



KİŞİSEL ISIL KONFOR PARAMETRELERİNİN ANLIK ENERJİ DENGESİ MODELİ İLE ANALİZİ

Ömer KAYNAKLI¹, Recep YAMANKARADENİZ²

^{1,2}Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059-Görükle, Bursa
¹Tel: 0 (224) 442 81 79/1203, E-mail: kaynakli@uludag.edu.tr

(Geliş Tarihi : 04.09.2003)

Özet: Bu çalışmada, kişisel ısı konfor parametrelerinden aktivite ve giysinin, insan fizyolojisi ve konfor şartları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Vücuttaki fizyolojik denetim mekanizmalarının ve vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı-kütle transferinin simülasyonu oluşturulmuştur. Hazırlanan model, Delphi 6 görsel programlama dili kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve farklı koşullar altında çözdürülmüştür. Sonuç olarak, aktivite ve giysi direncinin artmasıyla vücut sıcaklıkları, ter üretimi ve deri ıslaklığının arttığı, konfor hissinin kötüleştiği görülmüştür. Yüksek aktivite ve giysi dirençlerinde insanlar, ısı kayıplarının fazla olduğu daha düşük ortam sıcaklıklarından hoşlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Isıl Konfor, Aktivite, Giysinin Isıl Direnci

ANALYSIS OF THERMAL COMFORT FACTORS WITH TRANSIENT ENERGY BALANCE MODEL

Abstract: In this study, the effects of activity and clothing, being personal thermal factors, on human physiology and thermal comfort conditions were investigated. The physiological control mechanisms of the body and the heat-mass transfer between the body and environment have been simulated. The model prepared has been developed in Delphi 6 visual programming language and solved for various parameters. It has been seen that the body temperatures, sweat production and skin wettedness increase with the increasing activity and clothing resistance, and thus the sense of comfort gets worsen. People with high activity and clothing resistance likes low ambient temperature at which the body has higher heat losses.

Keywords: Thermal Comfort, Activity, Thermal Resistance of Clothing

SEMBOLLER

A	alan, m ²	M	metabolik ısı akısı, W/m ²
c _p	özgül ısı, kJ/(kgK)	p	su buharı kısmi basıncı, kPa
CSIG _{sk}	deri bölmesinden gelen soğuk sinyal	Q	ısı akısı, W/m ²
DISC	ısıl konforsuzluk	R	giysinin ısıl veya buharlaşma direnci, (m ² .K)/W veya (m ² .kPa)/W
f _{cl}	giysi alan faktörü,	S	birim zamanda depolanan ısıl enerji, W/m ²
h	ısı geçiş katsayısı, W/(m ² K)	t	zaman, saniye
h _{fg}	suyun buharlaşma gizli ısı, kJ/kg	T	sıcaklık, °C
I	giysinin ısıl direnci, clo*	$\bar{T}$	ortalama sıcaklık, °C
i	buhar geçirgenlik verimi	TSENS	ısıl duyum
LR	Lewis oranı (h _e /h _{cv}), °C/kPa	V	hava hızı, m/s
m	vücut kütlesi, kg	w	deri ıslaklığı
$\dot{m}$	kütlelesel akı, kg/(s.m ²)	W	birim zamanda yapılan dış iş, W/m ²

WSIG_b vücuttan gelen sıcak sinyal
 WSIG_{cr} iç bölmeden gelen sıcak sinyal
 WSIG_{sk} deri bölmesinden gelen sıcak sinyal
 α deri kütle oranı
 η_e buharlaşma verimi
 φ bağıl nem
 I_{clo} = 0.1548 (m².K)/W

Alt indisler

a hava, ortam
 b vücut
 bl kan
 cl giysi
 cr vücutun iç bölmesi
 cv taşınım
 dif difüzyon
 e buharlaşma
 max maksimum
 o operatif
 rd ışıınım
 req konfor için gerekli
 res solunum
 rsw terleme
 s duyulur
 sk deri

GİRİŞ

Isıl konfor kavramının literatürde birkaç farklı tanımı yapılmaktadır. Bunlardan Aybers (1978), bir mahalde sıcaklık ve diğer hava şartlarından ileri gelen bir rahatsızlığın olmaması durumunu; ASHRAE (1993a), ısı çevreden hoşnut olunan düşünce halini; ASHRAE (1993b), iç vücut sıcaklığının düzenlenmesi için minimum fizyolojik çabaya gerek duyulması halini, ısı konfor olarak nitelendirmektedir. Isıl konfor şartlarını etkileyen parametreler, çevresel ve kişisel olmak üzere temel olarak iki grupta toplanabilir. Çevresel parametreler sıcaklık, nem, hava hızı, ışıınım sıcaklığı; kişisel parametreler ise hareketlilik düzeyi (aktivite) ve giysidir.

İnsan fizyolojisi ve ısı konfor konusunda yaygın olarak iki model kullanılır. İlki Fanger (1970) tarafından geliştirilen *Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli*'dir. Bu model vücutu bütün olarak ele alır ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. İkincisi ise bu çalışmada da kullanılan, Gagge vd. (1971) tarafından geliştirilen *İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modeli*'dir. Bu model, iç bölme ve deri tabakası olmak üzere vücutu içiçe iki silindir olarak ele alır. İki bölme arasında direkt temas ve kan akışı yoluyla ısı etkileşimin olduğunu ve vücutta birim zamanda depolanan ısı enerjinin bu bölmelerin

sıcaklıklarının zamanla değişimine neden olduğunu kabul eder.

