

İklimlendirilen Ortamlar İçin Isıl Konforun Geçici Rejim Enerji Dengesi Modeli ile Değerlendirilmesi

İbrahim ATMACA*
Abdulvahap YİĞİT**

Özet

İklimlendirme işlemi yapılacak bir hacim için uygun sistemin seçimi, sistemin ekonomikliği ve güvenirliliğinin yanında hacimde çalışan veya ikamet edenler için ısı konforunun sağlanması da konuyla ilgili mühendislerin ilgi alanına girmektedir. Isıl konfor şüphesiz ki iş verimini ve üretkenliği etkileyen önemli etkenlerden biridir. Isıl konfor, insanın boyutları, yaşı, cinsiyeti gibi bir çok parametreye bağlı olsa bile en genel anlamda ısı konforu etkileyen parametreleri kişisel ve çevresel parametreler olarak sınıflandırabiliriz. Ortam sıcaklığı, ortam bağıl nemi, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı çevresel parametreler olarak adlandırılırken, kişisel parametreleri ise kişinin giyinme durumu ve metabolik aktivite düzeyi oluşturmaktadır.

Bu çalışmada vücut ile ortam arasındaki ısı etkileşim geçici rejim enerji dengesi modeli (Gagge modeli) ile değerlendirilmiştir. Oluşturulan matematiksel model ve simülasyon vasıtasıyla çeşitli çevresel ve kişisel parametrelere bağlı olarak ısı konforunun tespiti ısı duyum (TSENS) indeksi ile tespit edilmiştir. Çalışmada ortam hava hızı ve kişinin giyinme durumu sabit olarak alınmış, çeşitli ortam sıcaklıkları için farklı ortam bağıl nemi, metabolik aktivite düzeyi ve ortalama ışınım sıcaklığı için vücudun ısı tepkileri değerlendirilmiştir. Değişik şartlar için vücut deri sıcaklığı, deri ıslaklığı, vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları grafikler ile sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, ortam neminin özellikle vücuttan olan gizli ısı kaybını ve dolayısıyla vücut ıslaklığını önemli derecede etkilediğini, farklı metabolik aktivite düzeylerinde bulunan insanlar için konforlu iç ortam şartlarının değişiklik gösterdiğini ve iklimlendirilen hacim içerisinde bulunan sıcak yüzeyler sebebi ile oluşan yüksek ortalama ışınım sıcaklığının konfor algılarını etkilediğini göstermesi bakımından önemlidir.

1. GİRİŞ

İnsanların sıklıkla kullandığı hemen hemen tüm hacimler yaz ve kış şartlarına bağlı olarak değişik sistemler ile iklimlendirilmektedir. İklimlendirme sistemlerinin kullanım amacı bina sakinleri için ısı konforu sağlamaktır. Bu nedenden dolayı, etkin bir sistem seçimi veya dizaynı için insan vücudunun ısı durumunu ve tepkilerini iyi bir şekilde anlamak ve analiz etmek zorundayız.

Isıl konfor "ısı çevreden memnun olunan düşünce hali" olarak tanımlanmaktadır (ASHRAE, 1993). Kişiye göre değişimler, yaş, ortama uyum sağlama,

cinsiyet, hava akımı (cereyan) ve asimetric ısı ışı nım gibi detay noktalar dışında konfora etki eden en temel faktörler kişisel ve çevresel parametreler olarak iki grup altında toplanabilir (McQuiston ve Parker, 1994; Holz vd., 1996, Havenith vd., 2002).

Kişisel parametreler;

- Kişinin aktivite düzeyi
- Kişinin giyinme durumu

çevresel parametreler ise;

- Ortam sıcaklığı
- Ortam bağıl nemi
- Ortamdaki hava hızı

* Arş. Gör., Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.

** Prof. Dr., Uludağ Üniversitesi.

arak ortalama ışınım sıcaklığı

olarak sıralanabilir.

İnsan vücudu, kullandığı besin ve teneffüs edilen oksijen ile düşük sıcaklıklı ısı yayan ve mekanik iş üreten termodinamik bir sistem gibi düşünülebilir. Vücutta üretilen metabolik enerji taşınım ve ışınım ile duyulur ısı olarak ve buharlaşma ile gizli ısı olarak deriden ve solunum ile ciğerlerden bulunan çevreye atılır. Bulunulan ortamın konforlu hissedilmesi için vücutta üretilen enerjinin vücuttan bulunan çevreye atılan enerjiye eşit olması gerekmektedir. Vücut, yaşamsal organların fonksiyonlarının zarar görmemesi için, çevresel şartlar ne olursa olsun vücut iç bölme sıcaklığını 36.8 °C de tutmak için kompleks fizyolojik denetim mekanizmalarına sahiptir. Eğer vücut bulunduğu çevre ile ne kadar kolay bir şekilde enerji dengesini kurabiliyorsa, yani fizyolojik denetim mekanizmaları ne kadar az devreye giriyorsa, bulunduğu ortamı o denli konforlu hisseder (ASHRAE, 1993; Butera, 1998; McQuiston ve Parker, 1994).

Ortam sıcaklığı hem deriden hem de solunum ile olan duyulur ve gizli ısı transferini etkilemektedir. Giyimli bir insan için dinlenme veya hafif iş durumunda 23 °C ile 27 °C operatif sıcaklık aralığı konfor şartlarını sağlarken, çıplak insan için bu aralık 29 °C ile 31 °C'dir. Bağıl nem de havanın nemi absorblayabilmesinin bir ölçüsü olduğu ve böylece vücuttan buharlaşma ile atılan ısı miktarını etkilediği için ısı konfor üzerinde önemli derecede etkilidir. Arzu edilen bağıl nem aralığı %30 ile %70 aralığındadır ve %50 en çok kabul edilen değerdir. Isıl konforu etkileyen diğer bir temel faktör de hava hareketleridir ki ortamdaki yüksek hava hızları istenmeyen yerel soğumalara ve dolayısıyla yerel konforsuzluklara sebebiyet verebilir. Arzu edilen hava hızı genellikle yaz ve kış şartlarına bağlı olarak 0.15 m/s ile 0.25 m/s arasında değişmektedir (Çengel, 1998; ASHRAE, 1993). Operatif sıcaklığı ve dolayısıyla vücuttan olan duyulur ısı kaybını etkileyen bir diğer parametre de ortalama ışınım sıcaklığıdır. Özellikle duvar

da iç ortamın sıcaklığının, neminin ve ortamdaki hava hızının kontrol edilmesi ve arzu edilen değerlerde tutulması, yüksek ortalama ışınım sıcaklığından dolayı ortamda ikamet edenler için ısı konforu sağlamada yeterli olmayacaktır. Ortamda bulunan sıcak veya soğuk duvarlar ve yüzeyler, iç ortam sıcaklığı konfor sınırları içinde olsa bile, ortamda ikamet eden insanlar için soğuk veya sıcak hissi verebilecektir. Bu nedenle, ortamda sıcak veya soğuk yüzeyler mevcut ise konfor hesaplamalarında ışınım sıcaklığı da mutlaka dikkate alınmalıdır.

