

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 ekonomikliğı ve güvenilirliğinin yanında hacimde çalışan veya ikamet edenler için ısı konforunun sağlanması da konuyla ilgili mühendislerin ilgi alanına girmektedir. Isıl konfor şüphesiz ki iş verimini ve üretkenliğı etkileyen önemli etkenlerden biridir. Isıl konfor, insanın boyutları, yaşı, cinsiyeti gibi bir çok parametreye bağılı olsa bile en genel anlamda ısı konforu etkileyen parametreleri kişisel ve çevresel parametreler olarak sınıflandırabiliriz. Ortam sıcaklığı, ortam bağılı 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 bağılı 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 bağılı nemi, metabolik aktivite düzeyi ve ortalama ışınım sıcaklığı için vücutun 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 değışkenlik 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 bağılı olarak değışik 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). Kişiyeye göre değışimler, yaş, ortama uyum sağlama, cinsiyet, hava akımı (cereyan) ve asimetrik ısı ışınım gibi detay noktalar dışında konfora etki eden 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

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

** Prof. Dr., Uludağ Üniversitesi.

- Ortam sıcaklığı ,
 - Ortam bağıl nemi ,
 - Ortamdaki hava hızı ,
 - Ortamdaki çeşitli yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak 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 bulunulan çevreye atılır. Bulunulan ortamın konforlu hissedilmesi için vücutta üretilen enerjinin vücuttan bulunulan 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 duvarları yüksek güneş ışını

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 ısıtılmış 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 bunun değişimi birçok kaynakta verilmektedir (ASHRAE, 1993; McCullough vd., 1995; Havenith vd., 2002). Genellikle yazlık hafif giyimde ısı direnci 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 enerji 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 aktivitenin veya işin şekline göre metabolik enerji üretimini veren tabloların kullanımıdır. İkinci metotta kalbin atış sayısı ile üretilen metabolik ısı enerjisi arasındaki lineer ilişkiden yararlanılır. Üçüncü yöntem direkt ve dolaylı olmak üzere

ışınım özelliklerini tahmin etmeye çalışmıştır. Benzer olarak Sakoi vd. (2002) da görüş faktörünün tahmini için bir metot önermiş ve çeşitli diyagramlar sunmuştur. Butera (1998), ısı konfora etki eden faktörlerle vücut ve çevresi arasındaki ısı ve kütle transferinde kullanılan denklemleri detaylı olarak ele almış, çe

re ikiye ayrılır. Direkt yöntemde üretilen ısı enerjisi kalorimetre ile ölçülürken, dolaylı yöntemde kişinin oksijen tüketimi oranından 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 gözlenmiştir. Toftum ve Fanger (1999), konfor bölgeleri için üst nemlilik sınırlarını belirlemişlerdir. Bu çalışmada önerilen sonuçlar, ısı iç ortam için mevcut standartlarda izin verilen maksimum nemlilik düzeyleri ile karşılaştırılmıştır. Aktivite düzeyi, giysi karakteristiği ve çevresel parametreler üzerine varolan modeller ile deri nemi belirlenmektedir. Deri nemliliği 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 insanların yüzdesini belirleyen bir model geliştirmiştir. Olesen ve Parsons (2002), çoğunlukla yerel termal konforsuzluğa yol açan cereyan (draught), dikey hava sıcaklığı farkı, zemin sıcaklığı ve ışınım asimetrisi gibi konuları da içerecek şekilde ısı konforla ilgili varolan ISO standartları ve devam eden çalışmalarını açıklamıştır. Holz vd. (1997) çeşitli konfor parametrelerinin de eşlik ettiği enerji performans simülasyon programları ile ilgilenmiştir. Yang ve Su (1997) ışınım sıcaklığının termal konfor üzerine etkisini tahmini ortalama oy (PMV) indeksi ile deneysel olarak incelemiştir. Sorensen (2002) sayısal olarak teorik çalışma ile termal manken için detaylı

