

# GİYSİ ISIL DİRENÇ FAKTÖRÜNÜN İNSAN KONFORU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ömer KAYNAKLI, İbrahim ATMACA,  
Muhsin KILIÇ \*

*Bu çalışmada, ısı konfor şartlarını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan giysilerin, vücuttan olan ısı kayıplarına ve ısı konfor şartlarına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Vücutla çevre arasında gerçekleşen ısı-kütle transferinin ve vücut fizyolojisinin gösterdiği tepkilerin simülasyonu oluşturulmuştur. Vücutla çevresi arasındaki ısı etkileşim için temel ısı-kütle transferi denklemlerinden, vücut fizyolojisinin etkilerini ifade için ise ampirik bağıntılardan yararlanılmıştır. Farklı giysiler ve ortam sıcaklıkları için vücuttan çevreye olan duyulur-gizli ısı geçişleri ve ortamın nasıl algılandığını gösteren PMV ve PPD konfor indekslerinin değişimi verilmiştir. Aynı zamanda giysilerle, ısı konfor için gerekli ortam sıcaklığı arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak, giysinin ısı ve buharlaşma direncinin artmasıyla daha düşük ortam sıcaklıklarında vücutla çevre arasında enerji dengesi kurulmakta ve bu nedenle konfor şartları için ortam sıcaklığının azaltılması gerekmektedir. Bununla birlikte giysi direncinin artmasıyla konfor bölgesi genişlemekte yani insanlar daha geniş çevresel koşullarda kendilerini rahat ve konforlu hissetmektedirler.*

**Anahtar sözcükler :** Isıl konfor, giysinin ısı direnci, ortam sıcaklığı

*The aim of the study is that determination of the clothing effects, which is the one of the most important parameters affecting the thermal comfort conditions, on the heat losses from the body to environment and the thermal comfort conditions. Simulation of the heat-mass transfer between the body and its environment and reactions of thermoregulation control mechanism of the body were performed. Fundamental heat-mass transfer equations for calculating thermal exchange between the body and its environment and empirical relations for determining the effects of the body physiology were used. Variation of sensible-latent heat losses from body to environment, and PMV and PPD thermal comfort indices with different clothing insulation and ambient temperature were given. Moreover, the effects of the clothing on the required ambient conditions for the thermal comfort were examined. It is concluded that ambient temperature should be decreased for the thermal comfort conditions since the energy balance between the body and environment were established at lower ambient temperatures with increasing the thermal and evaporative resistances of clothing. In addition to this, the results show that thermal comfort zone widen with increasing the clothing resistance, namely human feels himself in comfort at a more large range of environmental conditions.*

**Keywords :** Thermal comfort, thermal resistance of clothing, ambient temperature

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık  
Fakültesi, Makina Mühendisliği

## GİRİŞ

Isıl konforu etkileyen parametreler çevresel ve kişisel olmak üzere iki grupta incelenebilir. Çevresel parametreler hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığıdır. Kişisel parametreler ise insanın hareketlilik düzeyi (aktivitesi) ve giysilerdir. Tüm bu parametreler ısı konforu farklı oranlarda ve şekillerde etkiler. Giysiler vücuttan olan ısı kayıplarını ve dolayısıyla vücudun enerji dengesini etkilediğinden önemli bir faktördür. Isı kayıplarının yanı sıra vücutta üretilen terin uzaklaşmasında da rol oynamaktadır. Giysi direncinin artması terin geçişini kısıtlayarak vücudun daha büyük bir kısmının ter tabakasıyla kaplanmasına neden olur ki bu durum, insanın rahatsız hissetmesine yol açar.

İnsanların yaz ve kış koşullarındaki giysileri kişiden kişiye göre de farklılık göstermektedir. Giysiler vücut üzerinde ısı geçişine direnç oluşturduğundan vücut sıcaklığını ve ısı kayıplarını dolayısıyla kişinin ısı konfor algısını önemli ölçüde etkiler. İnsanlar rahat ve konforlu olduklarında fiziksel ve zihinsel performansları en üst düzeydedir [1,2]. Rahatsızlık veren ısı koşullar altında insanların çalışma performansı ve iş verimi olumsuz etkilenir. Bu nedenle, bir ortamda bulunan insanların çalışma aktiviteleri ve giyim tarzları göz önüne bulundurularak gerekli çevresel koşulların belirlenmesi, kişisel rahatlığın yanında iş kalitesini de etkileyeceğinden son derece önemlidir.

Çevresel koşulların iş verimi ve çalışma performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Fanger [3]'de bildirildiğine göre, Uluslararası İç Ortam ve Enerji Merkezi'nde yapılan araştırma sonuçları, iç ortam hava kalitesinin işyeri çalışanlarının üretkenliği üzerinde kayda değer ve pozitif bir etkisi olmaktadır. Daanen ve ark. [4] çalışmasında sıcak (35°C sıcaklık, %50 bağıl nem), soğuk (5°C sıcaklık, %50 bağıl nem) ve nötr (20°C sıcaklık, %50 bağıl nem) olarak tanımlanan üç farklı ortam koşulundaki taşıt sürüş performansını incelemiştir. Çalışmada, sıcak ortamdaki deneklerin ısı konfor değerlendirmesinin genel olarak "sıcak" olduğu ve sürüş performansının %13 azaldığı, soğuk ortamdaki deneklerin cevaplarının

ise "soğuk" ile "çok soğuk" arasında olup sürüş performansının %16 azaldığı sonuçlarına varılmıştır. Karakoç [2]'de ortam sıcaklığı ile üretkenliğin değişimi verilmiştir. Konforlu olmayan ortam şartlarında üretkenlik %60'ların altına inmektedir. Hatta ortam sıcaklığı ve konforu, iş yerlerindeki iş kazalarını da etkilediği yine aynı çalışmada belirtilmektedir. Son zamanlarda Tayland'da yürütülen bir başka çalışmada ise, hafif, orta ve ağır olmak üzere üç farklı iş yükü altında ortamın çalışanlar tarafından nasıl algılandığını gösteren Tahmini Ortalama Oy (PMV) indeksi ile üretkenliğin değişimi incelenmiştir [5].