Isıl konforu etkileyen çevresel parametreler ölçülerek veya ölçülebilen parametreler ile hesaplanarak yada psikometrik diyagramdan tespit edilebilir. Fakat kişisel parametrelerin tespiti kısmen daha zordur. Kişisel parametrelerden giysi yalıtım değerleri ısı tılmış mankenler veya insanlar üzerinde yapılan deneysel sonuçlardan elde edilebilmektedir. İnsan üzerinde bulunan giysi tabakası ve özellikleri hem duyulur ısı kaybı hesabında kullanılan ısı direnci hem de gizli ısı kaybı hesabında kullanılan buharlaşma direncini ve dolayısıyla insan vücudu üzerindeki ısı yükü önemli derecede etkilemektedir. Çeşitli giysilerin ve giysi gruplarının ısı ve buharlaşma dirençleri ile çeşitli durumlarda bunların değişimi birçok kaynakta verilmektedir (ASHRAE, 1993; McCullough vd., 1995; Havenith vd., 2002). Genellikle yazlık hafif giyimde ısı direnç yaklaşık 0.5 – 0.6 clo (1 clo=0.155 m²-K/W), kışlık giyimde ise 1 – 1.3 clo arasında değişmektedir (ASHRAE, 1993; Havenith vd., 2002).

Kişinin aktivitesine göre, ikinci bir kişisel parametre olan, metabolizmanın ürettiği enerji de değişmektedir. Metabolik enerji üretimini ifade eden birim "met" olup, dinlenme halindeki bir insanın metabolik hızı olarak tanımlanmıştır (1 met=58.2 W/m²). Çeşitli aktiviteler için metabolik enerji üretimi değerleri çeşitli kaynaklarda mevcuttur (ASHRAE, 1993; Butera, 1998; McQuiston vd. 1994; Srinavin ve Mohamed, 2003; Havenith vd., 2002). Ortalama yetişkin bir insanın ısı transfer yüzey alanı (Dubois yüzey alanı) yaklaşık 1.8 m²'dir ve yaklaşık 106 W ener-

ji üretir. Ortamın konforlu hissedilmesi için bu 106 W çevreye ısı kaybı olarak atılmalıdır. Kişisel parametrelerden metabolik enerji üretiminin tespitinde kullanılan metotlar ISO 8996 standardında belirtilmiştir. 3 temel metot mevcuttur. Bunlardan ilki akti-

for parametrelerinin de eşlik ettiği enerji performansı simülasyon programları ile ilgilenmişlerdir. Yang ve Su (1997) ışınım sıcaklığının termal konfor üzerine etkisini tahmini ortalama oy (PMV) indeksi ile deneysel olarak incelemiştir. Sorensen (2002) sıvı

ının, 3 temel metot mevcuttur. Bunlardan ilki du-
vitenin veya işin şekline göre metabolik enerji üre-
timini veren tabloların kullanımınıdır. İkinci metotta
kalbin atış sayısı ile üretilen metabolik ısı enerjisi
arasındaki lineer ilişkiyi yararlanılır. Üçüncü yön-
tem direkt ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt
yöntemde üretilen ısı enerjisi kalorimetre ile ölçülür-
ken, dolaylı yöntemde kişinin oksijen tüketimi ora-
nından yararlanılır ki bu dolaylı kalorimetre olarak
isimlendirilir (Olesen ve Parsons, 2002; Havenith
vd., 2002; ASHRAE, 1993).

Konuyla ilgili son yıllarda çok çeşitli yönlerde birçok
çalışma yapılmaya devam etmektedir. Fountain vd.
(1999) iklimlendirilmiş oda deneyleri ile incelemeler
yapmışlardır. Bu çalışmada, sırasıyla, 1.2, 1.6 ve
4 met metabolik aktivite düzeylerinde 0.5 ve 0.9 clo
giysi direnci seviyelerinde 20 °C / %60 BN ile 26 °C
/ %90 BN arasında değişen deneyler yapılmıştır.
Düşük aktivite düzeylerinde nemin etkisi için açık
sonuçlar elde edilememiştir. 1.6 met ve üzerindeki
metabolik aktivite için nemin etken olduğu gözlen-
miştir. Toftum ve Fanger (1999), konfor bölgeleri
için üst nemlilik sınırlarını belirlemişlerdir. Bu çalış-
mada önerilen sonuçlar, ısı iç ortam için mevcut
standartlarda izin verilen maksimum nemlilik düzey-
leri ile karşılaştırılmıştır. Aktivite düzeyi, giysi ka-
rakteristiği ve çevresel parametreler üzerine varolan
modeller ile deri nemi belirlenmektedir. Deri nemlili-
ği modeli, derideki bağıl nemin bir fonksiyonu olarak
konforsuzluğu belirlemektedir. Toftum ve ark.
(1998), solunum borusundaki gerçek buharlaşma
ve konveksiyonun bir fonksiyonu olarak solunum ile
ilgili yetersiz soğutmadan dolayı hoşnutsuz olan in-
sanların yüzdesini belirleyen bir model geliştirmiş-
tir. Olesen ve Parsons (2002), çoğunlukla yerel ter-
mal konforsuzluğa yol açan cereyan (draught), dikey
hava sıcaklığı farkı, zemin sıcaklığı ve ışınım asi-
metrisi gibi konuları da içerecek şekilde ısı konfor-
la ilgili varolan ISO standartları ve devam eden ça-
lışmaları açıklamıştır. Holz vd. (1997) çeşitli kon-