şitli çevresel ve kişisel parametrelere bağlı olarak PMV değerlerini grafikler halinde sunmuştur. Srinavin ve Mohamed (2003) ile Mohamed ve Srinavin (2002) PMV indeksi ile ısı konfor ile üretkenlik arasındaki etkileşimi incelemiş, daha önce bu yönde yapılan çalışmaların sonuçlarını istatistiksel olarak inceleyerek denklemler elde etmiş ve yapılan deneyler ile elde ettikleri istatistiksel sonuçları karşılaştırmışlardır. Havenith vd (2002) ısı konfora etki eden kişisel parametreleri incelemiş, özellikle vücudun hareketli olması veya hava hareketlerinin olması durumunda giysi yalıtımının nasıl değiştiğini ele almışlardır. Bahsedilen çalışmada metabolik enerji üretiminin tayininde kullanılan metodlar da detaylı olarak açıklanmıştır. Yiğit (1999), yaptığı çalışmada vücudu 16 parçaya ayrılarak iki boyutlu bir simülasyon hazırlamış ve çeşitli giyim durumları için vücuttan olan ısı kayıpları ile vücut parçası sıcaklıklarını tahmin etmeye çalışmıştır.

Bu çalışmada, geçici rejim enerji dengesi modeli (Gagge modeli) ile vücut ve ortam arasındaki ısı etkileşim değerlendirilmiştir. Çeşitli çevresel ve kişisel parametrelere bağlı olarak ısı konforun tespitini ısı duyumu (TSENS) indeksi ile tespit eden bir matematiksel model ve simülasyon oluşturulmuştur. Çalışmada, çevresel parametrelerden ortam hava hızı ve kişisel parametrelerden kişinin giyinme durumu sabit olarak alınmış, çeşitli ortam sıcaklıkları için farklı ortam bağıl neminde, metabolik aktivite düzeyinde ve ortalama ışınım sıcaklığında 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 sıcaklığı, bağıl nemi ve ortalama ışınım sıcaklığı ile metabolik aktivite düzeyinin konfor algılarını nasıl etkilediğini göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

2. MODEL ve SİMÜLASYON

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

liştirilen 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 silindirik ile dışta deri tabakasını simgeleyen ikinci bir silindirik oluşur. Burada içteki silindirik kor dıştaki silindirik deri tabakası olarak adlandırılacaktır. Bu iki tabaka için enerji dengesi yazılırsa ve birim zamanda depolanan ısı enerjisi her bir bölme için ısı kapasite ile birim zamanda sıcaklık değişiminin oranı olarak alınarak

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

İfadeye 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,

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

da sıcaklık değişiminin hesapları 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;

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

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

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

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

Deriden buharlaşma ile olan ısı kaybı ise şu şekilde hesaplanabilir.

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.

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

Deri ıslaklığı ile kor ve derinin sıcaklıkları belirlendikten sonra...

sabitler Tablo 1 'de verilmiştir.

Simülasyonda yukarıdaki sabitler belirlendikten sonra incelenecek çevresel ve kişisel parametre değerleri girilerek, belirlenen ortamda vücut kor ve deri sıcaklığı sürekli rejim şartlarını sağlayana kadar işlemlere devam edilmiştir. Sonuçlar vücut deri ve kor sıcaklığı sürekli rejime ulaşıncaya alınmıştır. Yakınsama kriteri olarak 1×10^{-5} °C alınmıştır. İşlem adımları 1 saniye aralıklar ile yapılmıştır. Hem kor hem de deri sıcaklığı bahsedilen yakınsama şartının altına düşüncü vücut rejim şartlarını yakalamış olduğundan işlemler durdurulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

ten sonra ısı kontrolünün tanımını 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 üst eşik noktalarını belirleyen sıcaklıklardan sapması olarak tanımlanabilir ve şu şekilde hesaplanmaktadır.

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

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

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

Simülasyon COMPAQ VISUAL FORTRAN 6.5 programı kullanılarak yapılmıştır. Yazılımda kullanılan

