

ISIL KONFOR PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Ömer KAYNAKLI, Recep YAMANKARADENİZ *

Bir ortamın ısı konfor şartları, genel olarak ortam sıcaklığı, nemi, hava hızı, ortalama ışınım sıcaklığı, aktivite ve giysi olmak üzere toplam altı parametreyle belirlenmektedir. Bu çalışmada, ısı konforun sağlanması için söz konusu parametrelerin optimum değerleri araştırılmıştır. Vücut ile çevre arasında kurulan ısı dengesi, ısı konforun sağlanması için verilen gerekli deri sıcaklığı ve ter kayıpları referans alınarak, ısı konfor şartlarının optimum değerleri bulunmuştur. Dinlenme durumunda hafif giysili bir insan için optimum ortam sıcaklığı 24,3°C olarak bulunmuş ve ortamdaki bağıl nemin artmasıyla bu sıcaklığın azalması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler : Isıl konfor, ısı konfor parametreleri, optimizasyon

In generally, thermal comfort conditions are determined by using six factors which are air temperature, humidity, air velocity, mean radiant temperature, activity and clothing. In this study, optimum values for these factors are investigated to provide thermal comfort. Optimum values of thermal comfort factors are determined with reference to required skin temperature, sweating heat loss and heat balance between body and environment. In resting and light clothing position of a person, the optimum ambient temperature is found 24,3°C and it's concluded that, this temperature decreases with increasing relative humidity.

Keywords: Thermal comfort, thermal comfort factors, optimization

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

GİRİŞ

Isıl konfor, bir ortamdan duyulan ısı memnuniyeti ifade eder ve his ve duygular ile ilgili bir kavramdır. Bu nedenle, konfor algılarını fizyolojik davranışlara bağlamada deneysel denklemlere başvurulur. Vücuttaki fizyolojik davranışları ve vücuttan duyulan ve gizli ısı geçiş mekanizmalarını ifade etmede yaygın olarak iki model kullanılır. İlki “Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli”dir ve vücudu bütün olarak ele alır. Sürekli rejimde vücutta üretilen ısı enerjinin ısı kaybına eşit olduğunu dolayısıyla sıcaklığın zamana göre sabit kaldığını kabul eder. Diğeri “Anlık Enerji Dengesi Modeli”dir ve iç içe iki silindir şeklinde, vücudu iç bölme ve deri tabakası olarak iki kısımda inceler. İki bölme arasında kan akışı yoluyla ve direkt temasla ısı geçişi olduğunu ve birim zamanda depolanan enerjinin bu bölmelerin sıcaklıklarını değiştirdiğini kabul eder [2].

Isıl konfor şartlarını etkileyen parametreler çevresel ve kişisel olmak üzere temel olarak iki grupta incelenebilir. Isıl konforu etkileyen çevresel parametreler ortamın sıcaklığı, nemi, hava hareketleri

ve insanı çevreleyen yüzeylerin ortalama ışıyım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler arasında ise kişinin hareketlilik düzeyi (aktivitesi) ve giysi durumu sayılabilir.

Bu çalışmada, vücudun ısı dengesini veren denklemler kullanılarak ve bunun yanında ısı konforu sağlayan deri tabakası sıcaklığı ($t_{sk,req}$), terlemeyle olan ısı kaybı ($E_{rsw,req}$) değerlerinden faydalanılarak ısı konforu etkileyen kişisel ve çevresel toplam altı parametrenin optimum değerleri bulunmuştur.

MATEMATİKSEL MODEL

Daha önce de bahsedildiği gibi ısı konfor uygulamalarında sürekli rejim enerji dengesi modeli ve iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli olmak üzere yaygın olarak iki model kullanılmaktadır. Modeller hakkında geniş bilgi, ilgili referanslarda detaylı olarak yer almaktadır. Bu nedenle bu kısımda, modeller hakkında özet bilgi verilecek ve çalışmanın daha rahat anlaşılması açısından gerekli görülen bazı ifadeler ve bağıntılara değinilecektir.

Sürekli Rejim Enerji Dengesi Modeli

Bu modelde, sürekli rejimde vücutta üretilen ısı enerjisiyle vücuttan çevreye olan ısı kayıplarının eşit olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla vücudun enerji dengesi, 1 numaralı denklem ile tanımlanabilir [2].

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

burada, M, vücudun metabolik enerji üretimi; W, yapılan dış iş; Q_{sk} , giyinik vücuttan olan toplam ısı kaybı; Q_{res} , solunum yoluyla olan toplam ısı kaybını; C, R ve E_{sk} sırasıyla deriden olan taşınım, ışıyım ve buharlaşma kayıplarını, C_{res} ve E_{res} sırasıyla solunumla olan duyulur ve gizli ısı kayıplarını göstermektedir. Isıl konforun sağlanması için vücut ile çevre arasında ısı dengesinin sağlanması gerekmektedir. Yani, vücutta metabolik aktivitelerle (tüm kimyasal tepkimelerle) üretilen ısı enerjisiyle çevreye olan ısı kayıplarının birbirine eşit olması veya bu farkın kabul edilebilir mertebede olması gerekmektedir. Ancak 1 numaralı denklem ile verilen vücudun enerji dengesini gösteren ifadenin sağ ve sol taraflarının birbirine eşit veya aralarındaki farkın kabul edilebilir olduğu her durumda ısı konfor sağlanmış demek değildir. Isıl konfor için bu gerekli fakat yeterli bir şart değildir. Çünkü vücudun ısı dengesinin sağlanabileceği çok geniş çevre şartları vardır. Bu geniş çevre şartlarında dar bir bölgede ısı konfor sağlanabilmektedir. Belirli bir metabolik ısı üretiminde ısı konforu sağlayan vücudun deri bölgesi sıcaklığı ve terleme ile oluşan ısı kaybı miktarı aşağıda verilen ampirik bağıntılarla bulunabilmektedir [2].