for deneyleri olarak incelemiştir. Gorenson (2002) sayı-
sal olarak teorik çalışma ile termal manken için de-
taylı ışınım özelliklerini tahmin etmeye çalışmış-
tır. Benzer olarak Sakoi vd. (2002) da görüş faktö-
rünün tahmini için bir metot önermiş ve çeşitli di-
yagramlar sunmuştur. Butera (1998), ısı konforu
etki eden faktörler ile vücut ve çevresi arasındaki ısı
ve kütle transferinde kullanılan denklemleri detaylı
olarak ele almış, çeşitli çevresel ve kişisel para-
metrelere bağlı olarak PMV değerlerini grafikler ha-
linde sunmuştur. Srinavin ve Mohamed (2003) ile
Mohamed ve Srinavin (2002) PMV indeksi ile ısı
konfor ile üretkenlik arasındaki etkileşimi incele-
miş, daha önce bu yönde yapılan çalışmaların so-
nuçlarını istatistiksel olarak inceleyerek denklemler
elde etmiş ve yapılan deneyler ile elde ettikleri ista-
tistiksel sonuçları karşılaştırmışlardır. Havenith vd
(2002) ısı konforu etki eden kişisel parametreleri
incelemiş, özellikle vücudun hareketli olması veya
hava hareketlerinin olması durumunda giysi yalıtı-
mının nasıl değiştiğini ele almışlardır. Bahsedilen
çalışmada metabolik enerji üretiminin tayininde kul-
lanılan metotlar da detaylı olarak açıklanmıştır. Yi-
ğit (1999), yaptığı çalışmada vücudu 16 parçaya
ayırarak iki boyutlu bir simülasyon hazırlamış ve
çeşitli giyim durumları için vücuttan olan ısı kayıp-
ları ile vücut parçası sıcaklıklarını tahmin etmeye
çalışmıştır.

Bu çalışmada, geçici rejim enerji dengesi modeli
(Gagge modeli) ile vücut ve ortam arasındaki ısı et-
kileşim değerlendirilmiştir. Çeşitli çevresel ve kişi-
sel parametrelere bağlı olarak ısı konforun tespitini
ısı duyumu (TSENS) indeksi ile tespit eden bir mate-
matiksel model ve simülasyon oluşturulmuştur. Çalı-
şmada, çevresel parametrelerden ortam hava hızı
ve kişisel parametrelerden kişinin giyinme durumu
sabit olarak alınmış, çeşitli ortam sıcaklıkları için
farklı ortam bağıl neminde, metabolik aktivite düze-
yinde ve ortalama ışınım sıcaklığında vücudun ısı
tepkileri değerlendirilmiştir. Değişik şartlar için vü-

cut deri sıcaklığı, deri ıslaklığı, vücuttan olan duyu-
lur ve gizli ısı kayıpları grafikler ile sunulmuştur. El-
de edilen sonuçlar, ortam sıcaklığı, bağıl nemi ve
ortalama ışınım sıcaklığı ile metabolik aktivite dü-
zeyinin konfor algılarını nasıl etkilediğini göstermesi
bakımından oldukça önemlidir.

2. MODEL ve SİMÜLASYON

İncelemede Gagge vd. (1971, 1986) tarafından ge-

$$R_t$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadede, ortalama ışınım sı-
caklığı ile ortam sıcaklığının taşınım ve ışınım ile
ısı geçiş katsayısına bağlı olarak ağırlıklı ortalama-
sı olarak tanımlanan operatif sıcaklık (T_o) ve bileşik
ısı geçiş katsayısı (h) şu şekilde tanımlanmakta-
dır.

incelenen Gayge vü. (1971, 1980) tarafından geliştirilen iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli kullanılmıştır. Bu model, birim zamanda depolanan ısı enerjisinin vücudun ısı kazancı ile ısı kaybı arasındaki farka eşit olduğu esasına dayanır. Modelde vücut, içte iskelet, kas ve iç organları içeren bir silindirden oluşur. Burada içteki silindir kor dıştaki silindir deri tabakası olarak adlandırılacaktır. Bu iki tabaka için enerji dengesi yazılırsa ve birim zamanda depolanan ısı enerji her bir bölme için ısı kapasite ile birim zamanda sıcaklık değişiminin çarpımı olarak alınarak,

$$S_{cr} = M - W - Q_{sol,duy} - Q_{sol,g} - Q_{cr,sk}$$

$$= (1 - a).m.c_{p,b}(dT_{cr}/dt) / A_D \quad (1)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - Q_{sk,duy} - Q_{sk,g}$$

$$= a.m.c_{p,b}(dT_{sk}/dt) / A_D \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Belli bir zaman dilimi içinde vücuttan olan ısı kayıpları tespit edilirse bu iki denklem vasıtasıyla bu süre zarfı sonundaki kor ve deri bölgesi sıcaklıkları tespit edilebilir.

Giyimli deriden olan duyulur ısı ilk önce giysilere ve sonra da giysilerden çevre ortama transfer edilir. Deriden taşınım ve ışınım vasıtasıyla olan duyulur ısı kaybı derinin sıcaklığına, çevre ve etraftaki yüzey sıcaklıklarına, hava hareketleri ve giyime bağlı olarak;

$$Q_{sk,duy} = Q_{sk,taş} + Q_{sk,iş} \frac{T_{sk} - T_o}{T_{sk} - T_o} = \dots \quad (3)$$

$$T_o = (h_r.T_r + h_c.T_a) / (h_c + h) \quad (4)$$

$$h = h_c + h \quad (5)$$

Deriden buharlaşma ile olan ısı kaybı ise şu şekilde hesaplanabilir.

$$Q_{sk,g} = \frac{w(p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,t}} \quad (6)$$

İfadeden de görüldüğü üzere deriden olan gizli ısı kaybının tespiti için deri ve çevre hava su buharı basıncı farkı ile giysilerin buharlaşma direncinin yanında deri ıslaklığına da ihtiyaç duyulmaktadır. Deri ıslaklığı,

$$w = 0.06 + 0.94 \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada maksimum buharlaşma ile deriden ısı geçişi eşitlik (6) da ıslaklık değeri 1 alınarak hesaplanabilir. Aktif terleme ile oluşan buharlaşma ile ısı kaybı birim zamanda üretilen ter miktarına bağlı olarak,

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} \quad (8)$$

şeklinde bulunabilir. Sıcağa karşı denetim bölgesinde üretilen ter miktarı ve soğuğa karşı denetim bölgesindeki titreme ile üretilen enerji miktarı sıcaklık denetim sinyallerine bağlıdır. Bu sinyaller vücudun kor, deri ve ortalama sıcaklığının nötr sıcaklıklarından sapmasına bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$WSIG_{cr} = \begin{cases} 0 & T_{cr} \leq T_{cr,n} \\ T_{cr} - T_{cr,n} & T_{cr} > T_{cr,n} \end{cases} \quad (9)$$

$$CSIG_{cr} = \begin{cases} T_{cr,n} - T_{cr} & T_{cr} < T_{cr,n} \\ 0 & T_{cr} \geq T_{cr,n} \end{cases} \quad (10)$$

$$WSIG_{sk} = \begin{cases} 0 & T_{sk} \leq T_{sk,n} \\ T_{sk} - T_{sk,n} & T_{sk} > T_{sk,n} \end{cases} \quad (11)$$

$$T_{sk,n} - T_{sk,sk} < T_{sk,n}$$

Solunum ile olan duyulur ve gizli ısı kaybı ise şu şekilde bulunabilir.

