyla dengede olabilmesi için ortamdaki hava hızları arttıkça giysi yalıtım kalınlığının da artırılması gerekmektedir. Giysi yalıtım kalınlığının lineer olarak artmaması taşınım katsayısından kaynaklanmaktadır.



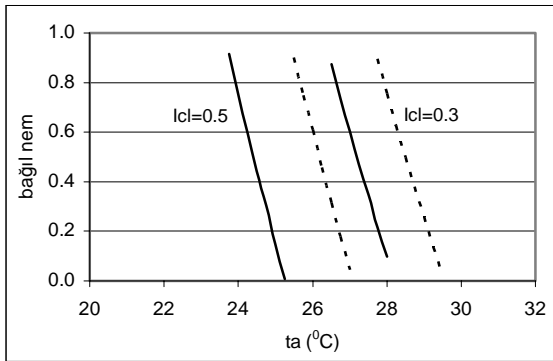
Şekil 7. Ortamdaki hava hızı ile giysi yalıtım direncinin değişimi

Şekil 8 ve 9’da bağıl nemin aktivite ve giysi yalıtım direnci ile ilişkisi verilmiştir. Şekil 8’den görüldüğü gibi aynı aktivite değeri için ortam sıcaklığı arttıkça insanın konforlu olduğu bağıl nem azalmaktadır. Çünkü, ortam sıcaklığının artmasıyla duyulur ısı kayıpları azalmakta ve bunları dengelemek için terin doğal difüzyonuyla olan ısı kaybının artırılması

amacıyla gerekli olan su buharının kısmi basınç farkı, ortamın bağıl neminin azalmasıyla sağlanmaktadır. Yine aynı şekilde, aktivite arttıkça insanların daha düşük ortam sıcaklığında kendilerini rahat hissettiği de görülmektedir. Bu arada şu hususu da belirtmek gerekir ki, bu çalışmada ısı konfor için vücut üzerindeki ısı yük değerleri baz alındığından şekildeki bağıl nem değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Ancak literatürde bir ortamdaki bağıl nem için limit değerler 0.3 ve 0.7 verildiği unutulmamalıdır (Aybers, 1978; Tamer, 1990). Bu nedenle 0.3 değerinin altı ve 0.7 değerinin üstü konfor bölgesi olarak değerlendirilmemelidir. Örnek olarak 0.9 gibi yüksek bir bağıl nemde ortam sıcaklığı yeteri kadar düşükse vücut üzerindeki ısı yük değeri ASHRAE Standardı 55-92'nin belirttiği aralıkta kalabilir. Ancak yüksek nemden kaynaklanan solunum zorluğu, vücut üzerindeki yüksek deri ıslaklığı gibi nedenlerden dolayı kişi kendini rahatsız hissedebilmektedir. Bu tür etkiler, kendilerini vücut üzerinde depolanan ısı yük olarak gösteremediğinden PPD indeksi açısından bir sorun oluşturmamaktadır.



Şekil 8. Farklı metabolik aktivitelerde ortam sıcaklığı ile bağıl nemin değişimi



Şekil 9. Farklı giysi yalıtımı için ortam sıcaklığı ile bağıl nemin değişimi

Şekil 9'da ortam sıcaklığı, bağıl nem ve giysi yalıtım direnci arasındaki ilişki verilmiştir. İnsanların ısı olarak konforlu olabilmeleri için yüksek nemli ortamlarda düşük yalıtım direncine sahip giysiler giymesi gerektiği verilen şekilden görülmektedir. Çünkü yüksek nemli ortamlarda, vücut yüzeyi ile ortam arasındaki su buharı kısmi basınç farkı azaldığından vücuttan difüzyonla olan ısı kaybı azalmaktadır. Vücut ile çevre arasında ısı dengesinin kurulması için, hem buharlaşma hem konveksiyon ile ısı geçişlerini etkileyen giysi yalıtım direncinin azaltılması gerekir.

