



İNSAN VÜCUDU İÇİN ISI DENGESİ VE ISIL KONFOR ŞARTLARI

(HEAT BALANCE AND THERMAL COMFORT CONDITIONS FOR HUMAN BODY)

Ömer KAYNAKLI*, Abdulvahap YİĞİT*

ÖZET/ABSTRACT

Isı dengesi, vücuttaki metabolik aktivitelerle üretilen enerji ile vücuttan olan ısı kayıplarının birbirini dengelemesi durumudur. Bu denge, insanların yaşam faaliyetlerini devam ettirebilmesi için gereklidir. Isıl konfor ise, çevreden ısıl olarak hoşnut olma şeklinde tanımlanabildiğinden, his ve duygular ile ilgili bir kavramdır ve bu yönüyle ısı dengesinden farklıdır. Yani, ısı dengesinin kurulduğu her durumda insan kendini konforlu hissetmeyebilir. Isı dengesi konfor için gerekli fakat yeterli şart değildir. Hatta ısı dengesinin kurulduğu sınırlar içerisinde çok dar bir bölgede ısıl konfor şartları sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, vücut ile çevre arasındaki ısı geçişi eşitliklerinden ve ısıl konfor ile fizyolojik denetim mekanizmalarının etkilerini ifade eden amprik bağıntılardan yararlanarak, insanların ısıl konfor şartlarını etkileyen çevresel ve kişisel parametreler incelenmiştir. Çevresel parametrelerden sıcaklık, nem, hız ve kişisel parametrelerden giysinin ısıl direnci ve hareketlilik (metabolik ısı üretimi) gibi parametrelerin, insanın ısıl konfor bölgesinde kalması için nasıl değiştiği ve birbirlerini ne ölçüde etkilediği grafikler halinde verilmiş, vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları, kan debisi, deri ıslaklığı gibi birçok özelliğin ısıl konfor parametreleri ile değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Heat balance is the equilibrium between heat loss from body and the energy produced by the metabolic activities. This equilibrium is need to be continued of metabolic activities of the body. Thermal comfort is the satisfaction expressed with the thermal environment, so that its concept is related with emotions and senses. Hence, the thermal comfort is different from the heat balance. That means human can feel uncomfortable even if the heat balance is obtained. As a result, the heat balance is needed but is not sufficient for the thermal comfort. Moreover, the thermal comfort conditions are obtained in a limited zone in the heat balance boundaries.

In this study, personal and environmental parameters which influence the thermal comfort conditions are examined by the heat transfer equations between body and environment and the empirical equations which state the thermal comfort and physiological control mechanisms effects. To keep the body in thermal comfort zone, change of environmental parameters (i.e. temperature, relative humidity and velocity) and personal parameters (i.e. thermal resistance of clothing and metabolic activities) and their influence on each other are graphically investigated. The change of parameters like sensible and heat loss from the body and the blood rate, the skin wetness by the thermal comfort parameters are comparatively examined.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Isıl konfor, Isıl konfor parametreleri, Isı dengesi.

Thermal comfort, Thermal comfort factors, Heat balance.

* Uludağ Üniversitesi, Müh-Mim. Fak., Makine Müh. Böl., 16059, Görükle, BURSA.