$$t_{sk,req} = 35,7 - 0,0275 (M - W) \quad (2)$$

$$E_{rsw,req} = 0,42 (M - W - 58,15) \quad (3)$$

Bu ifadeler, vücudun ısı dengesinden uzak olmadığı bir durumda ısı konforun sağlandığı deri sıcaklığı ve terleme kayıplarını vermektedir. Vücuttan olan duyulur ısı (taşınım ve ışıyım) kayıpları,

$$(C + R) = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + \frac{1}{(h_c + h_r) f_{cl}}} \quad (4)$$

denklemden bulunabilir. Burada, t_{sk} , deri sıcaklığı; R_{cl} , giysinin ısı direnci; f_{cl} , giysi alan faktörüdür. Ortalama ışınım ve çevre havası sıcaklıklarını içine alan operatif sıcaklık (t_o) [2] ve giysi alan faktörü [7],

$$t_o = \frac{h_r t_r^* + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (5)$$

$$f_{cl} = 1,0 + 0,3 I_{cl} \quad (6)$$

olup, burada h_c ve h_r sırasıyla ısı taşınım ve ışınım katsayıları, t_a ve t_r^* sırasıyla ortam ve ortalama ışınım sıcaklıklarıdır. Isı taşınım katsayısı için aşağıda verilen iki ifadeden büyük olanının kullanılması tavsiye edilmektedir. İkinci ifade, vücut hareketlerinden kaynaklanan taşınım katsayısıdır [2,4].

$$h_c = 8,6 V^{0,78} \quad (7)$$

$$h_c = 5,66(M/58,15 - 0,85)^{0,39} \quad (8)$$

$$h_r = 4 \epsilon \sigma (A_r/A_b) \left[\frac{(t_{cl} + t_r^*)}{2} + 273,15 \right]^3 \quad (9)$$

burada, ϵ , giysi veya vücut yüzeyinin ortalama yayma katsayısı; s , Stefan-Boltzman sabiti; A_r , vücudun etkin ışınım alanı; A_b , vücut yüzey alanı; t_{cl} , ortalama giysi yüzey sıcaklığıdır. ϵ 'nin normal koşullarda (özel yansıtıcı malzemeler veya yüksek sıcaklıklar söz konusu değilse) 0,95, (A_r / A_b) oranının ayakta duran bir kişi için 0,73 alınması tavsiye edilmektedir [2]. Ortalama giysi yüzey sıcaklığı ise,

$$t_{cl} = 35,7 - 0,0275(M - W) - R_{cl} [(M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 0,0173M(5,87 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a)] \quad (10)$$

denklemden hesaplanabilir. Solunum kayıpları ise;

$$Q_{res} = \dot{m}_{res} (c_{p,a} (t_{ex} - t_a) + h_{fg} (W_{ex} - W_a)) / A_h \quad (11)$$

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

Anlık Enerji Dengesi Modeli

Bu model, insan vücudunu iç içe iki silindir olarak ele alır. İç silindir vücudun içini (iskelet, kaslar, iç organlar) dış silindir ise deri tabakasını simgelemektedir. Bu iki tabaka arasında direkt temasla ve kan akışı yoluyla ısı geçişi söz konusudur ve bu ısı geçişi vücudun denetim mekanizmalarıyla kontrol edilebilmektedir. İç vücut ve deri tabakası arasında birim yüzey alan başına düşen kan akışı [2]:

$$\dot{m}_{bl} = \left[\left(6,3 + 200(t_{cr} - 36,8) \right) / \left(1 + 0,5(33,7 - t_{sk}) \right) \right] / 3600 \quad (12)$$

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

$$\alpha = 0,0418 + 0,745 / (3600 \dot{m}_{bl} + 0,585) \quad (13)$$

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

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dr} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} + (1 - w_{rsw}) 0,06 E_{max} \quad (14)$$

Terleme sonucu olan buharlaşma ile ısı kaybı (E_{rsw}) üretilen ter (\dot{m}_{rsw}) ile doğru orantılıdır. w_{rsw} teri buharlaştırmak için vücudun ıslak olması gereken bölümüdür. Maksimum buharlaşma potansiyelini gösteren E_{max} , derinin tamamının ıslak olması ($w = 1$) durumunda gerçekleşir.

$$E_{max} = \frac{P_{sk,s} - P_a}{R_{e,cl} + \frac{1}{f_{cl} \cdot h_c}} \quad (15)$$