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, insanın yapmış olduğu aktivitede sürekli rejim enerji dengesine göre konfor bölgesinde kalabilmesi için, gerekli deri bölmesi sıcaklığı ve terlemeyle olan ısı kaybı değerleri için verilen ifadelerden ve ASHRAE Standardı 55-92'ye göre memnun olmayanların yüzdesi (PPD) en fazla %10 olması gereği göz önünde bulundurularak, ortam şartları (sıcaklık, nem, hava hızı) veya mevcut ortamda gerekli giysi yalıtım direnci gibi çeşitli parametrelerin değişimi ve birbirine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda varılan sonuçlar özetle şunlardır;

- Ortam sıcaklığı arttıkça yalıtım direnci düşük giysiler giyilmelidir ancak yüksek ortam sıcaklıklarında giysi yalıtım aralığı daraldığından insanların, ısı olarak ortamdaki hoşnut olmaları için daha seçici olması gerekmektedir.
- Yapılan aktivite arttıkça giysi yalıtım kalınlığı azaltılmalıdır. Aynı zamanda yüksek aktivitelerde konfor bölgesi, ortam sıcaklığında olduğu gibi daralmaktadır.
- Ortam sıcaklığı ile giysi yalıtım direncinin değişimini veren grafiklerde, ortam sıcaklığının artması ile  $E_{sk}$  değerindeki artış özellikle  $E_{dir}$ 'ten kaynaklanmaktadır. Çünkü  $E_{rsw,req}$ , metabolik aktiviteye bağlı olduğundan ortam sıcaklığı ile değişmemektedir. Artan ortam sıcaklığı ile yalıtım direncinin azaltılması gerektiğinden terin doğal difüzyonuyla çevre ortamına geçişi kolaylaşmaktadır.
- Belirli çevresel şartlarda metabolik aktivite arttıkça, vücudun ısı dengesi terleme ile sağlanmaktadır. Bu sebeple deri ıslaklığı metabolik aktivite ile artış göstermektedir.
- Ortamdaki hava hareketlerinin artması, ısı kayıplarını artırmaktadır. Yüksek hava hızlarının olduğu ortamlarda insanların rahat ve konforlu

hissedebilmeleri için giysi kalınlıkları artırılmalıdır.

- Bağıl nemi yüksek olan ortamlarda terleme zor olacağından daha düşük ortam sıcaklıklarında konfor şartları sağlanmaktadır. Dolayısıyla yüksek bağıl neme sahip ortamlarda insanlar kendilerini konforlu hissedebilmeleri için ya aktivitesi düşük olmalı ya da yalıtım direnci düşük giysiler giymelidir.
- Sürekli rejim enerji dengesi modelinde kullanılan PPD ısı konfor indeksi vücut üzerindeki ısı yükü dikkate alan bir ölçüt olduğundan, yüksek nemden kaynaklanan solunum zorluğu ve deri ıslaklığının olumsuz etkileri ve vücut üzerindeki yerel konforsuzluklar bu indeks ile belirtilememektedir.