$$Q_{sol,duy} + Q_{sol,g} = [0.0014M(34 - T_a) + 0.0173M(5.87 - p_a)] / A_D \quad (18)$$

Deri ıslaklığı ile kor ve derinin sıcaklıkları belirlendikten sonra ısı konforun tahmini ısı duyumu (TSENS) indeksi (0 nötr, ± 1 hafif ılık/serin, ± 2 ılık/serin, ± 3 sıcak/soğuk, ± 4 çok sıcak/soğuk, ± 5 dayanılmaz sıcak/soğuk) ile yapılabilir. Isıl duyumu TSENS, ortalama vücut sıcaklığının, buharlaşma ile denetim bölgesinin alt ve

$$(12) \quad CSIG_{sk} = \begin{cases} 0 & T_{sk} \geq T_{sk,n} \\ T_{sk} - T_{sk,n} & T_{sk} < T_{sk,n} \end{cases}$$

$$(13) \quad WSIG_b = \begin{cases} 0 & T_b \leq T_{b,n} \\ T_b - T_{b,n} & T_b > T_{b,n} \end{cases}$$

Bahsedilen denetim sinyallerine bağlı olarak, üretilen ter miktarı, titreme ile üretilen enerji miktarı, kan akış debisi ve buna bağlı olarak vücudun kor tabakasından deriye geçen ısı miktarı sırasıyla şu şekilde ifade edilebilir.

$$(14) \quad \dot{m}_{fsw} = 4.7 \times 10^{-5} \cdot WSIG_b \cdot \exp(WSIG_{sk} / 10.7)$$

$$M_{shiv} = 19.4 \times CSIG_{sk} \times CSIG_{cr} \quad (15)$$

$$(16) \quad \dot{m}_{bl} = [(6.3 + 200 \cdot WSIG_{cr}) / (1 + 0.5 \cdot CSIG_{sk})] / 3600$$

$$(17) \quad Q_{cr,sk} = (K + c_{p,bl} \dot{m}_{bl})(T_{cr} - T_{sk})$$

üst eşik noktalarını belirleyen sıcaklıklardan sapması olarak tanımlanabilir ve şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$(19) \quad T_{bc} = (0.194/58.15) \cdot (M - W) + 36.301$$

$$(20) \quad T_{bh} = (0.347/58.15) \cdot (M - W) + 36.669$$

$$(21) \quad TSENS = \begin{cases} 0.4685(T_b - T_{bc}) & T_b < T_{bc} \\ 4.7 h_{ev}(T_b - T_{bc}) / (T_{bh} - T_{bc}) & T_{bc} \leq T_b \leq T_{bh} \\ 4.7 h_{ev} + 0.4685(T_b - T_{bh}) & T_b > T_{bh} \end{cases}$$

Simülasyon COMPAQ VISUAL FORTRAN 6.5 programı kullanılarak yapılmıştır. Yazılımda kullanılan sabitler Tablo 1'de verilmiştir.

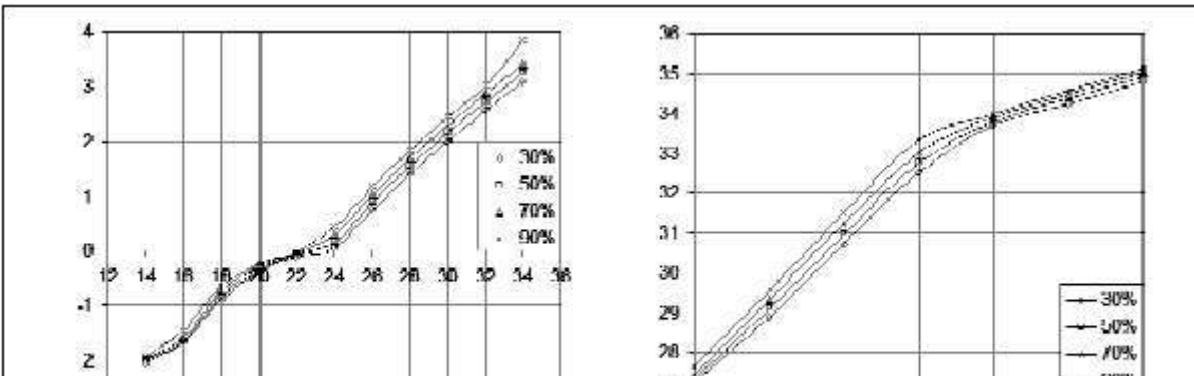
Simülasyonda yukarıdaki sabitler belirlendikten sonra incelenecek çevresel ve kişisel parametre değerleri girilerek, belirlenen ortamda vücut