Bu çalışmada ısı konforu etkileyen faktörlerden giysilerin vücuttan çevreye olan ısı kayıpları ve konfor algısına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla vücutla çevre arasında ısı ve kütle transferi denklemleri yazılmış ve vücuttaki fizyolojik tepkilerin simülasyonu oluşturulmuştur. Yaz ve kış şartlarında giyilen giysiler referans alınarak yapılan çalışma sonucunda giysilerin ısı direncinin artmasının konfor şartları üzerindeki etkileri kapsamlı olarak çıkarılmıştır.

## MATEMATİKSEL MODEL

### Vücuttan olan ısı kayıpları

Vücutta üretilen enerjinin çoğu iç organlarda özellikle karaciğer, beyin, kalp ve iskelet kaslarında oluşur. Bu enerji daha sonra, kan aracılığıyla vücudun diğer kısımlarına taşınır ve bölgesel ısınmalar engellenmiş olur. Bu nedenle enerjinin bedene eşit olarak dağıtılmasında kanın oldukça önemli bir rolü vardır [6,7]. İç organ ve dokulardan direkt temas ve kan akışı yoluyla deriye aktarılan ısı, buradan taşınım, ışınım, buharlaşma ve kısmen de iletimle çevreye verilir. Bundan dolayı ısının kaybedildiği hız, özellikle iki faktörle belirlenir. Bunlar ısının vücut içinden deriye ve deriden çevreye aktarılabilme yetisidir [6,8].

Vücudun çevreyle olan ısı etkileşimi sırasında deriden çevreye olan ısı geçişinin arttığı durumlarda, fizyolojik denetim mekanizmaları normal vücut sıcaklığını korumak

için harekete geçer ve vücut deriye olan kan akışını azaltır. İç dokuların sıcaklığı düşmeye devam ederse vücut kendiliğinden titreme gibi işlemlerle enerji üretir. Üretilen enerji, çevreye olan ısı geçişini dengelerse, vücut iç sıcaklığı korunmuş olur. İç vücut sıcaklığını korumak için gösterilen fizyolojik çabaların yanında bireylerin gösterdiği davranışsal tepkiler de vardır. Bunlar daha kalın giysilerin giyilmesi, hareketlilik düzeyinin artırılması ve daha sıcak koşulların aranması şeklinde ortaya çıkar [8,9].

Vücuttan olan ısı kayıpları temel olarak duyulur ve gizli olarak iki grupta incelenebilir. Duyulur ısı kayıpları, sıcaklık farkından kaynaklanan deriden iletim, taşınım, ışınım ve solunan hava aracılığıyla oluşur. Gizli ısı kayıpları ise deriden terin buharlaşması ve difüzyonu ayrıca solunum yollarıyla gerçekleşir. Deriden iletimle olan ısı kayıpları, taşınım ve ışınımına göre çok daha küçük olduğundan hesaplamalarda genelde ihmal edilir. Vücutla çevre arasındaki ısı etkileşim, vücudun gösterdiği fizyolojik tepkiler ve ısı konfor algısını ifade eden çeşitli ölçütler referanslarda detaylı olarak yer almaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, çalışmanın daha rahat anlaşılması için gerekli görülen temel ifadeler verilecek ve daha detaylı bilgiler için referanslara yönlendirilecektir. Deriden olan duyulur ısı (taşınım ve ışınım) kayıpları aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunabilir [8,10].

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

Burada,  $t_{sk}$ , deri sıcaklığı;  $R_{cl}$ , giysinin ısı direnci;  $f_{cl}$ , giysi alan faktörü yani giysilerden dolayı çıplak vücut yüzey alanındaki artış oranıdır. Ortalama ışınım ve çevre havası sıcaklıklarını içine alan operatif sıcaklık ( $t_o$ ) ve giysi alan faktörü [8,11],

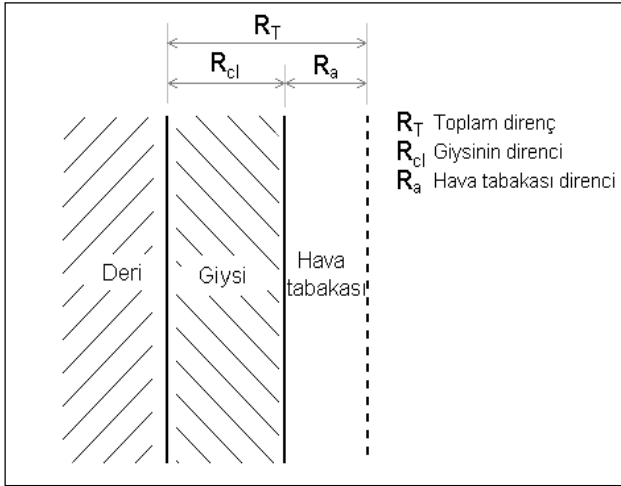
$$t_o = \frac{h_r t_r^* + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (2)$$

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

olup, burada  $h_c$  ve  $h_r$  sırasıyla ısı taşınım ve ışınım katsayıları,  $t_a$  ve  $t_r^*$  sırasıyla ortam ve ortalama ışınım sıcaklıklarıdır. Giysi direnci ısıl konfor uygulamalarında "clo" birimi ile ifade edilir ve 1 clo yaklaşık  $0.155 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ 'dır. "Clo" biriminde ifade edildiğinde giysi direnci  $I_{cl}$  olarak gösterilir. Bu durumda  $R_{cl}$  ve  $I_{cl}$  arasındaki ilişki şu şekildedir [8].

$$I_{cl} = R_{cl} / 0.155 \quad (4)$$

Deri üzerindeki giysinin oluşturduğu ısıl direnç modeli basitleştirilmiş olarak Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Vücut Üzerindeki Toplam Direnç

Toplam direnç, giysiler ve vücudu saran en dış taraftaki havadan kaynaklanmaktadır. Giysilerin direncini ise giysileri oluşturan kumaşların direnci ve kumaş katmanları arasında kalan durgun hava tabakası oluşturmaktadır [13].

$$R_t = R_{cl} + R_a / f_{cl} \quad (5)$$

Vücuttan olan gizli ısı kayıpları ise terin buharlaşması ( $E_{rsw}$ ) ve difüzyonu ( $E_{dif}$ ) yollarıyla olmaktadır [8].