Giysinin buharlaşmayla olan ısı geçişine göstermiş olduğu direnç [2,8]:

$$R_{e,cl} = R_{cl} / (i_{cl} LR) \quad (16)$$

olup, burada i_{cl} , giysinin buhar geçirgenlik verimi; LR, Lewis oranı olup buharlaşma ile ısı geçiş katsayısının (h_c) taşınımla ısı geçiş katsayısına (h_c) oranıdır. McCullough ve ark. (1989) iç ortamlarda genelde kullanılan giysiler için $i_{cl} = 0,34$ değerini ortalama bir değer olarak önermişlerdir. Lewis oranı için aşağıda verilen ifade kullanılmıştır [4]:

$$LR = 15,15(t_{sk} + 273,15) / 273,15 \quad (17)$$

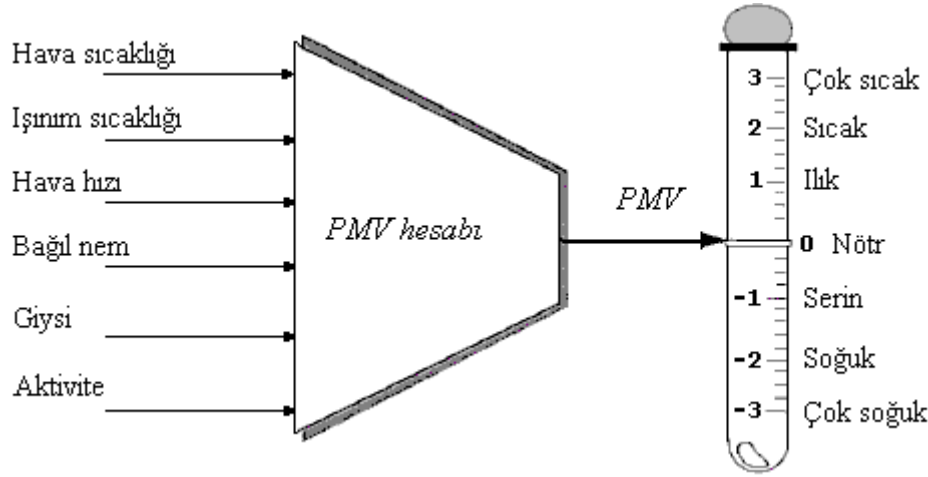
Maksimum buharlaşma potansiyeli E_{max} ve ter üretimi E_{rsw} bulunduğu zaman, vücudun toplam deri ıslaklığı w :

$$w = 0,06 + 0,94 \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (18)$$

denklemlerle bulunabilir. Belirli bir çevresel şarta sahip bir ortama girildiğinde, vücudun denetim mekanizmalarının nasıl tepki vereceğini ve vücuttan olan toplam ısı kayıplarını bulmak biraz karmaşık ve zordur. Bu nedenle, arzu edilirse vücuttan olan toplam ısı kaybını veren basitleştirilmiş (indirgenmiş) ifadelerle başvurulabilir. Bu ifadelerden yaygın olarak kullanılanlardan biri 19 numaralı denklem ile verilmiştir [2]. Ancak denklem vücudun ürettiği terin tamamının buharlaştığını kabul edip giysilerin nem geçirgenliğini yok saymıştır. Bu varsayım iç ortamlarda giyilen giysiler ve orta düzeyde aktiviteler için iyi bir yaklaşım sağlasa da terlemenin fazla olduğu yüksek aktivitelerde hassaslık azalmaktadır.

$$\begin{aligned} (M - W) &= R + C + E_{diff} + E_{rsw,req} + E_{res} + C_{res} \\ &= 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left((t_{cl} + 273,15)^4 - (t_r + 273,15)^4 \right) + \\ &\quad f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) + 3,05 [5,73 - 0,007(M - W) - p_a] + \\ &\quad 0,42 [(M - W) - 58,15] + 0,0173M(5,87 - p_a) + \\ &\quad 0,0014M(34 - t_a) \end{aligned} \quad (19)$$

Bu denklemde yer alan ortalama giysi yüzey sıcaklığı (t_{cl}) daha önce verilen 10 numaralı bağıntıyla bulunabilir. Bir ortamın geniş bir insan kümesi tarafından konforlu algılanıp algılanmadığı ifade etmek için kullanılan “tahmini ortalama oy” (PMV) ısıl duyum ölçeği aşağıda verilen 7 noktalı sayısal bir skalaya dayanmaktadır.



Şekil 1. Tahmini Ortalama Oy (PMV) Ölçeği [5]

PMV, verilen bir çevrede vücuttan olan gerçek ısı geçişi ile optimum konfor için gerekli ısı geçişi arasındaki farka (E_{st}) bağlı olarak 20 numaralı denklem ile ifade edilmektedir.