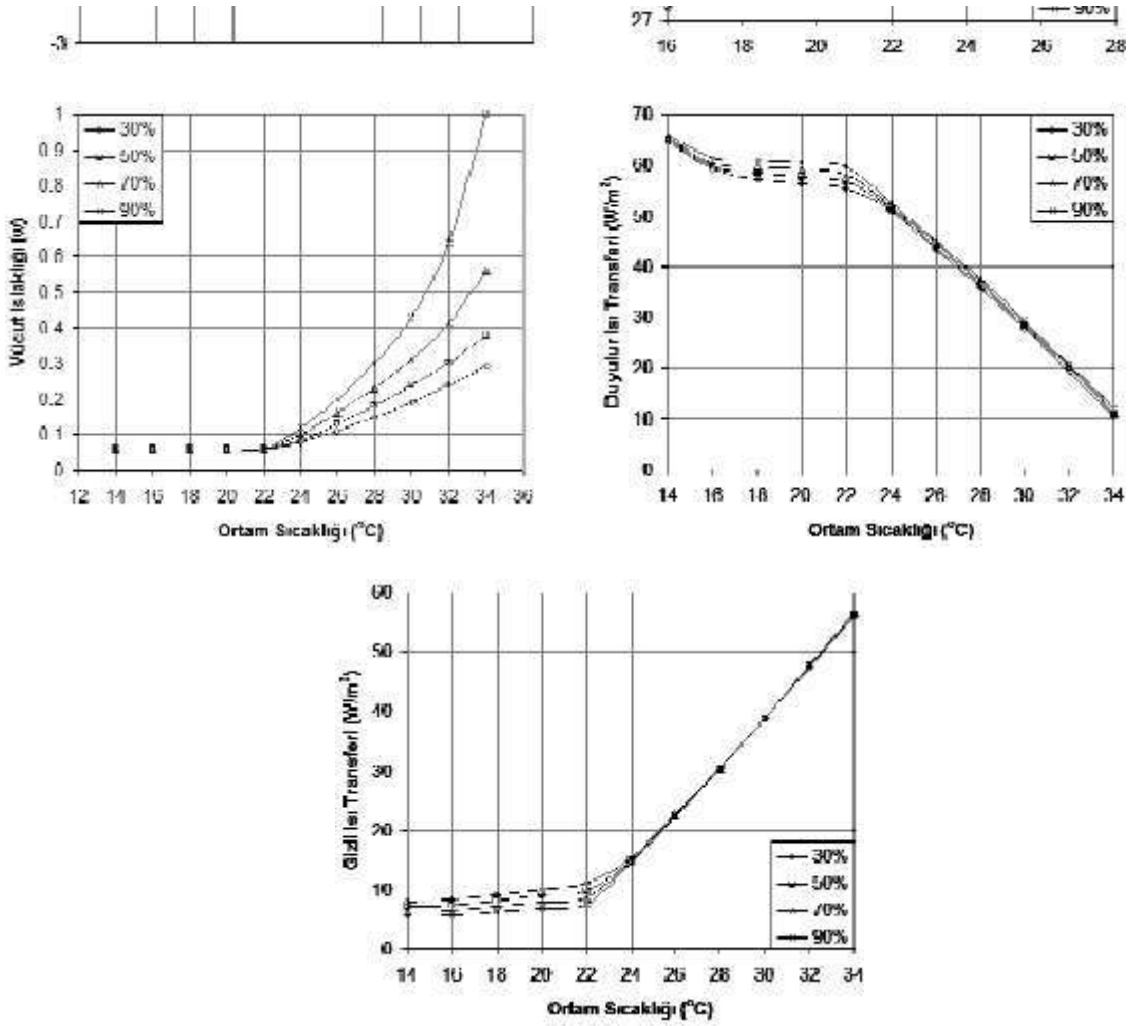
Tablo1. Simülasyonda kullanılan sabit değerler.

Sabit	Değer	Açıklama	Kaynak
R_t	0.19 W/m ² K (1.23 clo)	Sadece giysi direnci 0.57 clo	Yiğit ve Atmaca 2004
$R_{e,t}$	0.0222 m ² kPa/W	Sadece giysi direnci 0.01 m ² kPa/W	Yiğit ve Atmaca 2004
V	0.2 m/s	Hava hızı	Çengel, 1998
h_r	4.9 W/m ² K	Işınımla ısı geçiş katsayısı	McCullough ve ark. 1995
$T_{sk,n}$	33.7 °C	Deri nötr sıcaklığı	ASHRAE, 1993
$T_{cr,n}$	36.8 °C	Kor nötr sıcaklığı	ASHRAE, 1993
A_D	1.87 m ²	DuBois yüzey alanı	ASHRAE, 1993
M	74 kg	Vücut kütlesi	-

kor ve deri sıcaklığı sürekli rejim şartlarını sağlayana kadar işlemlere devam edilmiştir. Sonuçlar vücut deri ve kor sıcaklığı sürekli rejime ulaşınca alınmıştır. Yakınsama kriteri olarak $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ alınmıştır. İşlem adımları 1 saniye

aralıklar ile yapılmıştır. Hem kor hem de deri sıcaklığı bahsedilen yakınsama şartının altına düşünce vücut rejim şartlarını yakalamış olduğundan işlemler durdurulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir.





Şekil 1. Çeşitli ortam sıcaklıklarında ortam bağıl neminin konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Matematiksel model detayı yukarıda verilen simülasyonun sonuçları bu bölümde değerlendirilecektir. 3 ayrı parametrenin konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri çeşitli ortam sıcaklıkları için incelenecektir. Bu parametreler ortam bağıl nemi, kişinin aktivite durumu ve ortalama ısı nım sıcaklığıdır.

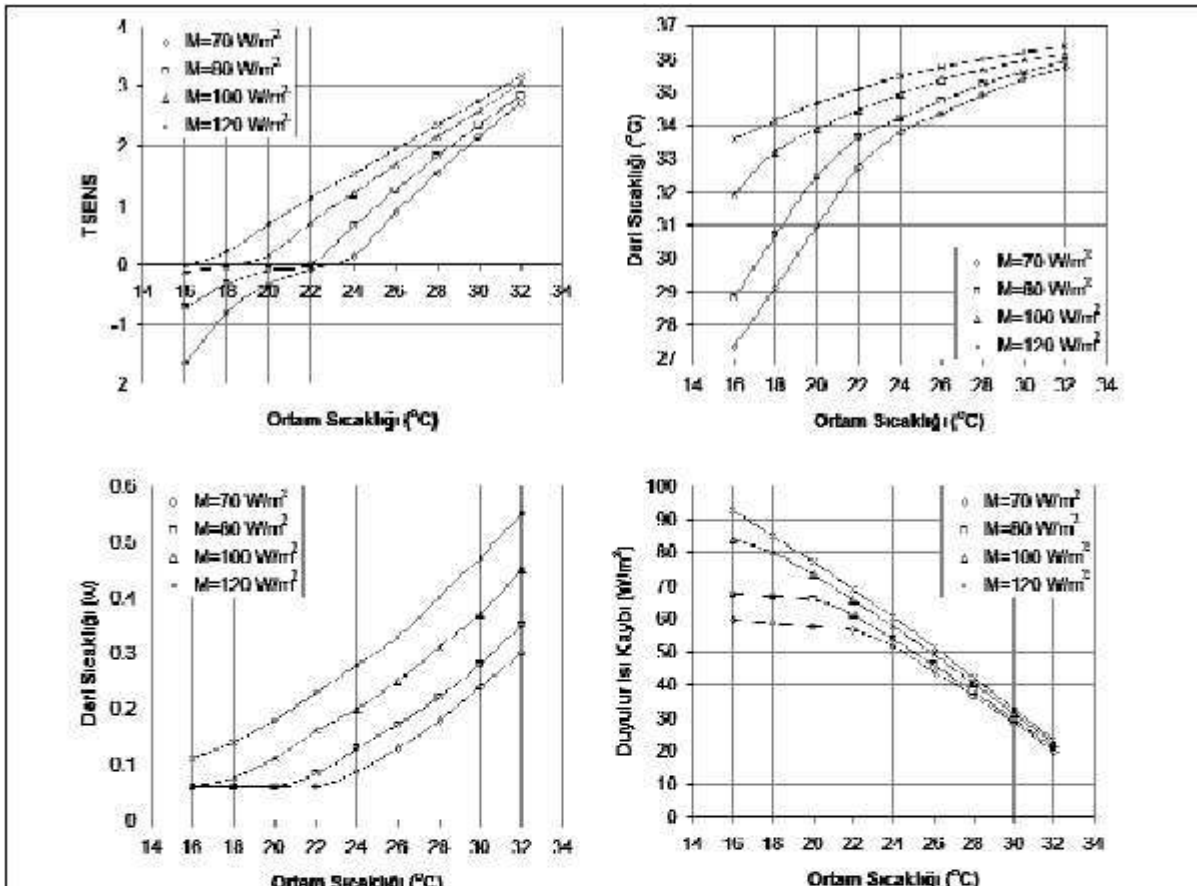
Isıl ortam bağıl neminin konfor algıları ve insanın ısı tepkileri üzerine etkisi çeşitli ortam sıcaklıkları için Şekil 1'de sunulmuştur. Her bağıl nem kademesi için yaklaşık 22 °C ile 24 °C ortam sıcaklığı aralığında ısıl duyum indeksi TSENS değeri nötr olmaktadır. %50 bağıl nem için bu değer yaklaşık 23 °C'dir. Artan veya azalan ortam sıcaklığı ile konfor algılarının TSENS değerine bağıl olarak kötüleştiği grafikten görülebilmektedir. Artan bağıl nem ile