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

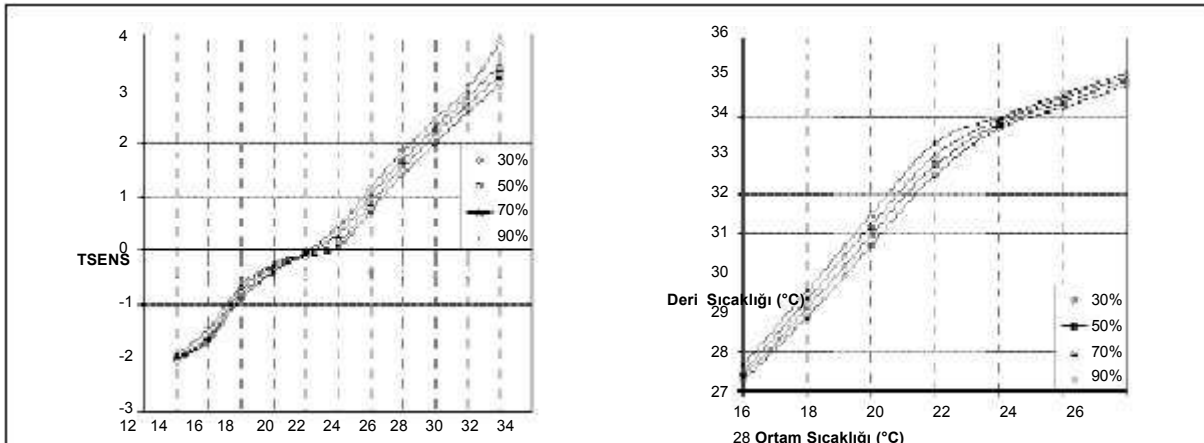
Isıl ortam bağıl neminin konfor algıları ve insanın ısı tepkileri üzerine etkisi çeşitli ortam sıcaklıkları için Şekil 1 'de sunulmuştur. Her bağıl nem kademesi için yaklaşık 22 °C ile 24 °C ortam sıcaklığı aralığında ısı duyumu indeksi TSENS değeri nötr olmaktadır. %50 bağıl nem için bu değer yaklaşık 23 °C'dir. Artan veya azalan ortam sıcaklığı ile konfor algılarının TSENS değerine bağlı olarak kötüleştiği grafikten görülebilmektedir. Artan bağıl nem ile yüksek ortam sıcaklıklarında vücut deri sıcaklığının nötr değer olan 33.7 °C'den önemli sapmalar gerçekleştirdiği mevcut grafikten görülebilmektedir. Özellikle yüksek ortam sı

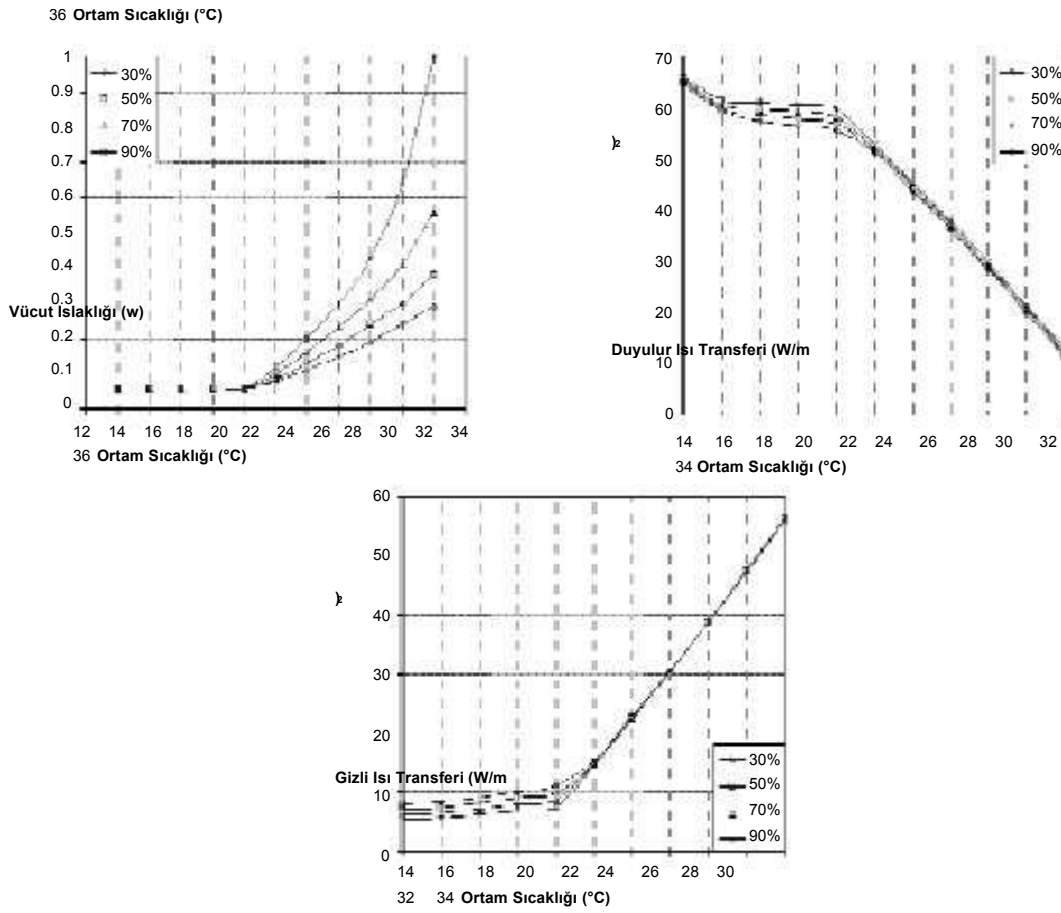
Tablo1. Simülasyonda kullanılan sabit değerler.