Bu çalışmada, kişisel ısı konfor parametrelerinin, vücuttan çevreye olan ısı kayıplarına, vücut sıcaklıklarına, çeşitli fizyolojik parametrelere ve konfor algısına etkileri incelenmiştir. Vücuttaki fizyolojik denetim mekanizmalarının ve vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı-kütle transferinin simülasyonu oluşturulmuştur. Hazırlanan model, Delphi 6 görsel programlama dili kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve farklı koşullar altında çözdürülmüştür. Simülasyondan elde edilen sonuçlar, irdelenerek grafikler yardımıyla açıklanmıştır.

VÜCUT İLE ÇEVRE ARASINDAKİ ISIL ETKİLEŞİM

İnsan vücutu, yapılan aktiviteye göre yaklaşık 100 W ile 1000 W arasında enerji üretmektedir. Vücutta üretilen toplam metabolik enerjinin bir kısmı çevreye karşı kas işi olarak harcanır. Geri kalan kısmı ise ya depolanarak vücut sıcaklığının artmasına neden olur ya da deri yüzeyinden (taşınım, ışıınım, buharlaşma yollarıyla) ve solunum aracılığıyla (taşınım ve buharlaşma yollarıyla) çevreye aktarılır.

Deriden Duyulur Isı Kaybı

Deriden duyulur ısı kaybı taşınım ve ışıınım olmak üzere temel olarak iki yolla olur. Deriden taşınım ve ışıınımla olan ısı kaybı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993a).

$$Q_{cv} + Q_{rd} = \frac{(T_{sk} - T_o)}{R_{cl} + \frac{1}{f_{cl}(h_{cv} + h_{rd})}} \quad (1)$$

Burada T_{sk} ve T_o sırasıyla deri ve operatif sıcaklıkları, R_{cl} giysinin ısı yalıtımı, f_{cl} giysi alan faktörü, h_{cv} ve h_{rd} sırasıyla taşınım ve ışıınımla olan ısı geçiş katsayılarıdır. Eşitlikler, çıplak vücut yüzey alanı için verilmiştir ve yetişkin bir insan için ortalama 1.8 m² değeri alınabilir. Taşınım ve ışıınım etkilerini ortak ifade eden operatif sıcaklık,

$$T_o = \frac{h_{cv}T_a + h_{rd}\bar{T}_{rd}}{h_{cv} + h_{rd}} \quad (2)$$

eşitliğiyle bulunabilir. f_{cl} değeri, çıplak vücut yüzeyinin giysilerden dolayı artış oranını gösterdiğinden giysi ısı direncine bağlı olarak

$$f_{cl} = 1.0 + 0.3I_{cl} \quad (3)$$

eşitliğiyle ifade edilebilir (McCullough vd., 1985). ışıınımla ısı geçiş katsayısı için 4.5 W/(m²K) alınabilmektedir (de Dear vd., 1997). V değeri hava hızı olmak üzere taşınımla ısı geçiş katsayısı için

aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır (ASHRAE, 1993a).

$$h_{cv} = 14.8V^{0.69} \quad (4)$$

Deriden Gizli Isı Kaybı

Deriden olan gizli ısı kaybı ($Q_{e,sk}$), sıcaklık denetim mekanizmalarının etkisiyle salgılanan terin buharlaşması ($Q_{e,rsw}$) ile suyun deriden doğal difüzyonu ($Q_{e,dif}$) sonucu gerçekleşir.

$$Q_{e,sk} = Q_{e,rsw} + Q_{e,dif} \quad (5)$$

Terleme sonucu buharlaşmayla olan ısı kaybı, üretilen ter miktarına ($\dot{m}_{rsw}$) bağlıdır ve şu şekilde ifade edilebilir,

$$Q_{e,rsw} = \dot{m}_{rsw} h_{fg} \quad (6)$$

Difüzyon sonucu buharlaşmayla olan ısı kaybı ise,

$$Q_{e,dif} = (1 - w_{rsw}) 0.06 Q_{e,max} \quad (7)$$

eşitliğiyle bulunabilir (ASHRAE, 1993a). Burada w_{rsw} teri buharlaştırmak için vücudun ıslak olması gereken bölümüdür ve

$$w_{rsw} = Q_{e,rsw} / Q_{e,max} \quad (8)$$

bağıntısıyla verilir. $Q_{e,max}$ maksimum buharlaşma potansiyelidir ve derinin tamamının ıslak olması durumunda gerçekleşir. $Q_{e,max}$ değeri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993a).

$$Q_{e,max} = \frac{(p_{sk} - p_a)}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} h_e}} \quad (9)$$

Burada p_a ve p_{sk} sırasıyla çevre havasında ve deri üzerinde su buharının kısmi basıncı, $R_{e,cl}$ giysinin buharlaşma ile ısı geçişine direnci, h_e buharlaşma ile ısı geçiş katsayısıdır. $R_{e,cl}$ değeri, Lewis oranı (LR) ve giysi buhar geçirgenlik verimine (i_{cl}) bağlı olarak,

$$R_{e,cl} = R_{cl} / (i_{cl} LR) \quad (10)$$

eşitliğiyle bulunabilir (McCullough vd., 1989). Lewis oranı, olağan iç ortam koşullarında yaklaşık 16.5 °C/kPa alınabildiği gibi (ASHRAE, 1993a), deri sıcaklığına bağlı olarak da ifade edilebilir (Burch vd., 1991).