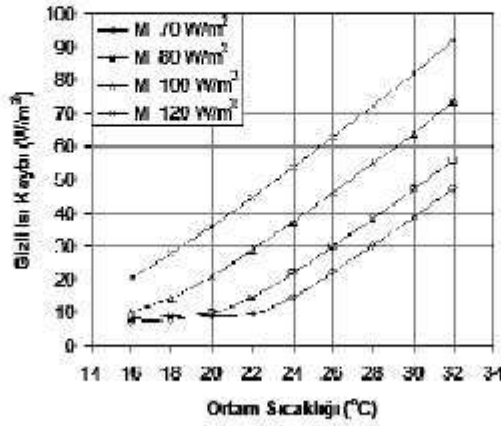
Farklı ortam sıcaklıklarında, aktivite düzeyinin konfor algıları ve insanın ısı tepkileri üzerine etkisi Şekil 2'de sunulmuştur. Grafiklerden görüleceği üzere konfor algısı kişinin aktivite düzeyine yani ürettiği enerji miktarının bağıl olarak önemli değişimler göstermektedir. 70 W/m² gibi düşük aktivite düzeyi için 23 °C'de TSENS değeri nötr olurken, 120 W/m² gibi yüksek bir aktivite düzeyinde nötr TSENS değeri yaklaşık 16 °C'de gerçekleşmektedir. Aynı ortam sıcaklığında, ısıl dengeyi sağlayabilmek için, artan aktivite düzeyi ile deri sıcaklığının ve dolayısıyla deriden olan duyulur ısı kayıplarının ve yine artan aktivite düzeyi ile deri ıslaklığının ve de dolayısıyla deriden olan gizli ısı kayıplarının yükseldiği grafiklerden görülebilmektedir. Bir önceki incelemede olduğu gibi yine her aktivite düzeyinde artan ortam sıcaklığı ile duyulur ısı kayıplarının azaldığı ve gizli ısı kayıplarının yükseldiği grafiklerden açıkça gözükme-

yüksek ortam sıcaklıklarında vücut deri sıcaklığının nötr değer olan 33.7 °C'den önemli sapmalar gerçekleştirdiği mevcut grafikten görülebilmektedir. Özellikle yüksek ortam sıcaklığında artan bağıl nem ile deri ıslaklığının rahatsız edici düzeylere yükseldiği tespit edilmektedir. Ortam sıcaklığının yükselmesi ile deriden olan duyulur ısı kayıpları deri sıcaklığının artmasına bağlı olarak azalmakta ve vücutta üretilen ısı aktif terleme sonucu gizli ısı şeklinde atılmaktadır. Grafiklerden görüleceği üzere artan ortam sıcaklığı ile her nem kademesinde deriden olan gizli ısı transferi miktarı artmaktadır. Artan nem ile deri ıslaklığı artmasına rağmen ortam ile deri üzerindeki su buharı basıncı farkı azaldığı için 24 °C ortam sıcaklığından sonra her nem kademesinde atılan gizli ısı miktarı hemen hemen birbirine eşittir. Grafiklerden görüleceği üzere artan ortam nemi konfor algılarını sabit ortam sıcaklığında çok fazla etkilemiyor gibi gözükse de yüksek ortam nemi özellikle yüksek ortam sıcaklıklarında yüksek deri ıslaklığı nedeniyle konforsuzluğa yol açmaktadır.

tedir.

Çeşitli ortam sıcaklıklarında ortalama ışınım sıcaklığının konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri Şekil 3'de gösterilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere özellikle yüksek güneş ışınımına maruz yapı bileşenleri veya iklimlendirilen ortamda bulunan sıcak yüzeylerden dolayı ortaya çıkan yüksek ortalama ışınım sıcaklığı konfor algılarını önemli derecede etkilemektedir. Ortalama ışınım sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit olması durumunda yaklaşık 23 °C'de nötr TSENS değeri elde edilirken, eğer ortalama ışınım sıcaklığı ortam sıcaklığından 12 °C yüksek ve yaklaşık 35 °C ise TSENS değeri +2'ye yaklaşmaktadır. Grafikten görüleceği üzere eğer ortam ışınım sıcaklığı yaklaşık 30 °C ise, yani ortam sıcaklığından 12 °C yüksek ise nötr TSENS değeri için ortam sıcaklığının 18 °C olması gerekmektedir. Yine de yüksek ortalama ışınım sıcaklığının sıcak yüzeye yakın vücut parçalarında yerel konforsuzluğa yol açacağı unutulmamalıdır. Artan ortalama ışınım sıcaklığı ile her ortam sıcaklığı değerinde