$$PMV = (0,303 \exp(-0,036M) + 0,028)E_{st} \quad (20)$$

SİMÜLASYON

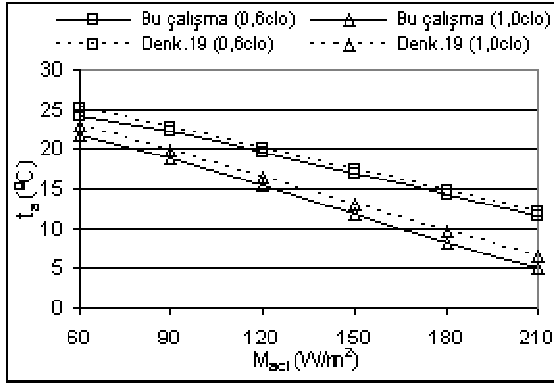
Matematiksel Model kısmında özet olarak değinilen insan vücudu ile çevre arasındaki ısı geçişini ve vücuttaki fizyolojik denetim mekanizmalarını ifade eden denklemler bilgisayar ortamında çözdürülmüştür. Çevresel şartları (sıcaklık, nem, ışınım sıcaklığı, hava hızı) belli olan bir ortamda kişinin giysi durumu ve aktivite düzeyi biliniyor ise vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları verilen denklemler yardımıyla bulunabilir. Ancak önemli olan, kişinin bu ortamı konforlu algılayıp algılamadığıdır. Vücuttan olan toplam ısı kaybı vücudun üretmiş olduğu ısıdan fazla olması durumunda vücudun deri sıcaklığı düşecektir. Eğer bu ortamda kalınmaya devam edilirse ilerleyen sürede vücut iç sıcaklığı da azalacaktır. Vücuttan olan ısı kaybı vücudun üretmiş olduğu ısıdan az olması durumunda ise vücut üzerinde ısı yük birikimi olacak ve vücut sıcaklıkları artacaktır. Sonuçta her iki durumda da kişi kendini konforsuz hissedecektir. Dolayısıyla vücut ile çevre arasında kurulacak ısı dengesi yani üretilen ısı ile kayıpların birbirine eşit olması konfor için önemli bir parametredir. Ancak çevre ile kurulan ısı dengesi ısı konfor için yeterli değildir. Bu amaçla, literatürde belirli bir aktiviteye sahip insanın konfor için gerekli deri sıcaklığı ($t_{sk,req}$) ve terleme kayıpları ($E_{rsw,req}$) verilmiştir. Çalışmamızda da bu değerler referans alınmıştır. Simülasyonun başlangıcında kişinin aktivitesi (M_{act}), giysi durumu (R_{cl} veya I_{cl}), ortam sıcaklığı (θ), bağıl nem, ortalama ışınım sıcaklığı (θ) ve hava hızı (V) değerleri girilmektedir. Program bu girdilerden hareketle $t_{sk,req}$ ve $E_{rsw,req}$ değerlerini hesaplamakta ve daha sonra vücuttan olan duyulur ($C+R$), gizli (E_{sk}) ve solunum ($C_{res} + E_{res}$) kayıplarını yani vücuttan olan toplam ısı kaybını bulmaktadır. Daha sonra 1 numaralı denklem ile verilen vücut ile çevre arasındaki ısı dengesi denkleminde yerlerine koymaktadır. Eğer denklem sağlanıyorsa program sonlanmakta, sağlanmıyorsa girdi değerlerinden biri değiştirilerek simülasyonun başına dönülmektedir. Örnek

olarak, giysi yalıtımının ısıl konfor şartlarına etkisi incelenirken, vücuttan çevreye olan ısı geçişi üretilen ısıdan fazla çıkması durumunda giysi yalıtım değeri (R_{cl}) artırılmak suretiyle ısı geçişi azaltılır. Vücuttan çevreye olan ısı geçişi üretilen ısıdan az ise bu taktirde R_{cl} azaltılarak ısı kayıpları artırılır. Bu şekilde enerji dengesini gösteren 1 numaralı eşitlik sağlanıncaya kadar iterasyona devam edilir. Bu esnada diğer bütün faktörler sabit tutulmakta sadece etkisi incelenecek olan parametre (R_{cl}) değiştirilmektedir. Böylece belli bir aktivitede ve şartları belirli olan bir ortamda, ısıl konfor için gerekli $t_{sk,req}$ $E_{rsw,req}$ ile ısı dengesini sağlayan giysi yalıtımının optimum değeri belirlenmiş olur. Bu işlemler ısıl konforla ilgili temel altı faktör için tekrarlanarak bu faktörlerin optimum değerleri tespit edilir. Simülasyonun doğruluğu 19 numaralı denklemlerle karşılaştırılarak ortaya konmuştur.