$$LR = 15.15(T_{sk} + 273.15) / 273.15 \quad (11)$$

Giysinin buhar geçirgenlik verimi, iç ortamlarda genelde kullanılan giysiler için ortalama 0.34 alınması tavsiye edilmektedir (McCullough vd., 1989). Buharlaşma ve taşınım ile ısı geçiş

katsayıları arasındaki ilişki Lewis oranıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$h_e = h_{cv} LR \quad (12)$$

Denetim Sinyalleri ve Etkileri

İç vücut ile deri arasındaki kan akışı denetim sinyalleri ile kontrol edilir ve matematiksel olarak,

$$\dot{m}_{bl} = [(6.3 + 200WSIG_{cr}) / (1 + 0.5CSIG_{sk})] / 3600 \quad (13)$$

şeklinde yazılabilir (ASHRAE, 1993a). Kan debisindeki değişimler, iki bölme arasındaki ısı geçişini etkiler. İç vücut ile deri arasındaki ısı geçişi,

$$Q_{cr,sk} = (5.28 + c_{p,bl} \dot{m}_{bl}) (T_{cr} - T_{sk}) \quad (14)$$

bağıntısıyla verilir. Denetim sinyalleri cinsinden ter üretimi,

$$\dot{m}_{rsw} = 4.7 \times 10^{-5} WSIG_b \exp(WSIG_{sk} / 10.7) \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir.

Enerji Dengesi

Vücudun ürettiği enerji, iç bölme ile deri arasındaki ısı geçişi ve vücuttan çevreye olan ısı kayıpları hesaplandıktan sonra iki bölmeli model için verilen her biri bir bölmenin ısı dengesini gösteren iki denklemde yerlerine konur (ASHRAE, 1993a; Butera, 1998).

$$S_{cr} = M - W - (Q_{s,res} + Q_{e,res}) - Q_{cr,sk} \quad (16)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (Q_{cv} + Q_{rd} + Q_{e,sk}) \quad (17)$$

Burada S_{cr} ve S_{sk} sırasıyla birim zamanda iç bölme ve deride depolanan ısı enerjileri göstermektedir. Vücutta birim zamanda depolanan ısı enerjiler, bu bölmelerin sıcaklıklarının değişmesine neden olur. Bu etki,

$$dT_{cr} / dt = S_{cr} A_b / ((1 - \alpha) mc_{p,b}) \quad (18)$$

$$dT_{sk} / dt = S_{sk} A_b / (\alpha mc_{p,b}) \quad (19)$$

denklemleriyle ifade edilir. İç bölme ve deri sıcaklıkları, enerji akıları ve sıcaklık denetim tepkileri her zaman adımı için hesaplanmalıdır.

ISIL KONFOR ÖLÇÜTLERİ

Isıl konfor algısı için iki bölmeli anlık enerji dengesi modelinde, ısıl duyum (TSENS) ve ısıl konforsuzluk (DISC) olmak üzere yaygın olarak iki ölçüt kullanılır. TSENS ve DISC 11 noktalı sayısal ölçeğe göre değerlendirilir. TSENS için +5 dayanılmaz ölçüde sıcak, +4 çok sıcak, +3 sıcak, +2 ılık, +1 ılıkça, 0 nötr, -1 serince, -2 serin, -3 soğuk,

-4 çok soğuk, -5 dayanılmaz ölçüde soğuk; DISC için 0 rahat ve konforlu, ± 1 biraz rahatsız fakat kabul edilebilir, ± 2 rahatsız, ± 3 çok rahatsız, ± 4 sınırlı ölçüde dayanılabilir, ± 5 dayanılmaz şartlarını göstermektedir. TSENS ve DISC aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir (ASHRAE, 1993a):

$$TSENS = 0.4685(T_b - T_{b,c}) \quad T_b < T_{b,c} \quad (20)$$

$$TSENS = 4.7\eta_e(T_b - T_{b,c})/(T_{b,h} - T_{b,c})$$

$$T_{b,c} \leq T_b \leq T_{b,h} \quad (21)$$

$$TSENS = 4.7\eta_e + 0.685(T_b - T_{b,h}) \quad T_{b,h} < T_b \quad (22)$$

$$DISC = 0.4685(T_b - T_{b,c}) \quad T_b < T_{b,c} \quad (23)$$

$$DISC = \frac{4.7(Q_{e,rs,w} - Q_{e,rs,w,req})}{(Q_{e,max} - Q_{e,rs,w,req} - Q_{e,dif})} T_{b,c} \leq T_b \quad (24)$$

Burada $T_{b,c}$ ve $T_{b,h}$, buharlaşmayla denetim bölgesinin sırasıyla alt ve üst eşik noktalarını belirleyen ortalama vücut sıcaklıklarıdır.