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (6)$$

Terleme sonucu olan buharlaşmayla ısı kaybı üretilen terle doğru orantılıdır ve aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir [8].

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} h_{fg} \quad (7)$$

Terin deriden doğal difüzyonuyla olan ısı kaybı ( $E_{dif}$ ),

$$E_{dif} = w_{dif} E_{max} \quad (8)$$

denklemleri bulunur [8]. Burada  $E_{max}$ , maksimum buharlaşma potansiyelini gösterir ve derinin tamamının terle kaplanması durumunda gerçekleşir.  $w_{dif}$  ise difüzyon için gerekli olan deri ıslaklığıdır.  $E_{max}$  ve  $w_{dif}$  aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanabilir [8].

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

$$w_{dif} = 0.06(1 - w_{rsw}) \quad (10)$$

burada  $w_{rsw}$  terin buharlaşması için gerekli olan deri ıslaklığıdır [8].

$$w_{rsw} = \frac{\dot{m}_{rsw} h_{fg}}{(p_{sk,s} - p_a) / (R_{e,cl} + 1 / (f_{cl} h_e))} \quad (11)$$

İnsan vücudu solunum yoluyla da ısı kaybetmektedir. Dışarıdan alınan taze ve serin hava, izafi olarak daha sıcak ve nemli olarak dışarı verilmektedir. Bu esnada vücuttan duyulur ve gizli ısı kayıpları olmaktadır. Solunum kaybı aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilir [8].

$$Q_{res} = \dot{m}_{res} (c_{p,a} (t_{ex} - t_a) + h_{fg} (W_{ex} - W_a)) / A_b \quad (12)$$

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

### Fizyolojik Tepkiler

Çevresel ve kişisel duruma göre vücut fizyolojik olarak birtakım tepkiler verir. İç vücuttan deriye olan ısı kaybını azaltmak için vücut, vazokonstriksiyon (damarların kısılması) işlemleriyle kan akışını azaltır. Ters bir durumda yani vücuttan deriye olan ısı kaybının artırılması gerektiğinde vücut, vazodilatasyon (damarları genişlemesi) işlemleriyle kan akışını artırır. Her iki işlem de (vazokonstriksiyon ve vazodilatasyon) temelde iç vücut sıcaklığını korumaya yöneliktir ve vücut sıcaklığını belirli bir aralıkta tutar [14,15].

İç vücutla deri tabakası arasındaki kan akışının ve kan akışına bağlı olarak bu bölmelerin göreceli kütlelerinin değişimi (13) ve (14) numaralı eşitliklerle verilmiştir [8].

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

$$\alpha = 0.0418 + 0.745 / (3600\dot{m}_{bi} + 0.585) \quad (14)$$

İç vücut ve deri sıcaklığına bağlı olarak vücudun ortalama sıcaklığı,

$$t_b = \alpha t_{sk} + (1 - \alpha)t_{cr} \quad (15)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

### Vücutla çevresi arasındaki enerji dengesi

Vücudu iç içe iki bölme olarak ele alan Gagge modelinde iç bölme, iç organları, kemik ve kasları ifade ederken dış bölme olarak adlandırılan deri tabakası, deri ve ona bağlı dokuları simgelemektedir. İki bölmeli modelde anlık enerji dengesi, iç bölme ve deri tabakası için yazılırsa [8,16];

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

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (C + R + E_{sk}) \quad (17)$$

elde edilir. Vücudun iç bölme ve deri tabakasındaki depolanan enerjileri gösteren  $S_{cr}$  ve  $S_{sk}$ , her bölme için sıcaklık değişimine neden olmaktadır. Bu etki,

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

$$dt_{sk} / d\theta = S_{sk} A_b / (\alpha mc_{p,b}) \quad (19)$$

denklemleriyle ifade edilir.

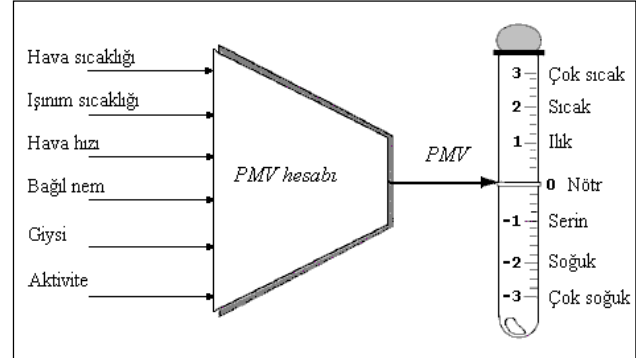
### Isıl konfor algısı

Isıl konfor algısı diğer fizyolojik duyular gibi niteliksel olarak değerlendirilir. Konfor algısını sayısallaştırmak amacıyla birtakım indeksler türetilmiştir. Ortamın bir grup insan tarafından nasıl algılandığını gösteren PMV indeksi ve bu ortamdan memnun olmayanların yüzdesini veren PPD indeksi yaygın olarak kullanılan ölçütlerdendir. PMV

ısıl duyum ölçeği Şekil 2'de verilen 7 noktali sayisal skalaya dayanmaktadır. PMV ve PPD'nin denklemleri aşağıda verilmiştir [8,19].