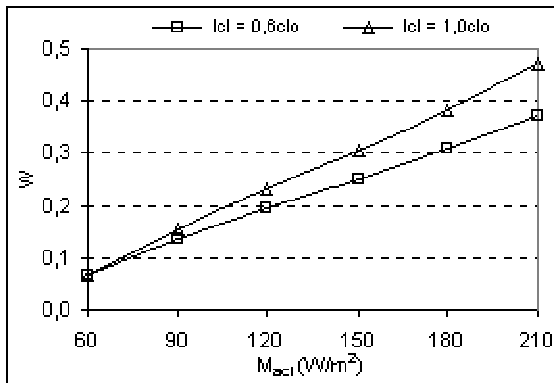
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 2.a'da $R_{cl} = 0,0930$ (m^2K)/W, $R_{e,cl} = 0,0161$ (m^2kPa)/W ($\sim 0,6$ clo) ve $R_{cl} = 0,1548$ (m^2K)/W, $R_{e,cl} = 0,0269$ (m^2kPa)/W ($\sim 1,0$ clo) olmak üzere iki farklı giysi grubu için ısıl konforu sağlayan ortam sıcaklıkları verilmiştir. Burada ortamdaki hava hızı 0,1 m/s, bağıl nem 0,5 ve ortam sıcaklığı ile ortalama ışıyım sıcaklığı birbirine eşit ($t_a = t_r$) alınmıştır. Aynı şekil üzerinde simülasyondan ve 19 numaralı indirgenmiş denklemden elde edilen sonuçlar da karşılaştırmalı olarak yer almaktadır. Görüldüğü gibi sonuçlar oldukça uyumludur. Çalışmada dinlenme durumu ile hafif idman yapan bir kişinin aktivite seviyelerini gösteren sırasıyla 1 met (~ 60 W/ m^2) ile 3,5 met (~ 210 W/ m^2) arası incelenmiştir. İnsanın hareketlilik düzeyi arttıkça vücuttan üretilen ısı da buna bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle, aktivitenin artmasıyla vücut ile çevre arasındaki ısı dengesinin korunabilmesi için vücuttan olan ısı kayıplarının da artması gerekir. Isı kayıpları doğal olarak ortam sıcaklığının azalmasıyla artmaktadır. Hafif giyinen ($\sim 0,6$ clo) bir kişi sakin oturma pozisyonundayken konfor şartları 24,3°C ortam sıcaklığında sağlanırken aktivite 2 met değerine çıktığında sıcaklık 19,7°C'ye inmektedir. Vücuttan olan ısı kayıplarını artıran bir diğer önemli parametre de giysinin ısı iletim ve buharlaşma dirençlerinin azalmasıdır. Bu nedenle, giysi yalıtımının 1clo'dan 0,6clo değerine inmesi, duyulur ve gizli ısı kayıplarını artırmakta bunun dengelenebilmesi için ise ortam sıcaklığının artırılması gerekmektedir. Dinlenme durumunda biri kişi orta kalınlıkta giysi grubu ($\sim 1,0$ clo) ile 21,7°C sıcaklığa sahip bir ortamda ısıl olarak rahat ve konforlu hissederken yazlık bir giysi ($\sim 0,6$ clo) için bu sıcaklık 24,3°C değerine çıkmaktadır.

Şekil 2.b'de, aynı şartlarda ısıl konforu sağlayan ortam sıcaklığında vücut üzerindeki deri ıslaklığının değişimi verilmiştir. 3 numaralı denklemden de görüldüğü gibi aktivite arttıkça, vücuttan çevreye olan ısı geçişinin artması için terleme kayıpları artmaktadır. Terleme kayıpları, az önce verilen çevresel ve kişisel parametrelerin sabit kalması koşuluyla ancak ter üretimi artırılarak fazlalaştırılabilir. Ter üretiminin artması ise derinin terle kaplı olduğu kısımları artırır yani vücudun ortalama deri ıslaklığı artar. Deri ıslaklığını artıran diğer bir parametre ise giysinin buharlaşmayla olan ısı geçişine karşı gösterdiği dirençtir. 3,5 met aktivitede $R_{e,cl} = 0,0161 \text{ (m}^2\text{kPa)/W}$ iken deri ıslaklığı 0,37, $R_{e,cl} = 0,0269 \text{ (m}^2\text{kPa)/W}$ iken 0,47 olmaktadır. Giysinin buharlaşmaya karşı gösterdiği direnç arttıkça, ter rahat buharlaşmamakta ve vücut üzerindeki deri ıslaklığı artmaktadır.



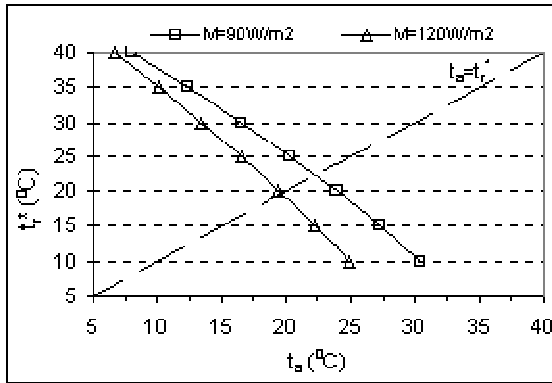
Şekil 2(a). Farklı Aktivitelere İlişkin Ortam Sıcaklıklarının Değişimi



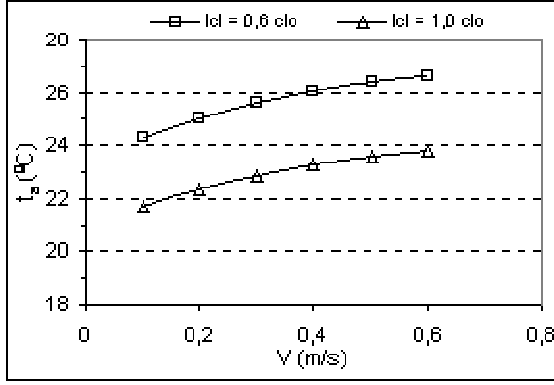
Şekil 2(b). Isıl Konforun Sağlandığı Şartlarda Deri Islaklığının Farklı Giysi Dirençlerinde Aktivite ile Değişimi