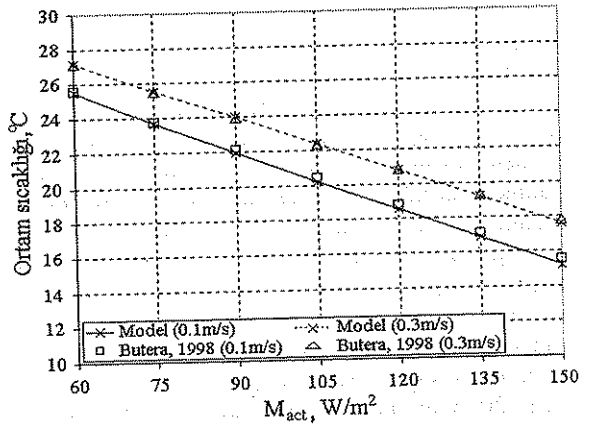
METOT

İlk olarak belirli bir aktiviteye (metabolik enerji üretimine) ve giysiye sahip bir insanın, şartları belli olan bir çevrede, vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları hesaplanmaktadır. Daha sonra, vücudun enerji dengesini gösteren 16 ve 17 numaralı eşitlikler yardımıyla iç bölme ve deri tabakasında depolanan anlık enerjiler bulunur. Birim zamanda depolanan bu enerji, vücut sıcaklıklarını bir miktar değiştirmektedir ve program yeni vücut sıcaklıkları ile matematiksel modelin başına döner. Bu esnada vücut sıcaklıklarıyla (T_{cr} ve T_{sk}) ilişkili olan denetim sinyalleri ve etkileri de hesaplanan parametreler arasındadır. Bu işlemler her zaman adımı için tekrarlanır ve işlemlerin sonunda vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları, deri ıslaklığı, vücut iç bölme ve deri sıcaklıkları, iç bölme ile deri arasındaki ısı geçişi, vücutta depolanan ısı enerji miktarı, ortalama vücut sıcaklığı, ısı duyumu ve ısıl konforsuzluk gibi bir çok özelliğin istenilen süreç içerisindeki değişimi veya süreç sonundaki değerleri belirlenmiş olur.

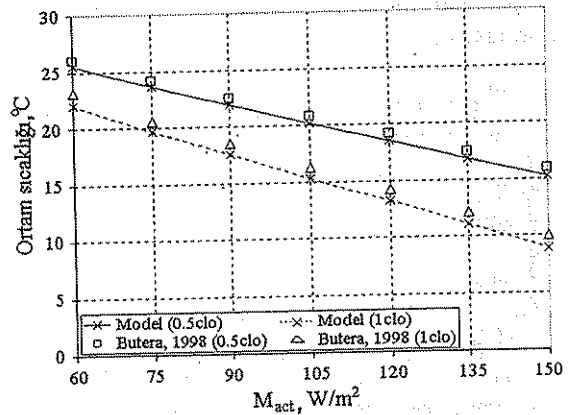
BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırma bulgularına geçmeden önce modelden elde edilen verilerin doğruluğunun sınanması amacıyla farklı hava hızı, aktivite ve giysi dirençlerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 1'de 0.1 m/s ve 0.3 m/s olmak üzere iki farklı

hava hızında, Şekil 2'de ise 0.5 clo ve 1 clo olmak üzere iki farklı giysi direncinde aktiviteyle konfor için gerekli ortam sıcaklığının değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar oldukça uyumludur. İnsanın hareketlilik düzeyinin (aktivitenin) artması vücutta üretilen metabolik ısıyı artırmaktadır. Üretilen bu ısının çevreye verilebilmesi için daha düşük ortam sıcaklıklarına gereksinim vardır. Bu nedenle aktivite arttıkça, vücutla çevre arasında kurulan ısı dengesinin bozulmaması için ortam sıcaklığı azalmaktadır. Benzer bir durum giysi ısı direnci için de geçerlidir. Giysi ısı direncinin artması vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıplarını engelleyici rol oynar. Bu nedenle giysi direnci arttıkça ortam sıcaklığı azalarak ısı kayıpları dengelenir ve böylece ısı konfor şartları korunmuş olur.



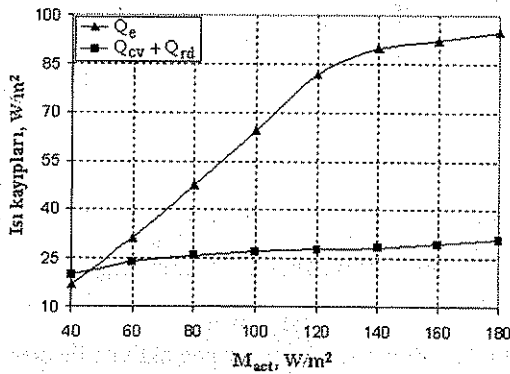
Şekil 1. Farklı hava hızlarında aktivite ile ortam sıcaklığının değişimi ($I_{cl} = 0.5\text{clo}$, $\phi = 0.50$, $T_a = \bar{T}_{rd}$)



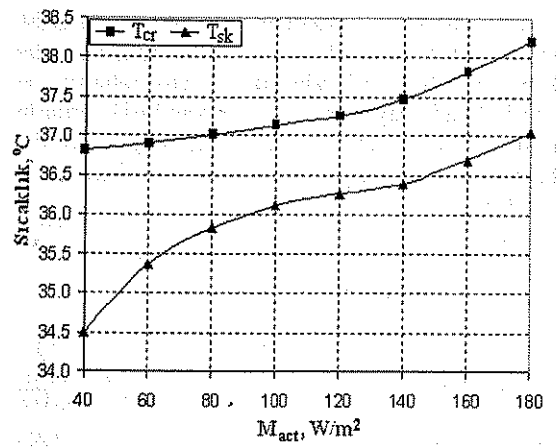
Şekil 2. Farklı giysi dirençlerinde aktivite ile ortam sıcaklığının değişimi ($V = 0.1\text{ m/s}$, $\phi = 0.50$, $T_a = \bar{T}_{rd}$)