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028)E_{st} \quad (20)$$

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



Şekil 2. Tahmini Ortalama Oy (Pmv) Ölçeği

### METOT

Hava sıcaklığı, bağıl nem, vücut üzerindeki hava hızı, ortalama ışınım sıcaklığı gibi çevresel koşulların ve hareketlilik düzeyi, giysi gibi kişisel faktörlerin bilindiği bir ortamda vücuttan olan duyulur ısı kayıpları hesaplanabilir. Deri üzerindeki ve ortam havası içindeki su buharının kısmi basınçlarının hesaplanmasından sonra gizli ısı kaybı da belirlenebilir. (12) numaralı eşitlik yardımıyla solunum kayıplarının hesaplanmasının ardından, bulunan tüm ısı geçiş terimleri, vücudun enerji dengesini gösteren (16) ve (17) numaralı eşitliklerde yerlerine yazılarak iç bölme ve deri tabakasında depolanan anlık enerjiler bulunur. Birim zamanda depolanan bu enerji, vücut sıcaklıklarını bir miktar değiştirmektedir ve hazırlanan yazılım sayesinde yeni vücut sıcaklıkları ile matematiksel modelin başına dönlür. 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, PMV ve PPD elde edilir.

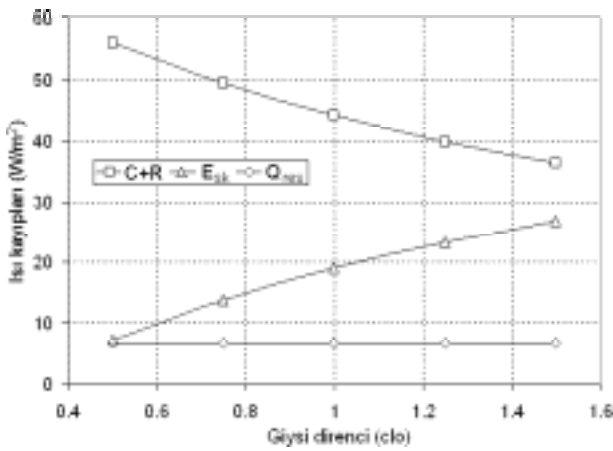
### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

İnsanlar çalışma aktivitelerine göre geniş bir aralıkta enerji üretirler. Büro işi aktiviteleri arasında sayılan bilgisayar başında yazma, dosyalama ve gezinme durumlarında vücut yaklaşık 65-80 W/m<sup>2</sup> mertebesinde enerji üretir. Çalışmamızda vücudun ürettiği enerji miktarı için bu aralıkta bir değer kullanılmıştır. Tipik iç ortam koşullarında vücut üzerindeki hava hızı maksimum 0.1 m/s [18] ve bağıl nem ortalama bir değer olarak %50 alınmıştır.

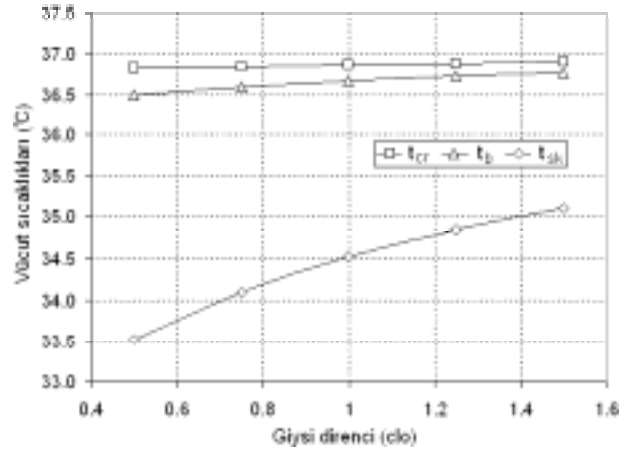
Şekil 3 ve 4'de sırasıyla vücuttan olan ısı kayıpları ve vücut sıcaklıklarının giysi direnciyle değişimi görülmektedir. Buradaki hesaplamalarda,  $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $t_a = 22^\circ\text{C}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$  olarak alınmıştır. Vücut üzerindeki giysiler, ısı geçişine direnç oluşturduğundan giysiler arttıkça duyulur (taşınım ve ışınım) ısı kayıpları azalmaktadır. Yazlık bir giysi için (yaklaşık 0.5 clo) duyulur ısı kaybı 56 W/m<sup>2</sup> iken kışlık bir giysi için (yaklaşık 1.5 clo) 36 W/m<sup>2</sup> değerine inmektedir. Bu esnada terin buharlaşmasından kaynaklanan gizli ısı kayıpları ise giysi yalıtımıyla

artmaktadır. Duyulur ısı geçiş mekanizmalarıyla vücutta metabolik aktivitelerle üretilen enerji atlamadığından, vücut ter üretimini artırır. Üretilen terle orantılı olarak da buharlaşma kayıpları artmakta ve vücutla çevresi arasında enerji dengesi korunmaktadır. Solunum kayıpları ise giysilerden etkilenmemekte ve yaklaşık 7 W/m<sup>2</sup> değerinde kalmaktadır. Vücuttan taşınım ve ışınım yollarıyla olan ısı kaybının azalması Şekil 4'den görüldüğü gibi vücut sıcaklıklarını artırmıştır. Özellikle deri sıcaklığındaki artış iç bölmeye nazaran daha etkili olmuştur. Çünkü vücut iç bölme sıcaklığındaki değişim, hayati organların fonksiyonlarının aksamadan devam edebilmesi için  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  sınırları içerisinde kalmalıdır [9,19]. Vücut, giysi yalıtımının artmasına karşı iç sıcaklığını koruyabilmek için deri bölmesine kan akışını artırarak iç bölme ile deri tabakası arasındaki etkileşimi yani ısı geçişini artırma yoluna gider. Böylece vücutta üretilen enerji, kan akışı artırılarak deri bölmesine aktarılır. Deri bölmesinden de çevre ortama ısı kaybı, giysi yalıtımının düşük olduğu yaz koşullarında temel olarak taşınım ve ışınım, daha kalın giysilerin giyildiği durumlarda ise terin buharlaşmasıyla olmaktadır.