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	Işınım ile 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	-

caklıklarında artan bağıl nem ile deri ıslaklığının rahat edici düzeylere yükseldiği tespit edilebilmektedir. 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



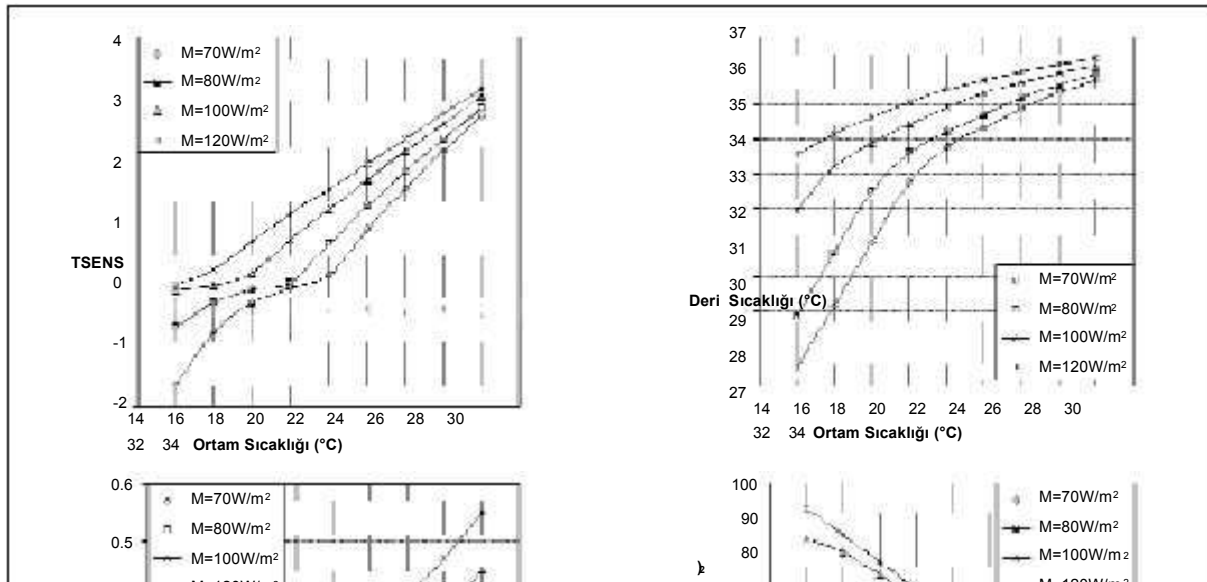


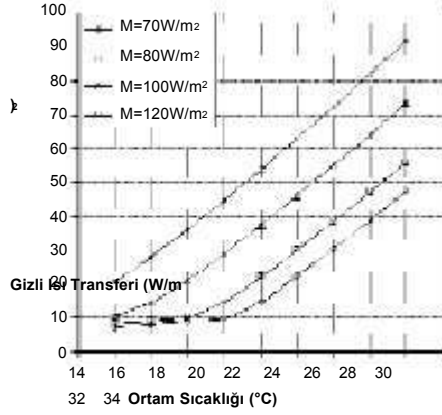
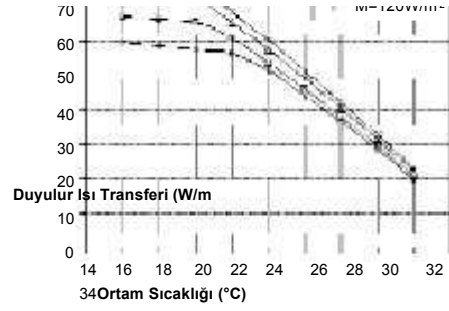
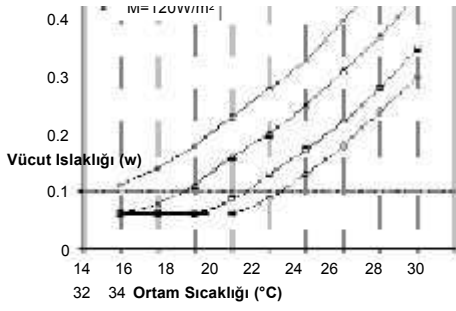
Şekil 1. Çeşitli ortam sıcaklıklarında ortam bağıl neminin konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri ($M=70 \text{ W/m}^2$, $T_r=T_a$).

gibi gözükse de yüksek ortam nemi özellikle yüksek ortam sıcaklıklarında yüksek deri ıslaklığı nedeniyle konforsuzluğa yol açmaktadır.

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

miktarın bağılı olarak önemli değişimler göstermektedir. 70 W/m^2 gibi düşük aktivite düzeyi için $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de *TSENS* değeri nötr olurken, 120 W/m^2 gibi yüksek bir aktivite düzeyinde nötr *TSENS* değeri yaklaşık $16 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de gerçekleşmektedir. Aynı ortam sıcaklığında, ısı dengeyi sağlayabilmek için, artan aktivite düzeyi ile deri sıcaklığının ve dolayısıyla deriden olan duyulur ısı kayıplarının ve yine artan aktivite düzeyi ile de