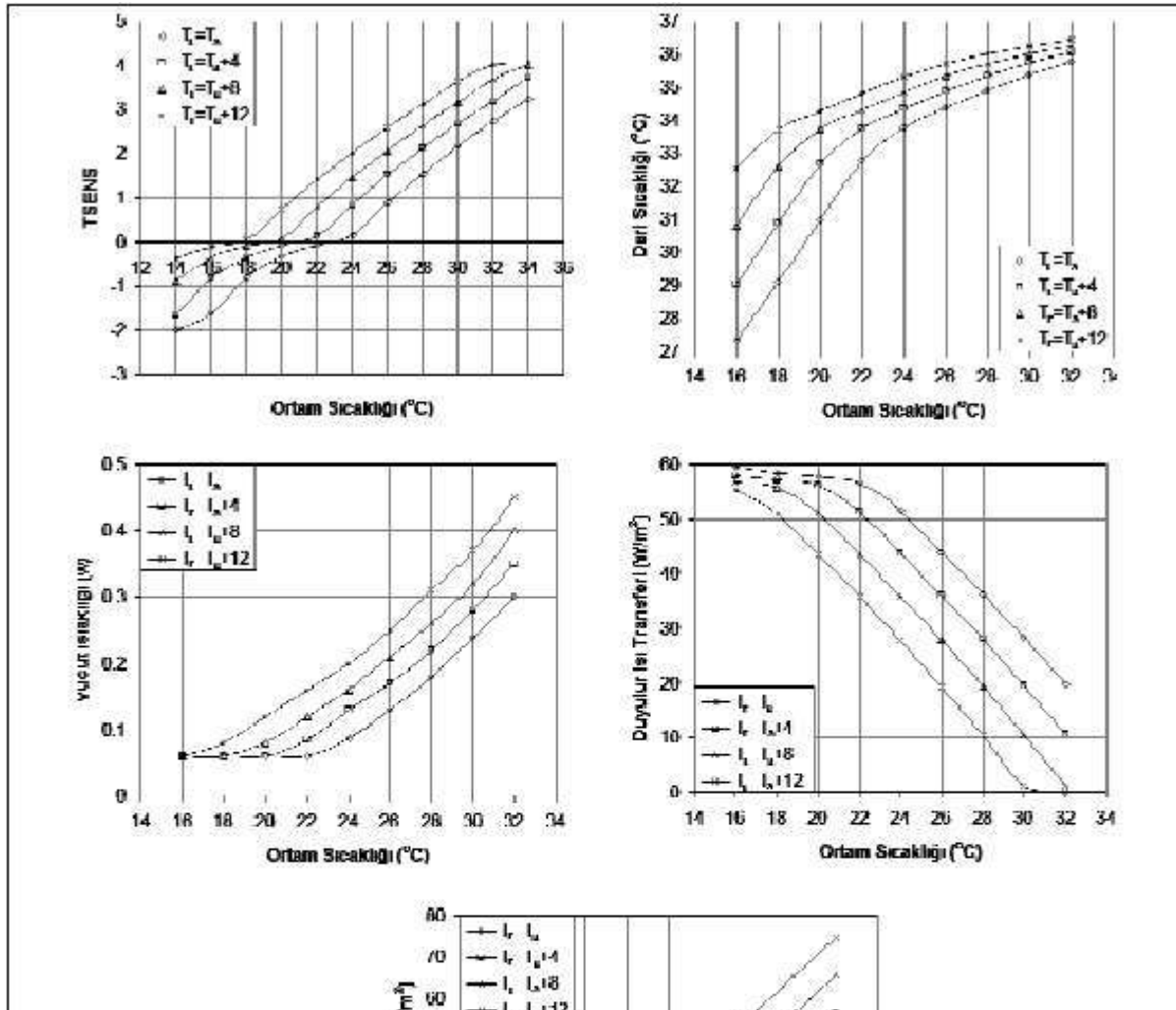
Şekil 2. Çeşitli ortam sıcaklıklarında aktivite düzeyinin konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri (%50 BN, $T_r=T_a$).

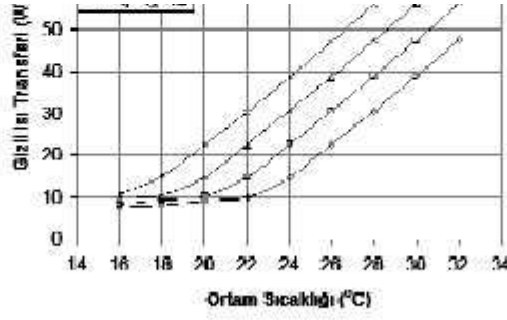
operatif sıcaklığın artmasına bağlı olarak deri sıcaklığı yükselmektedir. Yüksek ortalama ışı -
nım sıcaklıklarında deri sıcaklığı ile operatif sı -
caklık arasındaki farkın azalmasına bağlı ola -
rak deriden olan duyulur ısı kaybı azalmakta -
dır. Artan ortalama ışı nım sıcaklığı ile vücut

ıslaklığının yükseldiği ve dolayısıyla gizli ısı -
transferi miktarının arttığı yine grafiklerden
açıkça tespit edilebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bulgularından görüldüğü üzere, kullanılan mo -





Şekil 3. Çeşitli ortam sıcaklıklarında ortalama ışınım sıcaklığının konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri ($M=70 \text{ W/m}^2$, %50BN).

del vasıtasıyla oluşturulan simülasyon ile de-
şik çevresel ve kişisel parametrelerin konfor
algıları ve kişinin ısı tepkileri üzerine etkisi
tespit edilebilmektedir. Ortam nemi, kişinin ak-
tivite durumu ve ortalama ışınım sıcaklığının
kişinin konfor algılarını önemi derecede etkile-

diği açıktır.

Yüksek ortam bağıl nemi, konfor şartlarının
sağlandığı sıcaklıklarda çok fazla etkin gözük-
memesine rağmen konfor sınırlarının aşıldığı
sıcaklıklarda yüksek deri ıslaklığı nedeni ile

dikkat edilmesi gerekli bir parametredir. Konfor
sınırları içindeki sıcaklıklarda da %70'in üze-
rindeki bağıl nemin solunum rahatsızlıkları ver-
diği ve iklimlendirilen ortamın bina kabuğunda
yoğuşma nedeni ile çeşitli bozulmaların ya-
şandığı da bir gerçektir.

Bir ortam iklimlendirilirken göz önüne alınması
gerekli önemli olan parametrelerden biri de or-
tamda bulunanların aktivite düzeyidir. Aktivite dü-
zeyine bağlı olarak kişinin enerji üretimi konfor
algılarını ve ısı tepkilerini önemli derecede etki-
lemektedir. Artan aktivite düzeyi ile istenilen iç-or-
tam sıcaklığı düşmektedir.

İklimlendirilen ortamda sıcak yüzeylerin bulu-
nup bulunmadığı veya yapı bileşenlerinin iç
yüzey sıcaklığının dış ortam şartlarından na-
sıl etkilendiği de ortam şartları belirlenirken
mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bulgulardan
görüleceği üzere artan ortalama ışınım sıcak-
lığı konfor algılarını önemli derecede etkile-
mektedir.