Ortamın nasıl algılandığını gösteren PMV indeksinin giysi direnciyle değişimi Şekil 5'de verilmiştir. Başlangıçta



Şekil 3. Giysi Direncinin Vücuttan Olan Isı Kayıplarına Etkisi ( $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $t_a = 22^\circ\text{C}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )

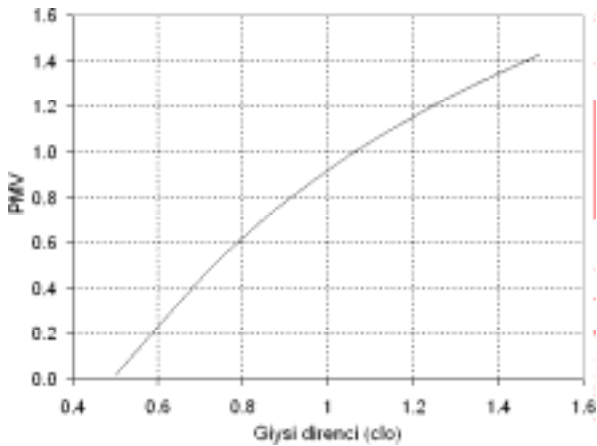


Şekil 4. Giysi Direncinin Vücut Sıcaklıklarına Etkisi ( $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $t_a = 22^\circ\text{C}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )

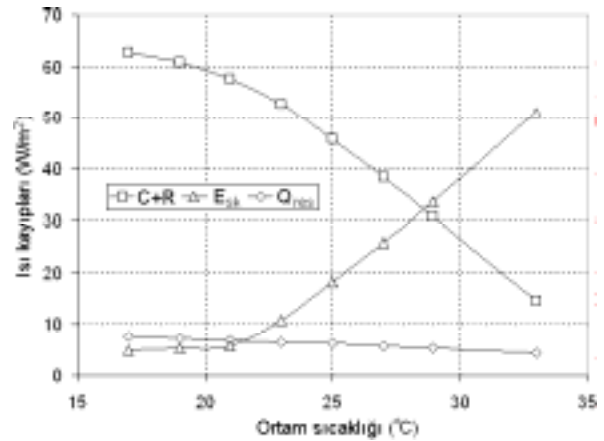
vücutla çevresi arasında enerji dengesi olduğundan ortam konforlu olarak algılanmaktadır. Aynı çevresel koşullarda giysi yalıtımının artmasıyla vücut rahat olarak ısı atamamakta ve vücut üzerinde ısı yük birikimi olmaktadır. Deri ve iç bölme sıcaklıklarının artmasına neden olan bu etki kişiyi rahatsız etmektedir.

Şekil 6-9 arasında ortam sıcaklığının vücut üzerindeki etkileri görülmektedir. Ortam sıcaklığının artmasıyla vücutla çevresi arasındaki sıcaklık farkının azalmasından dolayı taşınım ve ışınım kayıpları azalmaktadır. Buharlaşma kayıpları ise düşük ortam sıcaklıklarında yaklaşık  $5 \text{ W/m}^2$  mertebesinde seyrederken sıcaklığın artması ve ter üretimiyle birlikte hızlı bir şekilde

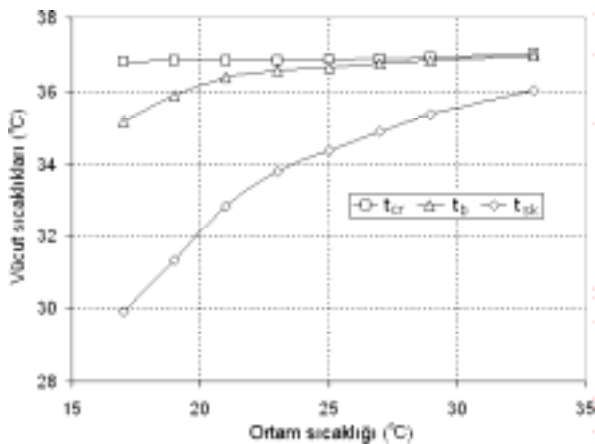
artmaktadır. Vücuttan olan toplam ısı kayıpları içerisinde yaklaşık %10'luk bir paya sahip olan solunum kayıpları ise solunan havanın sıcaklığının artmasıyla az da olsa azalmaktadır. Ortam sıcaklığının artmasıyla vücut sıcaklıklarının da arttığı Şekil 7'de verilmiştir. Burada da deri sıcaklığındaki değişimin vücudun iç bölme sıcaklığına göre daha fazla olduğu görülmektedir. İncelenen ortam sıcaklıkları arasında deri sıcaklığındaki değişim  $6.1^\circ\text{C}$  iken iç bölme sıcaklığındaki değişim ise sadece  $0.2^\circ\text{C}$ 'dir. Ortam sıcaklığındaki artışın kişinin konfor hissi üzerindeki etkisi farklı aktivite değerleri için Şekil 8'de görülmektedir. Ortam sıcaklığı arttıkça konfor algısı sığağa doğru kaymaktadır. Aktivite arttıkça ise eğrilerin eğiminin



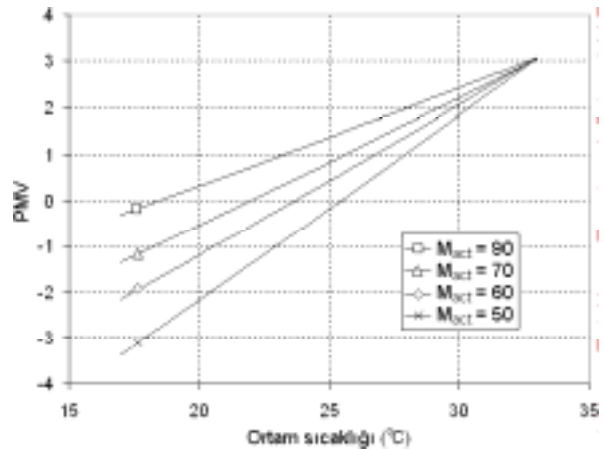
Şekil 5. Giysi Direncinin PMV Üzerine Etkisi  
( $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $t_a = 22^\circ\text{C}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )



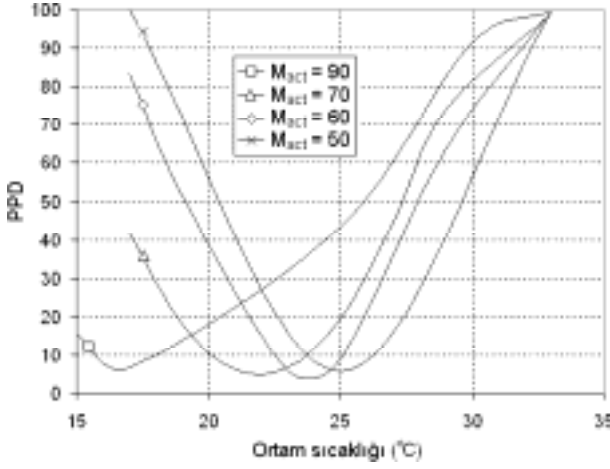
Şekil 6. Ortam Sıcaklığının Isı Kayıplarına Etkisi  
( $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $I_{cl} = 0.5 \text{ clo}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )



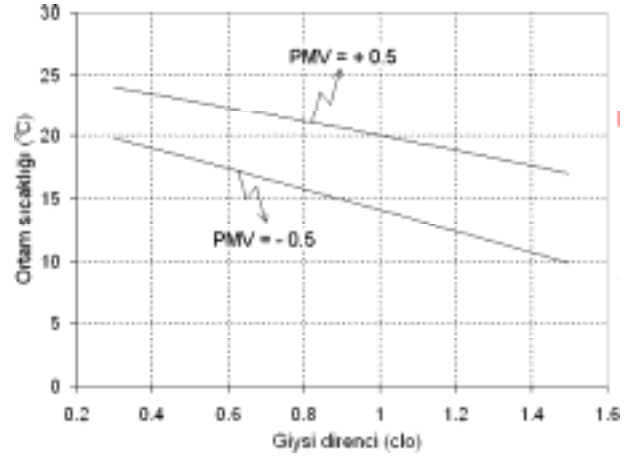
Şekil 7. Ortam Sıcaklığının Vücut Sıcaklıkları Üzerine Etkisi  
( $M_{act} = 70 \text{ W/m}^2$ ,  $I_{cl} = 0.5 \text{ clo}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )



Şekil 8. Ortam Sıcaklığının PMV Üzerine Etkisi  
( $I_{cl} = 0.5 \text{ clo}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1 \text{ m/s}$ )



Şekil 9. Ortam Sıcaklığının PPD Üzerine Etkisi ( $I_{cl} = 0.5\text{clo}$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1\text{m/s}$ )

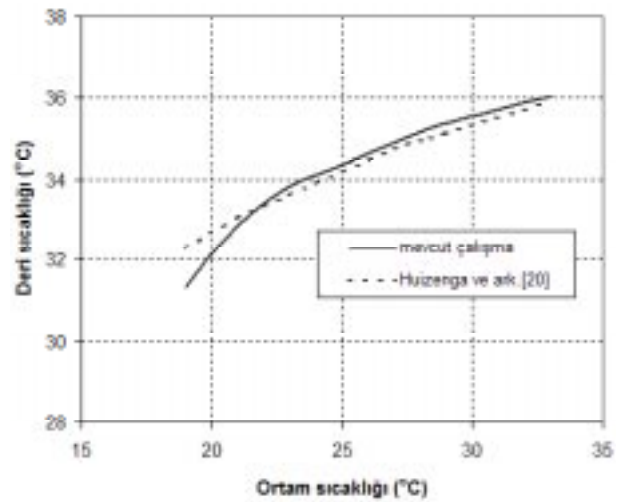


Şekil 10. Giysi Direnciyle Gerekli Ortam Sıcaklığının Değişimi ( $M_{act} = 75\text{W/m}^2$ ,  $RH = \%50$ ,  $V = 0.1\text{m/s}$ )

azalması nedeniyle ortam şartları konfor hissini daha az oranda etkilemektedir. Örnek olarak  $M_{act} = 50\text{W/m}^2$ de ortam sıcaklığının  $5^\circ\text{C}$  değişmesi PMV değerini yaklaşık 2 birim değiştirirken,  $M_{act} = 90\text{W/m}^2$ de PMV yaklaşık 1 birim değişmektedir. Aynı şartların memnuniyetsizlerin oranı üzerindeki etkisi ise Şekil 9'da verilmiştir. Düşük ortam sıcaklıklarında vücutta üretilenden daha fazla ısı kaybı olduğundan, yüksek ortam sıcaklıklarında ise gereği kadar ısı kaybı olmadığından PPD değeri artmaktadır.

Bir ortamda yapılan işe ve giyilen giysilerin türüne göre gerekli çevresel koşulların belirlenmesi, insanların rahatlığı ve kişisel performansları açısından oldukça önemlidir. Şekil 10'da  $M_{act} = 75\text{W/m}^2$ ,  $RH = \%50$  ve  $V = 0.05\text{m/s}$  için gerekli ortam sıcaklığının alabileceği maksimum ve minimum sıcaklıklar verilmiştir. Bu aralıkta, ASHRAE Standart 55-92'ye göre  $PMV = \pm 0,5$  sınırları içerisinde kalmaktadır. Dolayısıyla iki eğri arasında kalan bölge, vücutla çevresi arasında enerji dengesi kolaylıkla sağlandığından konfor bölgesi olarak adlandırılabilir. Giysi yalıtımının yüksek olduğu çalışma ortamlarında gerekli ortam sıcaklığının düşük tutulması gerektiği verilen şekilden görülmektedir. Ayrıca giysi yalıtımı arttıkça konfor bölgesi genişlediğinden daha geniş çevresel koşullarda ısı konfor şartlarının sağlandığı söylenebilir.