Günlük hayatta genelde kullanılan mekanlarda (ev ve ofis ortamlarında) ortalama ışıınım sıcaklığı (t_r) ile ortam sıcaklığı (t_a) arasındaki fark çok azdır ve birbirine eşit almak önemli hatalara neden olmaz. Ancak özel durumlarda t_a ile t_r sıcaklıkları birbirine eşit olmayabilir. Şekil 3’de farklı ortalama ışıınım sıcaklıkları için ortam sıcaklığının alabileceği değerler verilmiştir. İnsanı çevreleyen yüzeylerin sıcaklıkları arttıkça vücut üzerine ışıınımla gelen ısı yükü artar. Vücut ile çevre arasındaki ısı dengesinin ve ısı konforun bozulmaması için ortam sıcaklığının azaltılması gerekir. Böylece vücut üzerine taşınım ile gelen ısı yükü azaltılmış olur.

Şekil 4’de hava hızı ile ortam sıcaklığı arasındaki ilişki, iki farklı giysi grubu için verilmiştir. Ortamdaki hava hızı ve hareketlerinin artması ısı taşınım katsayısını dolayısıyla vücuttan çevreye olan duyulur ısı geçişini artırır. Vücuttan çevreye olan ısı kayıplarının azaltılması için ortam sıcaklığının artırılması gerekir. Hava hızı arttıkça ortam sıcaklığının lineer olarak artmamasının en büyük nedeni, taşınım katsayısının hava hızı ile lineer değişmemesinden kaynaklanmaktadır. Giysi yalıtımının artması ise hava hızının aksine ısı kayıplarını azaltıcı yönde etki yapmaktadır. Bu nedenle giysi yalıtımı arttıkça ortam sıcaklığının düşürülmesi gerekir. Hava hızınının 0,2 m/s olduğu bir ortamda 0,6 clo giysili bir kişi ile çevre arasındaki ısı dengesi 25,0°C’de sağlanırken giysi yalıtımı 1,0 clo’ya çıktığında ısı dengesinin kurulduğu sıcaklık 22,3°C’ye düşmektedir.



Şekil 3. Isıl Konfor İçin Ortam ile Ortalama Işınım Sıcaklığının Değişimi

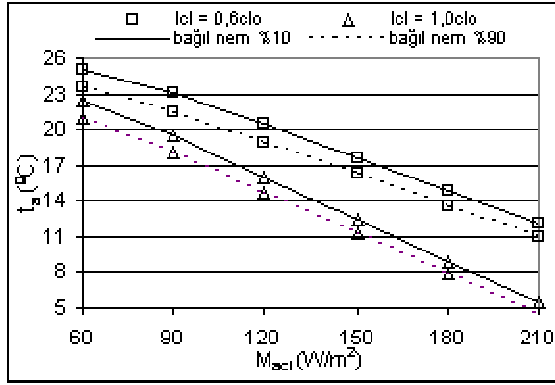


Şekil 4. Isıl Konfor İçin Hava Hızı ile Ortam Sıcaklığının Değişimi

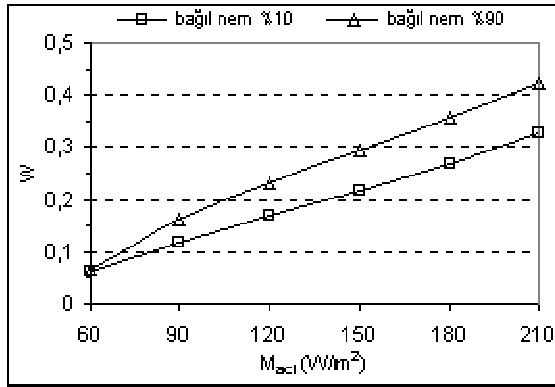
Şekil 5.a'da bağıl nemin ısı konfor şartlarına etkisi, farklı giysi grupları ve aktivite düzeyleri için verilmiştir. Aktivitenin ve giysi yalıtımının artmasıyla ortam sıcaklığının azaltılması gerektiğini daha önce ifade etmiştik. Benzer şekilde ortamın bağıl neminin artması da ortam sıcaklığının azaltılması yönünde etkide bulunmaktadır. Dinlenme durumunda ve 0,6 clo giysili bir kişi için, bağıl nemin %10 olduğu bir ortamda sıcaklık 25,1°C olması gerekirken bağıl nemin %90 olması durumunda ortam sıcaklığı 23,6°C'ye düşürülmelidir. Çünkü bağıl nem arttıkça vücuttan çevreye olan gizli ısı kayıpları azalacaktır. Bu düşüşün dengelenebilmesi için duyulur ısı kayıplarının artırılması gerekir. Bu nedenle ortam sıcaklığı azaltılır. Şekil 5.b'de giysi direnci 0,6 clo için bağıl nemin, vücut üzerindeki ortalama deri ıslaklığına etkisi görülmektedir. Ortamın bağıl neminin artması vücut ile çevre arasındaki kütle transferini zorlaştırdığından vücudun daha fazla bölümü terle kaplanmaktadır. 3,5 met aktivite ve %10 bağıl nemde deri ıslaklığı 0,33 iken %90 bağıl nemde bu değer 0,42'ye çıkmaktadır.