SEMBOLLER

A_D : DuBois yüzey alanı (m^2)
 $c_{p,b}$: Vücudün özgül ısısı (kJ/kg.K)
 $c_{p,bl}$: Kanın özgül ısısı (kJ/kg.K)
 $CSIG_{cr}$: Kordan gelen soğuk sinyal
 $CSIG_{sk}$: Deriden gelen soğuk sinyal
 E_{max} : Maksimum buharlaşma ile ısı transferi
(W/m^2)
 F : Terleme ile olan buharlaşma ısı kaybı

P_a : Ortam havasının su buharı basıncı
(kPa)
 $P_{sk,s}$: Derideki su buharı basıncı (kPa)
 $Q_{cr,sk}$: Kordan deriye olan toplam ısı transferi
(W/m^2)
 $Q_{sk,duy}$: Deriden toplam duyulur ısı transferi
(W/m^2)
 $Q_{sk,g}$: Deriden toplam buharlaşma kaybı
(W/m^2)
 $Q_{sk,iş}$: Deriden ışınım ile olan ısı transferi
(W/m^2)
 $Q_{sk,taş}$: Deriden taşınım ile olan ısı transferi
(W/m^2)
 $Q_{sol,duy}$: Solunum ile olan taşınım ile ısı transferi
(W/m^2)
 $Q_{sol,g}$: Solunumla olan buharlaşma ile ısı geçişi
(W/m^2)
 $R_{e,t}$: Toplam ıslak direnç ($\text{m}^2\text{kPa/W}$)
 R_t : Toplam kuru direnç ($\text{m}^2\text{°C/W}$)
 S_{cr} : Korda depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
 S_{sk} : Deride depolanan ısı enerjisi (W/m^2)
 t : Zaman, (s)
 T_a : Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 T_b : Vücut ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{bc} : Buharlaşma ile denetim bölgesinin alt
sınır sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{bh} : Buharlaşma ile denetim bölgesinin üst
sınır sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{b,n}$: Vücut ortalama nötr sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 T_c : Kor tabakası sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

L_{rsw} : Titreme ile olan buharlaşma ısı kayıpları (W/m²)
 h : Bileşik ısı geçiş katsayısı (W/m²K)
 h_c : Taşınım ile ısı geçiş katsayısı (W/m²K)
 h_{fg} : Suyun gizli buharlaşma ısısı (kg/s.mT²)
 h_r : Işınım ile ısı geçiş katsayısı
 K : İç vücut ile deri arasındaki etkin iletim sayısı (W/m²K)
 M : Toplam metabolik ısı (W/m²)
 M_{shiv} : Titreme ile üretilen ısı (W/m²)
 m : Vücut kütlesi (kg)
 m_{bl} : Kan akışı debisi (kg/m².s)
 m_{rsw} : Birim zamanda üretilen ter (kg/m².s)

t_{cr} : Kor tabakası sıcaklığı (°C)
 $T_{cr,n}$: Kor tabakası nötr sıcaklığı (°C)
 t_o : Operatif sıcaklık (°C)
 T_r : Ortalama ışınım sıcaklığı (°C)
 T_{sk} : Deri tabakasının sıcaklığı (°C)
 $t_{sk,n}$: Deri tabakası nötr sıcaklığı (°C)
 TSENS: Isıl duyum
 w : Deri ıslaklığı
 W : Yapılan iş (W/m²)
 $WSIG_b$: Vücuttan gelen ılık sinyal
 $WSIG_{cr}$: Kordan gelen ılık sinyal
 $WSIG_{sk}$: Deriden gelen ılık sinyal
 a : Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi
 hev : Buharlaşma verim

70
2005

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 88,

KAYNAKLAR

- ASHRAE Handbook – Fundamentals, chapter 8. Physiological Principles and Thermal Comfort. ASHRAE: Atlanta; 1993.
- Berglund L.G., Comfort and humidity. ASHRAE Journal, August 1998: 35-41.
- Butera, F.M., Chapter – 3 Principles of Thermal Comfort, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2, 39 – 66, 1998.
- Cengel Y.A. Heat Transfer a Practical Approach, McGraw-Hill; 1998, p. 699 – 794.
- Fountain M.C., Arens E., Xu T., Bauman F.S., Oguru M., An Investigation of thermal comfort at high humidities. ASHRAE Transactions 1999; 94-103.
- Havenith, G., Holmer, I. and Parsons, K., Personal Factors in Thermal Comfort Assessment: Clothing Properties and Metabolic Heat Production, Energy and Buildings, 34, 581 – 591, 2002.
- Holz, R., Hourigan, A., Sloop, R., Monkman, P. and Krarti, M., Effects of Standard Energy Conserving Measures on Thermal Comfort, Building and Environment, 32(1), 31 – 43, 1997.
- McCullough E.A., Jones B.W., Tamura T. A data base for determining the evaporative resistance of clothing. ASHRAE Transactions 1989; 95(2): 316 – 328.
- McQuiston, F.C. and Parker, J.D., Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design, pp.742, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- Mohamed, S. and Srinavin, K., Thermal Environment and Construction Workers' Productivity: Some Evidence from Thailand, Building Environment, 38, 339 – 345, 2003.
- Toftum J., Fanger P.O., Air humidity requirements for human comfort. ASHRAE Trans. 1999; 641-647.
- Toftum J., Jorgensen A.S., Fanger P.O., Upper limits for air humidity to preventing warm respiratory discomfort, Energy and Buildings, 28, 15 – 23, 1998.
- Yang K.H., Su C.H. An approach to building energy savings using the PMV index. Building Environment 1997; 32(1): 25 – 30.
- Yiğit, A., Atmaca, İ. Bağıl nemin ısı konfor üzerine etkisinin incelenmesi. TTMD VI. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu 2004, İstanbul, Türkiye.
- Yiğit, A., Combining Thermal Comfort Models, ASHRAE Transactions, 105(1), 149 – 158, 1999.
- Olesen, B.W. and Parsons K.C., Introduction to Thermal Comfort Standards and to the Proposed New Version of EN ISO 7730, Energy and Buildings, 34, 537 – 548, 2002.
- Sakoi T., Mochida T., Horikoshi T., Ishii J. A proposal of evaluation method for configuration factor on human body. 8th International Conference on Air Distribution in Rooms 2002, Copenhagen, Denmark.
- Sorensen D.N. Radiation between segments of the seated human body. 8th International Conference on Air Distribution in Rooms 2002, Copenhagen, Denmark.
- Srinavin, K. and Mohamed, S., Thermal Environment and Construction Workers' Productivity: Some Evidence from Thailand, Building Environment, 38, 339 – 345, 2003.

- Monamed, S. and Srinavin, K., 'Thermal Environment effects on Construction Workers' 1999.

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 88, 2005

71