Şekil 3 ile Şekil 8 arasında aktivitenin, Şekil 9 ile Şekil 14 arasında giysi yalıtımının ısı konfor şartları üzerindeki etkileri verilmiştir. Buradaki hesaplamalarda ortam sıcaklığı (T_a) 30 °C, bağıl nem (ϕ) 0.50, giysinin ısı direnci (I_{cl}) 0.6 clo ve ortam ile ortalama ışınlam sıcaklığı birbirine eşit ($T_a = \bar{T}_{rd}$) alınmıştır. Çalışmada, vücudun metabolik ısı üretimi için dinlenme durumu ile hafif idman sırasında üretilen ısıya denk gelen $40 \div 180 \text{ W/m}^2$, giysinin ısı direnci için yazlık ile kışkık giysilere denk gelen $0.5 \div 1.5 \text{ clo}$ aralıklarında inceleme yapılmıştır. Literatürde, doğal havalandırmalı tipik iç mekanlarda hava hızının nadir olarak 0.10 m/s değerini aştığı belirtilmektedir (Höppe ve Martinac, 1998). Bu nedenle çalışmamızda hava hızı 0.05 m/s kabul edilmiştir. Hesaplamalarda 1 saatlik periyot göz önüne alınmıştır. Doğal olarak her zaman adımı için ısı kayıpları, vücut sıcaklıkları, deri ıslaklığı, ter üretimi gibi parametreler sürekli olarak değişeceğinden grafiklerde, incelenen süre sonundaki değerleri verilmiştir.

Şekil 3'de aktivite ile deriden olan duyulur ve gizli ısı kayıplarının değişimi görülmektedir. Verilen şekilden görüldüğü gibi aktivite arttıkça özellikle deriden buharlaşma yoluyla ısı kaybı önemli ölçüde artmaktadır. Taşınım ve ışınlam yoluyla olan duyulur ısı kayıplarında artış nispeten daha yavaştır. Oldukça sakin bir dinlenme durumuna karşılık gelen 40 W/m^2 aktivite düzeyinde vücudun birim yüzey alanından olan duyulur ısı kaybı 19.7 W , gizli ısı kaybı 16.8 W iken 120 W/m^2 aktivite değerinde duyulur ısı kaybı 27.5 W , gizli ısı kaybı ise 81.8 W gibi oldukça yüksek bir değere çıkmaktadır. Duyulur ısı kaybındaki artış, Şekil 4'den görüldüğü gibi deri sıcaklığının artmasından kaynaklanmaktadır. Deri sıcaklığının artışı, ortam ile deri arasındaki sıcaklık farkını artırdığından duyulur ısı kayıplarını artırmaktadır.

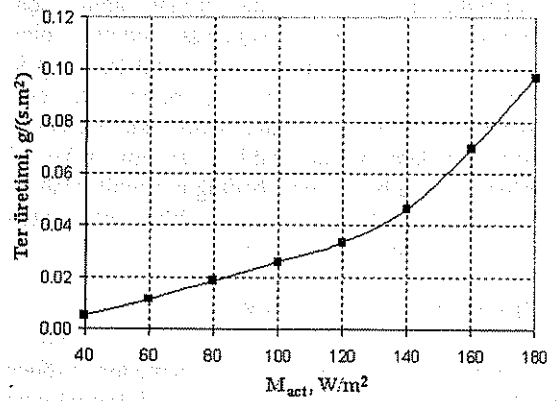


Şekil 3. Aktivite ile ısı kayıplarının değişimi

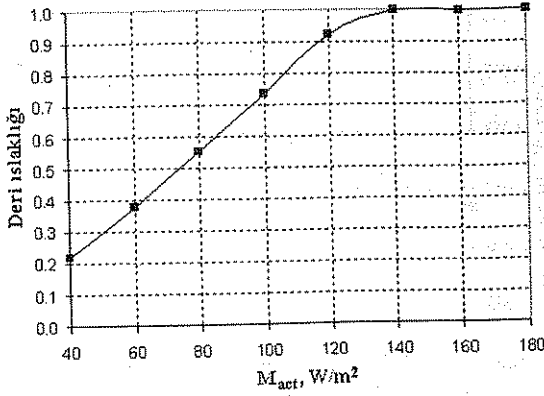


Şekil 4. Aktivite ile vücut sıcaklıklarının değişimi

Şekil 4'den, aktivitenin artmasıyla deri sıcaklığının yanı sıra iç bölme sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Ancak doğal olarak, vücut iç sıcaklığındaki değişim deri sıcaklığına göre daha düşük olmaktadır. Vücudun metabolik ısı üretiminin artması sonucu çevreyle ısı dengesinin sağlanabilmesi için ısı kayıplarının artması gerekir. Bu amaçla vücut, vazodilasyon (damarların genişlemesi) etkileriyle deri bölgesine kan akışını fazlaştırmak için iç bölmeden deriye ısı geçişini artırır. Bunun yanında ter üretimiyle de deriden buharlaşmalı etkin bir soğutma yapar (Şekil 5). Ter üretiminin artması deri ıslaklığı artırır ve yaklaşık 140 W/m^2 'de deri ıslaklığı maksimum değeri olan 1'e ulaşmaktadır (Şekil 6). Bu konumda vücudun tamamı ıslaktır ve Şekil 7'den de görüleceği üzere kişi, bu şartlardan oldukça rahatsızlık duymaktadır. Özellikle deri ıslaklığıyla ilişkili olan DISC ısı konfor ölçütü, vücudun tamamının ıslak olduğu 140 W/m^2 değerinden sonra hızlı bir şekilde artmakta ve oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 5. Aktivite ile ter üretiminin değişimi