Şekil 6'da ise ortamdaki su buharının ısı konfor üzerindeki etkisi daha net olarak görülmektedir. Burada $M = 60 \text{ W/m}^2$, $V=0,1 \text{ m/s}$ ve $I_{cl}=0,6 \text{ clo}$ alınmıştır. Şekilde aynı zamanda ısı konfor ölçütlerinden "tahmini ortalama oy" (PMV) değerleri de verilmek suretiyle konfor bölgeleri de yer almaktadır. PMV'nin 0 olması ortamın konforlu algılandığını 3 olması ise oldukça konforsuz

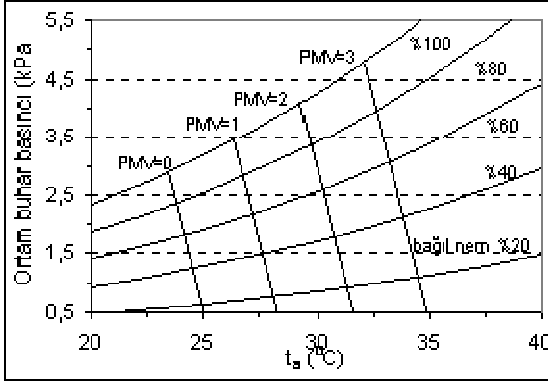
olduğunu ifade etmektedir. Ortamdaki su buharı basıncı arttıkça ısı konforunun sağlanması için ortam sıcaklığının azaltılması gerektiği verilen şekilden görülmektedir. Aynı zamanda, ortam sıcaklığı arttıkça vücut üzerindeki ısı yükten dolayı PMV nötr değerden sapmakta yani ortam konforsuz olarak algılanmaktadır.



Şekil 5(a). Isıl Konfor İçin Farklı Bağıl Nem ve Giysi Yalıtım Değerlerinde Aktivite ile Ortam Sıcaklığının Değişimi



Şekil 5(b). Isıl Konforun Sağlandığı Şartlarda Bağıl Nemin Deri Islaklığı Üzerindeki Etkileri



Şekil 6. Farklı Bağıl Nem Değerlerinde Konfor Bölgelerinin ve Ortam Sıcaklığının Değişimi

SONUÇ

Isıl konfor şartlarının optimizasyonunun yapıldığı bu çalışmada varılan sonuçlar özetle şunlardır:

- Aktivite arttıkça, vücutta üretilen ısı da buna bağlı olarak arttığından ısı dengesi ve konfor şartları, ısı kayıplarının daha fazla olduğu düşük ortam sıcaklıklarında sağlanmaktadır. $M_{act} = 60 \text{ W/m}^2$, 0,6 clo ve $V = 0,1 \text{ m/s}$ şartlarında gerekli ortam sıcaklığı $24,3^\circ\text{C}$ iken $M_{act} = 120 \text{ W/m}^2$ 'de gerekli ortam sıcaklığı $19,7^\circ\text{C}$ 'ye inmektedir.
- Aynı şartlarda ortam sıcaklığının $24,3^\circ\text{C}$ 'den yaklaşık $27,5^\circ\text{C}$ 'ye çıkması PMV değerini 0'dan 1'e çıkarmaktadır.
- Giysinin buharlaşma direncinin artması, vücut üzerindeki deri ıslaklığını artırıcı yönde etkide bulunur.
- Ortamdaki bağıl nemin artması, ısı dengesi ve ısı konfor şartları açısından ortam sıcaklığının azaltılmasını gerektirir. $M_{act} = 60 \text{ W/m}^2$, 0,6 clo ve bağıl nem %10 şartlarında gerekli ortam sıcaklığı $25,1^\circ\text{C}$ iken bağıl nem %90'a çıktığında gerekli ortam sıcaklığı $23,6^\circ\text{C}$ 'ye inmektedir.
- Ortamdaki bağıl nemin artması, vücut üzerindeki deri ıslaklığını da artırır. $M_{act} = 90 \text{ W/m}^2$, 0,6 clo ve bağıl nem %10 şartlarında deri ıslaklığı 0,12 iken bağıl nem %90'a çıktığında deri ıslaklığı 0,16 olmaktadır.