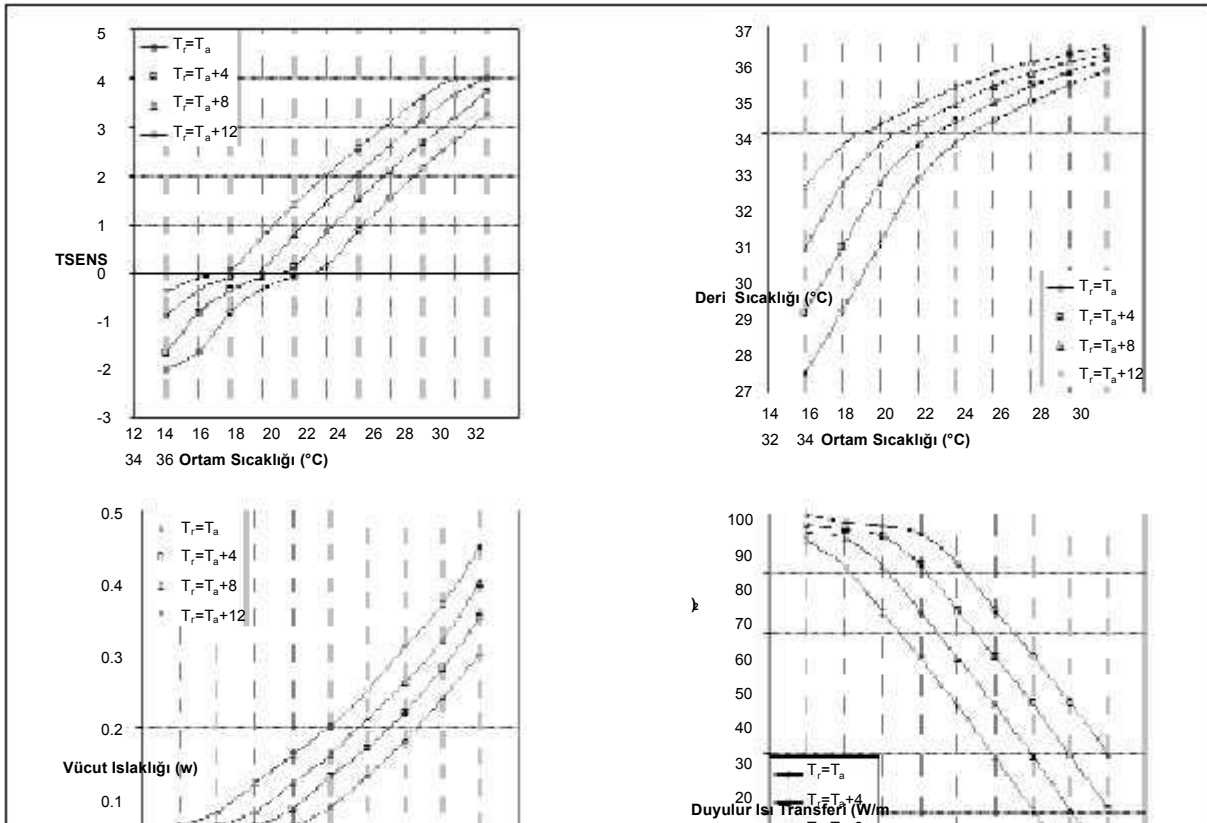


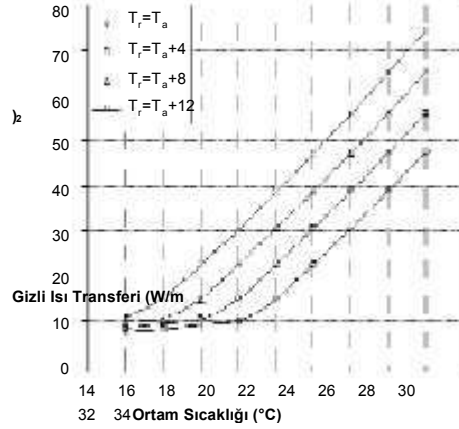
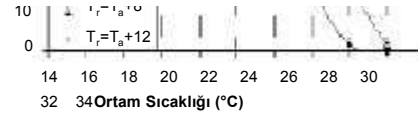
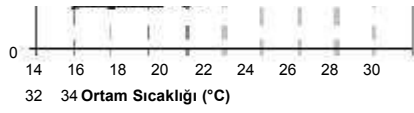


Şekil 2. Çeşitli ortam sıcaklıklarında aktivite düzeyinin konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri (%50 BN, $T_r = T_a$).

ri 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 gözükmektedir.

Çeşitli ortam sıcaklıklarında ortalama ışınım sıcaklığının konfor algıları, deri sıcaklığı ve ıslaklığı ile deriden olan ısı kayıpları üzerine etkileri Şekil 3'te gösterilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere özellikle yüksek güneş ışınımına maruz yapı bileşenleri ve





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).

ya 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 $23 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de nötr *TSENS* değeri elde edilirken, eğer ortalama ışınım sıcaklığı ortam sıcaklığından $12 \text{ }^\circ\text{C}$ yüksek ve yaklaşık $35 \text{ }^\circ\text{C}$ ise *TSENS* değeri +2'ye yaklaşmaktadır. Grafikten görüleceği üzere eğer ortam ışınım sıcaklığı yaklaşık $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ise, yani