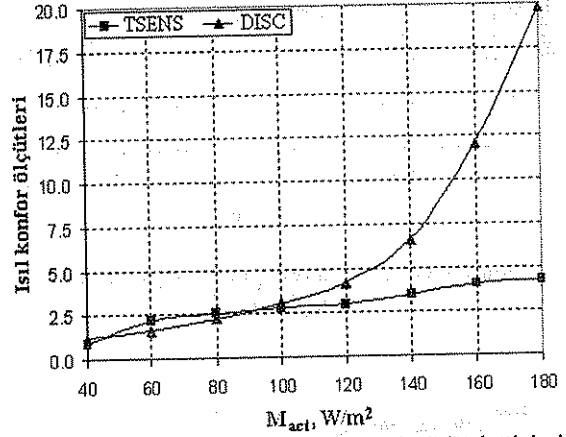
Şekil 6. Aktivite ile deri ıslaklığının değişimi

Vazodilasyon yoluyla iç bölme ile deri arasındaki ısı geçişi kan akışıyla sınırlıdır. Yaklaşık 120 W/m² aktivite değerinde, iki bölme arasındaki kan akışı maksimum değeri olan 0.025 kg/(s.m²) değerine ulaşmıştır. Bu aktiviteden sonra kan akışı daha fazla artmadığından iç bölmede ısı enerji birikimi olacaktır. Bu nedenle 120 W/m²'den sonra iç bölme sıcaklığı, ter üretimi ve ısıl konfor ölçütlerinin sayısal değerleri daha hızlı olarak artmaktadır.

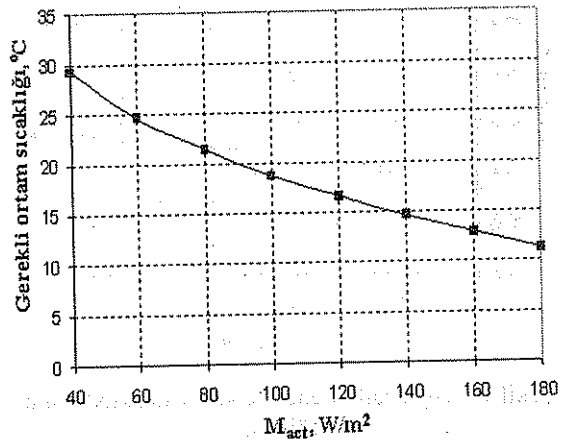
Bir ortamda konfor şartlarının bozulmaması için farklı aktivitelerde ortam sıcaklığının ne olması gerektiği önemli bir problemdir. Şekil 8'de TSENS ve DISC'in 0.5 değerini aşmaması için aktivite ile gerekli ortam sıcaklığının değişimi verilmiştir. Buradaki hesaplamalarda aktivite ve ortam sıcaklığı hariç diğer bütün çevresel ve kişisel parametreler sabit alınmıştır ($T_a = \bar{T}_{rd}$, $\phi = 0.50$, $V = 0.05$ m/s, $I_{cl} = 0.6$ clo). Aktivite arttıkça insanlar ısı kayıplarının daha fazla olduğu, daha düşük ortam sıcaklıklarında hoşlanmaktadır. Çünkü düşük ortam sıcaklığında vücuttan çevreye ısı kayıpları artmakta ve üretilen metabolik enerji çevreye kolaylıkla verilebilmektedir. Söz konusu şartlarda, vücutla çevre arasında kurulan ısı dengesi (vücutta üretilen ısı enerjiyle çevreye olan ısı kayıplarının dengelenmesi veya dengesizliğin kabul edilebilir mertebede olması) nedeniyle, ısıl konfor ölçütleri 0.5 değerini aşmamaktadır.

Şekil 9'da ısı kayıplarının, Şekil 10'da iç bölme ve deri sıcaklıklarının, giysi ısı direnciyle değişimi görülmektedir. Buradaki hesaplamalarda aktivite 60 W/m² alınmıştır. Giysi ısı direncinin, kumaş katmanlarından ve bu katmanlar arasında kalan hava tabakalarından kaynaklandığı kabul edilmektedir (McCullough vd., 1989). Vücut üzerindeki giysiler, çevreye olan ısı geçişini etkileyen en önemli etkenlerdendir. Giysi ısı direncinin artmasıyla vücut sıcaklıkları (iç bölme ve

deri sıcaklığı) Şekil 10'dan da görülebileceği üzere artmakta ve daha önce aktivite için verilen Şekil 4'de olduğu gibi, vücudun iç sıcaklığı deri sıcaklığına göre daha dar bir aralıkta değişmektedir. Deri sıcaklığındaki değişim 0.44 °C iken iç bölmede sadece 0.05 °C'dir.



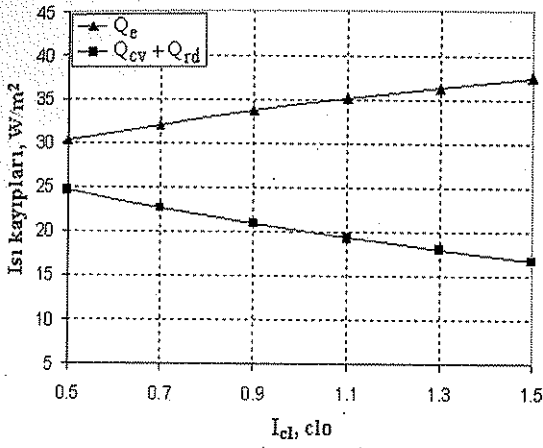
Şekil 7. Aktivite ile ısıl konfor ölçütlerinin değişimi