SEMBOLLER

A_b : Vücut yüzey alanı, m^2

A_r : Vücutun etkin ışıınım alanı, m^2

C : Deriden birim zamanda taşınımıyla olan ısı kaybı, W/m^2

- C_{res} : Solunumla birim zamanda olan duyulur ısı kaybı, W/m^2
- E_{dif} : Deriden terin difüzyonuyla birim zamanda olan ısı kaybı, W/m^2
- E_{max} : Deriden birim zamanda olabilecek maksimum gizli ısı kaybı, W/m^2
- E_{res} : Solunumla birim zamanda olan gizli ısı kaybı, W/m^2
- E_{rsw} : Deriden terin buharlaşmasıyla birim zamanda olan ısı kaybı, W/m^2
- $E_{rsw,req}$: Isıl konforu sağlayan deriden terin buharlaşmasıyla gerekli birim zamanda olan ısı kaybı, W/m^2
- E_{st} : Vücut üzerindeki ısı yükü, W/m^2
- f_{cl} : Giysi alan faktörü, *boyutsuz*
- h_c : Taşınım ile ısı geçiş katsayısı, W/m^2K
- h_e : Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, W/m^2kPa
- h_r : Işınım ile ısı geçiş katsayısı, W/m^2K
- I_{cl} : Giysinin ısı direnci, *clo*
- i_{cl} : Giysinin buhar geçirgenlik verimi, *boyutsuz*
- LR : Lewis oranı, $^{\circ}C/kPa$
- \dot{m}_{res} : İç vücut ile deri arasındaki kan dolaşımı, $kg/(s.m^2)$
- \dot{V}_I : Solunum debisi, $kg/(s.m^2)$
- M : Birim zamanda toplam metabolik ısı üretimi, W/m^2
- M_{act} : Birim zamanda aktivite ile olan metabolik ısı üretimi, W/m^2
- p_a : Çevre ortamı subuharı basıncı, kPa
- PMV : Tahmini ortalama oy
- $p_{sk,s}$: T_{sk} sıcaklığında doymuş havada subuharı basıncı, kPa
- Q_{sk} : Deriden birim zamanda olan toplam ısı kaybı, W/m^2
- Q_{res} : Solunumla birim zamanda olan toplam ısı kaybı, W/m^2
- R : Deriden ışınlama ile birim zamanda olan ısı kaybı, W/m^2
- R_{cl} : Giysinin ısı direnci, $(m^2.K)/W$

- $R_{e,cl}$: Giysinin buharlaşma direnci, $(m^2.kPa)/W$
- t_a : Ortam sıcaklığı, $^{\circ}C$
- t_b : Vücudun ortalama sıcaklığı, $^{\circ}C$
- t_{cl} : Giysinin ortalama yüzey sıcaklığı, $^{\circ}C$
- t_{ex} : Dışarı solunan havanın sıcaklığı, $^{\circ}C$
- t_{sk} : Deri tabakası sıcaklığı, $^{\circ}C$
- $t_{sk,req}$: Isıl konforu sağlayan deri tabakası sıcaklığı, $^{\circ}C$
- $t_{sk,avg}$: Ortalama ışıınım sıcaklığı, $^{\circ}C$
- V : Hava hızı, m/s
- w : Toplam deri ıslaklığı, *boyutsuz*
- $w_{rs,w}$: Teri buharlaştırma için gerekli olan deri ıslaklığı, *boyutsuz*
- W : Yapılan dış iş, W/m^2
- W_a : Çevre havasının mutlak nemi, $kgH_2O / kg \text{ kuru hava}$
- W_{ex} : Dışarı solunan havanın mutlak nemi, $kgH_2O / kg \text{ kuru hava}$
- α : Toplam vücut kütesinin deri bölmesinde olan bölümü, *boyutsuz*
- ϵ : Yayma katsayısı, *boyutsuz*
- σ : Stefan-Boltzman sabiti ($5,67.10^{-8}$), W/m^2K^4
- 1 clo = 0,1548 (m^2C)/W
- 1 met = 58,15 W/m

KAYNAKÇA

1. **Ancı, Ö., Yang, S.L., Huang, C.C. and Oker, E.** (1996). A Numerical Simulation Model For Automobile Pasenger Compartment Climate Control and Evaluation. International Energy and Environment Symposium. Turkey, July 29-31. 1081-1087p.
2. ASHRAE, (1989). ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29p.
3. **Aybers, N.** (1978). Isıtma, Havalandırma ve İklim Tesisleri. Uçer Matbaacılık,1978. 9-25s.
4. **Burch, S.D., Ramadhyani, S. and Pearson, J.T.** (1991). Analysis of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditioning. ASHRAE Transactions (97).

5. **Hamdi, M., Lachiver, G. and Michaud, F.** (1999). A New Predictive Thermal Sensation Index of Human Response. *Energy and Buildings*, 29, 167-178p.
6. **Kandjov, I. M.** 1998. Thermal Stability of Human Body Under Environmental Air Conditioning. *Journal of Thermal Biology*, Vol. 23, No. 2, 117-121p.
7. **McCullough, E.A., Jones, B.W., and Huck, J.** (1985). A Comprehensive Data Base For Estimating Clothing Insulation. *ASHRAE Transactions* 91 (2) 29-47p.
8. **McCullough, E.A., Jones, B.W. and Tamura, T.** (1989). A Data Base For Determining the Evaporative Resistance of Clothing. *ASHRAE Transactions*, 95 (2). 316-328p.
9. **Semiz, B. D.** (1990). *İnsan Anatomisi ve Fizyolojisi*. 207s. Marmara Üniversitesi, Yayın No. 476. İstanbul.
10. **Tanebe, S., Arens, E.A., Bauman, F.S., Zang, H. and Madsen, T.L.** (1994). Evaluating Thermal Environments by Using a Thermal Manikin With Controlled Skin Surface Temperature. *ASHRAE Transactions* 100 (1).
11. **Yiğit, A.** (1998). The Computer-Based Human Thermal Model. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 25, No. 7, pp 969-977.