Bu çalışmada oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar Huizenga ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmanın deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modelden elde edilen çeşitli ortam sıcaklıklarındaki deri sıcaklığı değerlerinin bahsedilen literatürdeki deneysel veriler ile karşılaştırılması Şekil 11'de verilmiştir. Huizenga ve ark. [20] de yapılan deneysel çalışmada, denekler  $\%40$  bağıl nemde ve çeşitli sıcaklıklardaki ortamda hamak üzerinde dinlenme pozisyonunda ve yazlık hafif giysiler içinde bulunurken çeşitli vücut parçalarından ölçümler alınmıştır. Grafikte verilen deneysel değerler insanın yüzünden alınan ölçüm değerleridir. Modelden elde edilen değerler Şekil 7'de



Şekil 11. Modelden Elde Edilen Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması

verilen giriş datalarının sonuçlarıdır. Şekil 11' den görüldüğü üzere bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar uyum içerisindedir. Çeşitli ortam sıcaklıklarında modelden elde edilen deri sıcaklıkları ile deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklıklar arasındaki fark 1°C' nin altındadır.

Tanabe ve ark. [21], 25 °C, %50 RH ortam şartlarında  $M=50 \text{ W/m}^2$  metabolik aktivite düzeyinde yazlık giysiler ile yaptıkları deneylerde vücuttan olan duyulur ısı kaybını  $46.2 \text{ W/m}^2$  olarak tespit etmiştir. Bahsedilen ortam şartları için  $M=70 \text{ W/m}^2$  metabolik aktivite düzeyinde mevcut çalışmada oluşturulan modelden elde edilen duyulur ısı kaybının yaklaşık  $45.59 \text{ W/m}^2$  olduğu Şekil 6' dan görülebilmektedir.  $M=70 \text{ W/m}^2$  metabolik aktivite düzeyinde düşük metabolik aktivite düzeylerine göre terleme daha fazla olduğu için gizli ısı kaybı daha fazla dolayısıyla duyulur ısı kaybı biraz daha düşüktür. Görüldüğü üzere mevcut çalışmada oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile bahsedilen deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar da uyum içerisindedir.

## SONUÇ

Giysiler ısı konfor şartlarını etkileyen önemli parametreler arasındadır. Vücut üzerindeki giysilerin artması, vücuttan çevreye olan ısı kaybını kısıtlamaktadır. Bu durumda vücudun fizyolojik sıcaklık denetim mekanizmaları deri bölmesine gönderilen kan akışını ve ter üretimini artırmaktadır. Kan akışının artması iç bölmeden dış tabakaya ısı geçişini, ter üretiminin artması ise gizli ısı kayıplarını artırmaktadır. Vücutla çevre arasındaki enerji dengesinin sağlanmasında önemli payı olan giysiler, vücut sıcaklıklarını da etkilemektedir. Giysi direncinin artmasıyla iç bölme, deri tabakası ve bu değerlerle ilişkili olan ortalama vücut sıcaklığı artmaktadır. Vücut sıcaklıklarının artması ısı konfor algısını da etkilemektedir. PMV ve PPD indeksleri vücudun ısı dengesinin bozulduğu koşullarda nötr değerden sapmaktadır.

## SİMGELER

$A_b$	:	vücudun yüzey alanı, $\text{m}^2$
$c_{p,a}$	:	havanın özgül ısısı, $\text{kJ/kgK}$
$c_{p,b}$	:	vücudun ortalama özgül ısısı, $\text{kJ/kgK}$
$C$	:	taşıma yoluyla ısı kaybı oranı, $\text{W/m}^2$
$C_{res}$	:	solunum yoluyla olan duyulur ısı kayıp oranı, $\text{W/m}^2$
$CSIG_{sk}$	:	deriden gelen soğuk sinyal
$E_{dif}$	:	deriden terin doğal difüzyonu ile olan gizli ısı kaybı oranı, $\text{W/m}^2$
$E_{max}$	:	deriden terin buharlaşması ile olabilecek maksimum ısı kaybı oranı, $\text{W/m}^2$
$E_{res}$	:	solunum yoluyla olan gizli ısı kayıp oranı, $\text{W/m}^2$
$E_{rsw}$	:	deriden terin buharlaşması ile olan gizli ısı kaybı oranı, $\text{W/m}^2$
$E_{sk}$	:	deriden olan gizli ısı kaybı oranı, $\text{W/m}^2$
$E_{st}$	:	vücut üzerinde depolanan ısı enerji oranı, $\text{W/m}^2$
$f_{cl}$	:	giysi alan faktörü
$h_c$	:	taşıma yoluyla olan ısı geçiş katsayısı, $\text{W/m}^2\text{K}$
$h_e$	:	buharlaşımla ısı geçiş katsayısı, $\text{W/m}^2\text{kPa}$
$h_{fg}$	:	suyun buharlaşma gizli ısısı, $\text{kJ/kg}$
$h_r$	:	ışınım yoluyla olan ısı geçiş katsayısı, $\text{W/m}^2\text{K}$
$I_{cl}$	:	giysilerin ısı direnci, $\text{clo}^*$
$m$	:	vücut kütlesi, $\text{kg}$
$\dot{m}_{bl}$	:	iç bölme ile deri arasındaki kan akışı, $\text{kg/sm}^2$
$\dot{m}_{res}$	:	solunum debisi, $\text{kg/s}$
$\dot{m}_{rsw}$	:	vücudun ürettiği ter miktarı, $\text{kg/sm}^2$
$M$	:	vücutta üretilen enerji oranı, $\text{W/m}^2$
$M_{act}$	:	vücutta metabolik aktivitelerle üretilen enerji oranı, $\text{W/m}^2$
$p_a$	:	havadaki su buharının kısmi basıncı, $\text{kPa}$
$p_{sk,s}$	:	deri sıcaklığında doymuş havada su buharının kısmi basıncı, $\text{kPa}$
PMV	:	tahmini ortalama oy
PPD	:	memnun olmayanları yüzdesi
$Q_{er,sk}$	:	iç bölmeden deriye olan ısı geçiş oranı, $\text{W/m}^2$