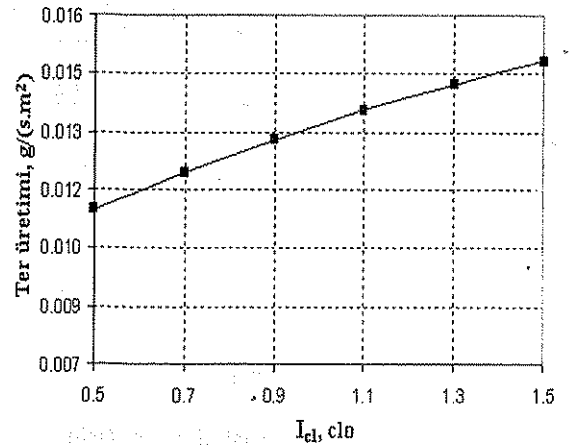
Şekil 8. Aktivite ile konfor için gerekli ortam sıcaklığının değişimi

Literatürde, vücudun hayati fonksiyonlarının devamı için gerekli organlarının (karaciğer, dalak) işlevlerini aksamadan yerine getirebilmesi için vücut iç sıcaklığının, kısa süreli daha yüksek değerlere çıksa da, en çok 37 ± 0.5 °C mertebesinde değişmesi gerektiği belirtilmektedir (Butera, 1998).

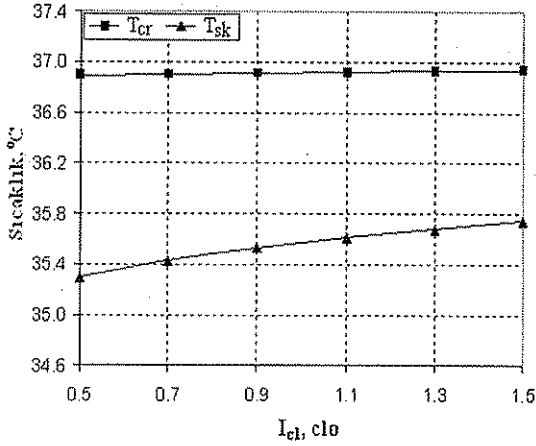
Giysi ısı direncinin artmasıyla taşınım ve ışınlama ısı kayıpları azalmaktadır. Bunun dengelenebilmesi için gizli ısı kayıplarının artması gerekir. Bu nedenle vücut ter üretimini artırır (Şekil 11). Ter üretimiyle beraber deri ıslaklığı da artar (Şekil 12) ve sonuçta gizli ısı kayıpları artmaktadır. Giysi ısı direncinin artması, deri ıslaklığı ve vücut sıcaklıklarını artırdığından konfor hissi kötüleşmektedir.



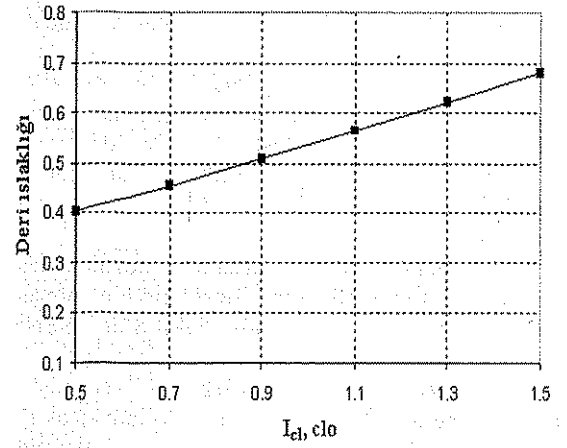
Şekil 9. Giysi ısıl direnci ile ısı kayıplarının değişimi



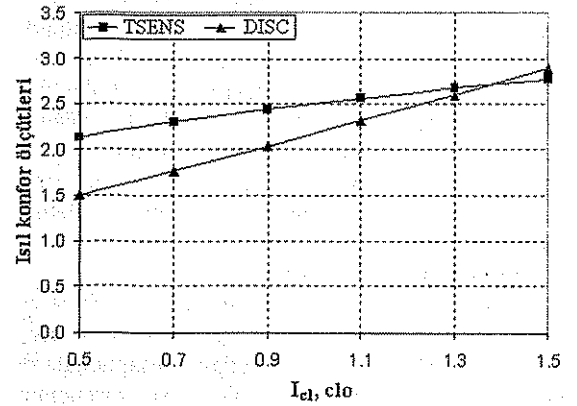
Şekil 11. Giysi ısıl direnci ile ter üretiminin değişimi



Şekil 10. Giysi ısıl direnci ile vücut sıcaklıklarının değişimi



Şekil 12. Giysi ısıl direnci ile deri ıslaklığının değişimi

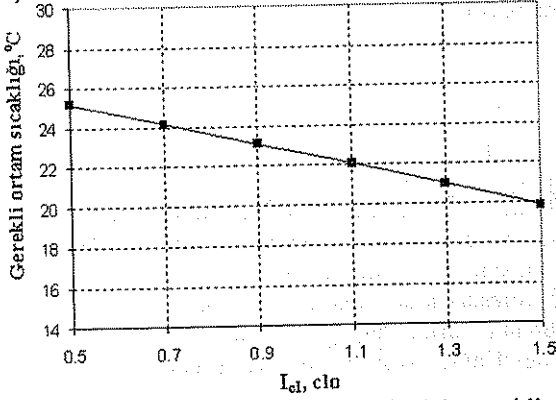


Şekil 13. Giysi ısıl direnci ile ısıl konfor ölçütlerinin değişimi

Şekil 13'den görüldüğü gibi TSENS ve DISC ısıl konfor ölçütleri giysi direnciyle artmıştır. Ancak giysi ısıl direnci, deri ıslaklığını aktivite kadar etkilememektedir. Aktivite ile giysinin deri ıslaklığı üzerindeki etkilerini gösteren Şekil 6 ve Şekil 12 birlikte incelendiğinde fark daha rahat anlaşılabilmektedir. Giysiden kaynaklanan deri ıslaklığı çok fazla artmadığından DISC değeri, Şekil 7'deki kadar aşırı yükselmemiştir. Aynı durum vücut sıcaklıkları için de geçerlidir. Giysilerin ısıl direncinden kaynaklanan vücut sıcaklıklarının artışı, aktiviteden kaynaklanan artışa göre daha küçük olduğundan TSENS değeri de en fazla 2.77 değerine ulaşmaktadır.