ortam sıcaklığından $12 \text{ }^\circ\text{C}$ yüksek ise nötr *TSENS* değeri için ortam sıcaklığının $18 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 operatif sıcaklığın artmasına bağlı olarak deri sıcaklığı yükselmektedir. Yüksek ortalama ışınım sıcaklıklarında deri sıcaklığı ile operatif sıcaklık arasındaki farkın azalmasına bağlı olarak deriden olan duyulur ısı kaybı azalmaktadır. Artan ortalama ışınım sıcaklığı ile vücut ıslaklığının yükseldiği ve dolayısıyla gizli ısı transferi miktarının arttığı yine grafiklerden açıkça tespit edilebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bulgularından görüldüğü üzere, kullanılan model ve sınırlarıyla oluşturulan simülasyon ile değişik çevresel ve kişisel parametrelerin konfor algıları ve kişinin ısı tepkileri üzerine etkisi tespit edilebilmektedir. Ortam nemi, kişinin aktivite durumu ve ortalama ışınım sıcaklığının kişinin konfor algılarını önemli derecede etkilediği açıktır.

rak kişinin enerji üretimi konfor algılarını ve ısı tepkilerini önemli derecede etkilemektedir. Artan aktivite düzeyi ile istenilen iç ortam sıcaklığı düşmektedir.