$Q_{res}$	: solunum yoluyla olan toplam ısı kayıp oranı, $W/m^2$
$R$	: ışıınım yoluyla ısı kaybı oranı, $W/m^2$
$R_{cl}$	: giysilerin ısı direnci, $m^2K/W$
$R_{e,cl}$	: giysilerin buharlaşma direnci, $m^2kPa/W$
$R_t$	: giysilerin toplam ısı direnci, $m^2K/W$
$RH$	: bağıl nem
$S_{cr}$	: iç bölmede depolanan enerji oranı, $W/m^2$
$S_{sk}$	: deride depolanan enerji oranı, $W/m^2$
$t_a$	: ortam sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_b$	: ortalama vücut sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{cr}$	: iç bölme sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{ex}$	: solunumla dışarı atılan havanın sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_o$	: operatif sıcaklık, $^{\circ}C$
$t_r^*$	: ortalama ışıınım sıcaklığı, $^{\circ}C$
$t_{sk}$	: deri sıcaklığı, $^{\circ}C$
$V$	: izafi hava hızı, $m/s$
$w_{dif}$	: terin deriden doğal difüzyonu için gerekli olan deri ıslaklığı
$w_{rsw}$	: terin buharlaşması için gerekli olan deri ıslaklığı
$W$	: vücudun yaptığı dış iş oranı, $W/m^2$
$W_a$	: dış havanın özgül nemi, $(kg \text{ subuhari})/(kg \text{ kuru hava})$
$W_{ex}$	: solunumla dışarı atılan havanın özgül nemi, $(kg \text{ subuhari})/(kg \text{ kuru hava})$
$WSIG_{cr}$	: iç bölmeden gelen sıcak sinyal
$\alpha$	: deri kütle oranı
$\theta$	: zaman, $s$

\* 1 clo = 0.155  $m^2K/W$

## KAYNAKÇA

1. **Türksoy, M.** (2002). Taşıt iç geometrik parametre değişimlerine bağlı havalandırma optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 84s.
2. **Karakoç, H.** (1997). Enerji ekonomisi. Demirdöküm Teknik Yayınları, Mirfak Matbaacılık, 53-57s.
3. **Fanger, P.O.** (2001). Human requirements in future air-conditioning environments. International Journal of Refrigeration, 24, pp. 148-153.
4. **Daanen, H.A.M., E. van de Vliert, X. Huang.** (2003). Driving performance in cold, warm, and thermoneutral environments. Applied Ergonomics, 34, pp. 597-602.
5. **Srinavin, K., S. Mohamed.** (2003). Thermal environment and construction workers' productivity: some evidence from Thailand. Building and Environment, 38, pp. 339-345.
6. **Chaffee, E.E., E.M Greisheimer.** (1964). Basic Physiology and Anatomy. J.B. Lippincott Comp., Philadelphia, Montreal.
7. [http://saglik.tr.net/genel\\_saglik\\_yaz\\_kalp.shtml](http://saglik.tr.net/genel_saglik_yaz_kalp.shtml)
8. **ASHRAE,** (1989). ASHRAE handbook - Fundamentals, chapter 8, Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29p.
9. **ASHRAE,** (1993). ASHRAE handbook - Fundamentals, chapter 37, Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
10. **Kaynaklı, O., U. Unver, M. Kilic.** (2003). Evaluating thermal environments for sitting and standing posture. Int. Comm. Heat and Mass Transfer 30, 8, pp. 1179-1188
11. **McCullough, E.A., B.W. Jones, J. Huck.** (1985). A Comprehensive Data Base For Estimating Clothing Insulation. ASHRAE Transactions 91, 2, pp. 29-47.
12. **Parsons K.C., G. Havenith, I. Holmer, H. Nilsson, J. Malchaire.** (1999). The effects of wind and human movement on the heat and vapour transfer properties of clothing. Annals of Occupational Hygiene 43, 5, pp. 347-352.
13. **McCullough, E.A., B.W. Jones and T. Tamura.** (1989). A data base for determining the evaporative resistance of clothing. ASHRAE Transactions, 95, 2, pp. 316-328.
14. **Kaynaklı, Ö., M. Kılıç.** (2003). Titremenin insan fizyolojisine etkisi ve vazokonstriksiyon ile karşılaştırılması. Mühendis ve Makina Dergisi. Cilt 44, Sayı 527, s.30-40.
15. **Kaynaklı, Ö., Kılıç, M.** (2004). Vazodilatasyonun insan fizyolojisine etkisi ve terleme ile karşılaştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, s.183-194.
16. **Gagge, A.P., J.A.J. Stolwijk, Y. Nishi.** (1971). An effective temperature scale based on a simple model of human physiological response. ASHRAE Transactions, 77, Part 1, pp. 247-262.
17. **Hamdi, M., G. Lachiver, F. Michaud.** (1999). A New Predictive Thermal Sensation Index od Human Response. Energy and Buildings, 29, pp.167-178.
18. **Höppe, P., I. Martinac.** (1998). Indoor climate and air quality. Int. Journal of Biometeorol, 42, pp. 1-7.
19. **Butera, F.M.** (1998). Chapter 3- Principles of thermal comfort. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2, pp. 39-66.
20. **Huizenga, C., Z. Hui and E. Arens.** (2001). A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. Building and Environment, 36, pp. 691-99.
21. **Tanabe, S., E.A. Arens, F.S. Bauman, H. Zhang, T.L. Madsen.** (1994). Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. ASHRAE Transactions, 100(1), pp. 39 - 48.