Şekil 14'de giysi direncinin artışıyla TSENS ve DISC'in 0.5 değerini aşmaması için ortam sıcaklığının alması gereken değerleri görülmektedir. Giysilerin ısıl direnci arttıkça

insanlar, ısı kayıplarının daha fazla olduğu daha düşük ortam sıcaklıklarını tercih etmektedirler. Ancak bu şekilde ısı dengesi kolaylıkla kurulabilmekte ve ısı konfor ölçütleri ± 0.5 değerini aşmamaktadır.



Şekil 14. Giysi ısı direnci ile konfor için gerekli ortam sıcaklığının değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada, kişisel ısı konfor parametreleri olarak nitelendirilen aktivite ve giysinin, insan fizyolojisi ve konfor şartları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada varılan sonuçlar özetle şunlardır:

İnsanın aktivitesinin artması, ter üretimini dolayısıyla gizli ısı kayıplarını artırır. Ter üretimiyle deri ıslaklığı artması konfor hissini olumsuz yönde etkiler. Aktivite, iç bölme ve deri sıcaklıklarını da etkilemektedir ancak deri sıcaklığındaki değişim iç bölmeye göre çok daha fazladır. Aktivitenin artmasıyla vücutta üretilen ısı enerji arttığından çevreyle kurulacak ısı dengesi, ısı kayıplarının daha fazla olduğu düşük ortam sıcaklıklarında sağlanır. Bu nedenle, aktivite arttıkça gerekli ortam sıcaklığı azalmaktadır. Vücut üzerindeki giysilerin ısı direnci, ısı geçişini engelleyen önemli parametrelerdendir. Bu nedenle, giysi direnci arttıkça duyulur ısı kayıpları azalır. ısı dengesinin sağlanabilmesi için gizli ısı kayıplarının artması gerekir. Bu amaçla vücut, ter üretimini artırır. Ancak ter üretimiyle birlikte deri ıslaklığının artması bunun yanında vücut sıcaklıklarının yükselmesi konfor algısını olumsuz yönde etkiler.

Aktivite ile giysinin ısı konfor şartlarına etkileri karşılaştırıldığında, aktivitenin daha önemli olduğu söylenebilir. Çünkü vücut sıcaklıklarını, ter üretimini, deri ıslaklığını ve ısı konfor ölçütlerini kişinin aktivitesi daha fazla etkilemektedir. Bu nedenle, iç ortamlarda konfor şartlarının temini için yapılan hesaplamalarda mahalde bulunanların hareketlilik düzeyleri daha ön planda tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- ASHRAE, (1993a). ASHRAE handbook - Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE, (1993b). ASHRAE handbook - Fundamentals, chapter 37. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- Aybers, N., *Isıtma, Havalandırma ve İklim Tesisleri*, Uçer Matbaacılık, 9-25, 1978.
- Burch, S.D., Ramadhyani, S. and Pearson, J.T., Analysis of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditioning, *ASHRAE Transactions*, 97, 247-257, 1991.
- Butera, F.M., Chapter 3- Principles of Thermal Comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2, 39-66, 1998.
- de Dear, R.J., Arens, E., Hui, Z. and Ogura, M., Convective and Radiative Heat Transfer Coefficients for Individual Human Body Segments, *Int. Journal of Biometeorol*, 40, 141-156, 1997.
- Fanger, P.O., *Thermal Comfort Analysis and Applications In Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York, 1970.
- Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. and Nishi, Y., An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Response, *ASHRAE Transactions*, 77, Part 1, 247-262, 1971.
- Höppe, P. and Martinac, I., Indoor Climate and Air Quality, *Int. Journal of Biometeorol*, 42, 1-7, 1998.
- Kaynaklı, Ö. ve Yamankaradeniz, R., Anlık enerji dengesi modeli ile ısı konfor şartlarının simülasyonu, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Fırat Üniversitesi, 15, 4, 601-612, 2003.
- McCullough, E.A., Jones, B.W. and Huck, J., A Comprehensive Data Base For Estimating Clothing Insulation, *ASHRAE Transactions*, 91, 2, 29-47, 1985.
- 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.

Ömer KAYNAKLI

1977'de Bursa'da doğdu. Lisans eğitimini 1998 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliğinde tamamladı. Aynı yıl Termodinamik ve Enerji Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 1999 yılında bölümünde araştırma görevlisi oldu. Halen Uludağ Üniversitesinde görevine ve doktora öğrenimine devam etmektedir.

Recep YAMANKARADENİZ

1954 yılında Samsun'da doğdu. 1975 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesinden mezun oldu. 1983 yılında İstanbul Teknik Üniversitesinde doktorasını tamamladı. 1985 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne Yardımcı doçent olarak atandı. 1990 yılında doçent ve 1995 yılında profesörlük unvanlarını aldı. İdari görevleri arasında; 1996-1999 yıllarında Makine Mühendisliği bölüm başkanlığı, 1999 Haziran'dan beri Orhangazi Meslek Yüksekokulu müdürlüğü ve Uludağ Üniversitesi rektör danışmanlığı yer almaktadır.