İklimlendirilen ortamda sıcak yüzeylerin bulunup bulunmadığı veya yapı bileşenlerinin iç yüzey sıcaklığının dış ortam şartlarından nasıl etkilendiği de ortam şartları belirlenirken mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bulgulardan görüleceği üzere artan ortalama ışınım sıcaklığı konfor algılarını önemli derecede etkilemektedir.

SEMBOLLER

- A_D : DuBois yüzey alanı (m^2)
- $c_{p,b}$: Vücudun 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)
- E_{rsw} : Terleme ile olan buharlaşma ısı kaybı (W/m^2)
- h : Bileşik ısı geçiş katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- h_c : Taşınım ile ısı geçiş katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- h_{fg} : Suyun gizli buharlaşma ısısı (kg/s.m^2)
- h_r : Işınım ile ısı geçiş katsayısı
- K : İç vücut ile deri arasındaki etkin iletim sayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- M : Toplam metabolik ısı (W/m^2)
- M_{shiv} : Titreme ile üretilen ısı (W/m^2)
- m : Vücut kütlesi (kg)
- m_{bl} : Kan akışı debisi ($\text{kg/m}^2\text{s}$)
- m_{rsw} : Birim zamanda üretilen ter ($\text{kg/m}^2\text{s}$)
- Pa : Ortam havasının su buharı basıncı (kPa)

Yüksek ortam bağıl nemi, konfor şartlarının sağlan-
dığı sıcaklıklarda çok fazla etkin gözükmemesine
rağmen konfor sınırlarının aşıldığı sıcaklıklarda yük-
sek deri ıslaklığı nedeni ile dikkat edilmesi gerekli bir
parametredir. Konfor sınırları içindeki sıcaklıklarda
da %70 in üzerindeki bağıl nemin solunum rahatsız-
lıkları verdiği ve iklimlendirilen ortamın bina kabuğun-
da yoğuşma nedeni ile çeşitli bozulmaların yaşan-
dığı da bir gerçektir.

Bir ortam iklimlendirilirken göz önüne alınması gerek-
li önemli olan parametrelerden biri de ortamda bulu-
nanların aktivite düzeyidir. Aktivite düzeyine bağlı ola-

- $P_{sk,s}$: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 trans-
feri (W/m^2)
- $Q_{sol,g}$:Solunumla olan buharlaşma ile ısı geçişi (W/m^2)
- $R_{e,t}$:Toplam ıslak direnç (m^2kPa/W)
- R_t :Toplam kuru direnç (m^2C/W)

55 TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 99, 200 7

- 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 (°C)
- T_b :Vücut ortalama sıcaklığı (°C)
- T_{bc} :Buharlaşma ile denetim bölgesinin alt sınır sıcaklığı (°C)
- T_{bh} :Buharlaşma ile denetim bölgesinin üst sınır sıcaklığı (°C)
- $T_{b,n}$:Vücut ortalama nötr sıcaklığı (°C)
- 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)
- T_{SENS} :Isıl duyum
- w :Deri ıslaklığı
- W :Yapılan iş (W/m^2)
- $WSIG_b$:Vücuttan gelen ılık sinyal
- $WSIG_{cr}$:Kordan gelen ılık sinyal
- $WSIG_{sk}$:Deriden gelen ılık sinyal
- a :Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi
- h_{ev} :Buharlaşma verim

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., Ogu-
ru M.. *An Investigation of Thermal Comfort at High*

- 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 Effects on Construction Workers' Productivity*, Work Study, 51(6), 297 – 302, 2002.
- 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 and 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 and Environment 1997; 32(1): 25 – 30.

- ... 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

- Yiğit, A., Atmaca, İ. *Bağıl nemin ısı konfor üzerine etkisinin incelenmesi* . TTMD VI. Uluslararası Yapı - da Tesisat Teknolojisi Sempozyumu 2004, İstanbul, Türkiye.
- Yiğit, A., *Combining Thermal Comfort Models*, ASHRAE Transactions, 105(1), 149 – 158, 1999.