## 6. SEMBOLLER

$A_D$	: Çıplak vücut için DuBois yüzey alanı, $m^2$
$c_{p,a}$	: Havanın özgül ısısı, $kJ/kgK$
$C$	: Konveksiyonla olan ısı kaybı, $W/m^2$
$C_{res}$	: Solunum nedeniyle duyulur ısı kaybı, $W/m^2$
$C+R$	: Deriden toplam duyulur ısı kaybı, $W/m^2$
$E_{dif}$	: Difüzyon nedeniyle gizli ısı kaybı, $W/m^2$
$E_{res}$	: Solunum nedeniyle gizli ısı kaybı, $W/m^2$
$E_{rsw}$	: Deriden terin buharlaşmasıyla olan ısı kaybı, $W/m^2$
$E_{rsw,req}$	: Isıl konforu sağlayan deriden terin buharlaşmasıyla gerekli ısı kaybı, $W/m^2$
$E_{sk}$	: Deriden toplam gizli ısı kaybı, $W/m^2$
$f_{cl}$	: Giysi alan faktörü, boyutsuz
$h$	: Duyulur ısı geçiş katsayısı ( $hr+hc$ ), $W/m^2K$
$h_c$	: Taşınım ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2K$
$h_e$	: Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2K$
$h_r$	: Işınım ile ısı geçiş katsayısı, $W/m^2K$
$I_{cl}$	: Giysi yalıtımı, clo
$L$	: Vücut üzerindeki ısı yükü, $W/m^2K$
$\dot{m}_{bl}$	: İç vücut ile deri arasındaki kan dolaşımı, $kg/(s.m^2)$
$\dot{m}_{res}$	: Solunum debisi, $kg/(s.m^2)$
$\dot{m}_{rsw}$	: Vücudun ürettiği ter miktarı, $kg/(s.m^2)$
$M$	: Toplam metabolik ısı üretimi, $W/m^2$
$p_a$	: Çevre ortamı için su buharı basıncı, kPa
$PMV$	: Tahmini ortalama oy
$PPD$	: Memnun olmayanların yüzdesi
$p_{sk,s}$	: $t_{sk}$ sıcaklığında doymuş havada su buharı kısmi basıncı, kPa
$Q_{sk}$	: Deriden toplam ısı kaybı, $W/m^2$
$Q_{res}$	: Solunumla toplam ısı kaybı, $W/m^2$
$Q_{top}$	: Vücuttan olan toplam ısı kaybı, $W/m^2$
$R$	: Radyasyonla olan ısı kaybı, $W/m^2$
$R_{cl}$	: Giysinin ısı iletim direnci, $(m^2.K)/W$
$R_{e,cl}$	: Giysinin buharlaşma direnci, $(m^2.Pa)/W$

$t_a$	: Ortam sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{cr}$	: İç vücut sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{ex}$	: Dışarı solunan havanın sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_o$	: Operatif sıcaklık, $^{\circ}C$
$t_{sk}$	: Deri bölmesi sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{sk,req}$	: Isıl konforu sağlayan deri bölmesi sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_r^*$	: Ortalama ışınlam sıcaklığı, $^{\circ}C$
$w$	: Deri ıslaklığı, 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 $1clo = 0.1548(m^2.K)/W$

## 7. KAYNAKLAR

- Anonymous, 1989. ASHRAE Handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29p.
- Aybers, N. 1978. Isıtma, Havalandırma ve İklim Tesisleri. 9-25s. Uçer Matbaacılık.
- Burch, S.D., S. Ramadhyani, J.T. Pearson. 1991. Analysis of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditioning. ASHRAE Transactions (97) Part II, 247-257p.
- De Dear, R.J., H.N. Knudsen, P.O. Fanger. 1989. Impact of Air Humidity on Thermal Comfort During Step-Changes. ASHRAE Transactions 95 (2), 336-350p.
- Fountain, M.E, E.A. Arens, X. Tengfang, F.S. Bauman, M. Oguru. 1999. An Investigation of Thermal Comfort at High Humidities. ASHRAE Transactions (94), 94-103p.
- McCullough, E.A., B.W. Jones, T. Tamura. 1989. A Data Base For Determining the Evaporative Resistance of Clothing. ASHRAE Transactions, 95 (2). 316-328p.
- Tamer, Ş. 1990. Klima ve Havalandırma. Cilt I, 2. Baskı, 193-220s. Meteksan Baskı, Ankara.
- Tanebe, S., E.A. Arens, F.S. Bauman. 1994. Evaluating Thermal Environments by Using a Thermal Manikin With Controlled Skin Surface Temperature. ASHRAE Transactions (100) 1, 39-48 p.
- Yiğit, A. 1998. The Computer-Based Human Thermal Model. Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 7, 969-977p.