1. GİRİŞ

İnsan vücudu sürekli olarak enerji ürettiği gibi çevreyle de bir ısı etkileşim içindedir. Metabolik aktivitelerle üretilen enerjinin bir kısmı yapılan iş için kullanılmakta, geri kalan önemli bir kısmı çevreye ısı kayıpları şeklinde verilmektedir. Isıl konfor ile ilgili çevresel ve kişisel parametrelerin değişmesi sonucu vücut, denetim mekanizmalarını harekete geçirerek çevre ile ısı dengesi kurmaya çalışır. Yani vücuttan olan ısı kaybını, yaptığı aktiviteler ve denetim mekanizmaları (vazomotor, titreme, terleme gibi faaliyetler) ile karşılama yoluna gider. İnsanlar ile çevre arasında ısı dengesinin kurulması kişinin yaşamını devam ettirebilmesi açısından önemlidir. Ancak ısı dengesi ile konfor şartları farklı kavramlardır ve ısı dengesinin sağlandığı her durumda insan, ısı konfor bölgesinde olmayabilir. Isıl konfor, insanların içinde buldukları ortamdan ısı olarak hoşnut olma duygusu veya bir hissetme hali olduğundan kişiden kişiye farklılık da gösterebilmektedir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, Tanebe vd. (1994) çıplak ve giyinik vücuttan olan ısı kayıplarını belirlemek için bir manken üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Vücudu belli bölümlere ayırarak her bir kısımdaki ısı direnci ve duyulur ısı kayıplarını bulmuştur. Ancak çalışmada, ısı konforla ilgili bir sonuca varılmamış ve ortamdaki hava hızlarının, bağıl nemin ve metabolik aktivitenin etkisi incelenmemiştir. Başka bir çalışmada Yiğit vd. (1995), hava hızı ve hareketlerinin vücuttan olan ısı kayıpları üzerindeki etkisini incelemiştir. Fakat çalışmada, vücudun konfor bölgesinde olması için hava hızı ile diğer ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği belirtilmemiştir. Arıcı vd. (1996) genellikle insanın ısı konforunu etkileyen dört parametreyi (hava sıcaklığı, hızı, izafi nemi ve ortalama ışınım sıcaklığı) belirterek bunların ilk üçünün klima cihazlarıyla kontrol edilebileceğini veya değiştirilebileceğini vurgulamıştır. Dolayısıyla çalışmada bu parametrelerin değişimi üzerinde durmuş ancak insan konforu ile ilgili bir sonuca varmamıştır. Fountain vd. (1999) 20-26 ET* ve %60-%90 izafi nem (9-15 g/kg özgül nem) aralığında inceleme yapmışlar ve metabolik aktivitenin 1,6 met (1 met = 58,2 W/m²) ve üzeri için hiçbir nem değerinde, memnun olmayanların yüzdesi (PPD) %25'in altına inmediği ve aktivite azaldıkça kabul edilebilir nem miktarının da arttığı sonucuna varmıştır. Toftum vd. (1999) ise çalışmada insanların memnuniyetsizliklerini havanın sıcaklığına, nemine ve izafi deri ıslaklığına bağlı olarak incelemiştir. Çalışmada, 26°C için izafi nem %36'nın altında, 23°C için %57'nin altında tutulması önerilmektedir. Ayrıca düşük ve yüksek nemin insan sağlığı ve bina elemanları üzerindeki muhtemel olumsuz etkilerinden bahsedilmektedir.

Bu çalışmada, vücudun ısı dengesinden uzak olmadığı bir halde konfor bölgesinde kalabilmesi için ısı konfor şartlarını etkileyen temel parametrelerin (ortamdaki hava sıcaklığı, nemi, hızı, giysinin ısı direnci ve metabolik aktivite) birbirleriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Çevresel parametrelerden sıcaklık, nem, hız ve kişisel parametrelerden giysi yalıtımı ve hareketlilik (metabolik ısı üretimi) gibi faktörlerin, insanın ısı olarak ortamdan hoşnut olabilmesi için nasıl değiştiği ve birbirlerini ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları, kan debisi, deri ıslaklığı gibi birçok özelliğin ısı konfor parametreleri ile değişimi grafikler halinde verilmiştir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Fanger tarafından geliştirilen sürekli rejim modelleri, vücudun ısı dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. Sürekli rejimde vücutta üretilen ısı enerji, çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıplarına eşittir. Dolayısıyla vücut sıcaklığı zamana

göre değişmez. Vücudun enerji dengesi Eşitlik 1 ile tanımlanabilir. Çalışmada verilen bağıntılar ASHRAE, 1989'dan alınmıştır.

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

Eşitlikteki Q_{sk} terimi, giyinik vücuttan olan toplam ısı kaybını vermekte ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$Q_{sk} = \frac{t_{sk} - t_o}{R_{cl} + 1/(h \cdot f_{cl})} + \frac{w \cdot (p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + 1/(h_e \cdot f_{cl})} \quad (2)$$

burada, ortalama ışınım ve çevre havası sıcaklıklarını içine alan operatif sıcaklık (t_o) değeri;

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h_r + h_c} \quad (3)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Işınım ile ısı geçiş katsayısı için iç ortamlarda yeterli hassasiyeti veren $4,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ değeri ve taşınım ile ısı geçiş katsayısı için de aşağıda verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$h_c = 5,7 \cdot (M - 0,85)^{0,39} \quad (4)$$

Solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ise

$$C_{res} = r_{res} \cdot c_{p,a} \cdot (t_{ex} - t_a) / A_D \quad (5)$$

$$E_{res} = r_{res} \cdot h_{fg} \cdot (W_{ex} - W_a) / A_D \quad (6)$$

burada,

$$r_{res} = K_{res} \cdot M \quad (7)$$

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066 \cdot t_a + 32 \cdot W_a \quad (8)$$

$$W_{ex} = 0,0277 + 0,000065 \cdot t_a + 0,2 \cdot W_a \quad (9)$$

ifadeleriyle bulunabilir. Vücudun ısı dengesi eşitliğindeki yapılan işi gösteren W değeri, vücudun mekanik verimi %5 alınarak

$$W = 0,05 \cdot M \quad (10)$$

eşitliğiyle bulunmuştur. Deriden buharlaşma yoluyla ısı kaybı, deri yüzeyi ıslaklığına, deri yüzeyi ile ortam arasındaki su buharının kısmi basıncı farkına ve giysinin buharlaşma direncine bağlıdır. Deriden olabilecek maksimum buharlaşma potansiyeli derinin tümünün ıslak olması durumu için bulunabilir. Bu durumda maksimum ısı kaybı;

$$E_{sk} = (p_{sk,s} - p_a) / (R_{e,cl} + 1/(f_{cl} \cdot h_e)) \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Gerçekte deriden buharlaşma ile olan toplam ısı kaybı, vücudun salgılamış olduğu terin buharlaşması ve terin deriden doğal difüzyonu ile gerçekleşir. Bu durumda;

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (12)$$

ile bulunabilir. Burada,

$$E_{rsw} = r_{rsw} \cdot h_{fg} \quad (13)$$

$$E_{dif} = 0,06 \cdot (E_{max} - E_{rsw}) \quad (14)$$

eşitlikleriyle bulunabilir. Deri yüzeyindeki su buharının doyma basıncı,

$$\log p_{sk,s} = 6,89643 \cdot \left(6,21147 - \frac{2886,373}{t_{sk} \cdot 1,8 + 491,7} - \frac{337269,46}{(t_{sk} \cdot 1,8 + 491,7)^2} \right) \quad (15)$$

ifadesi ile bulunmuştur. İç vücut ve deri tabakası arasındaki kan dolaşımı sıcaklık denetim sinyalleri cinsinden matematiksel olarak Eşitlik 16 yardımıyla ifade edilebilir.

$$r_{bl} = [(6,3 + 200 \cdot WSIG_{cr}) / (1 + 0,5 \cdot CSIG_{sk})] / 3600 \quad (16)$$

Burada $WSIG_{cr}$ ve $CSIG_{sk}$, sıcaklık denetim sinyalleridir ve $WSIG_{cr}$ vücut iç bölme sıcaklığının nötr değeri ($36,8^\circ\text{C}$) aştığı durumda ve $CSIG_{sk}$ deri bölmesi sıcaklığının nötr değerinin ($33,7^\circ\text{C}$) altına düşmesi durumunda gönderilir. Sinyaller sayısal olarak gerçek sıcaklık ile nötr sıcaklık arasındaki fark olarak tanımlanır ve

$$WSIG_{cr} = t_{cr} - t_{cr,n} \quad (17)$$

$$CSIG_{sk} = t_{sk,n} - t_{sk} \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Kan debisindeki değişimler, deri ve iç vücut bölmelerinin göreceli kütlelerini etkilemektedir. Bu etki

$$a = 0,0418 + 0,745 / (3600 \cdot r_{bl} + 0,585) \quad (19)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Buraya kadar, vücudun ısı dengesinin hesaplanabilmesi için yararlanılabilecek bir takım eşitlikler verilmiştir. Ancak ısı dengesi, tek başına konfor için yeterli değildir. Çünkü vücudun ısı dengesinin sağlanabileceği çok geniş çevre şartları vardır. Bu geniş çevre şartlarından dar bir bölgede ısı konfor sağlanabilmektedir. Belirli bir metabolik ısı üretiminde ısı konforu sağlayan vücudun deri bölmesi sıcaklığı ve terleme ile oluşan ısı kaybı miktarı aşağıda verilen amprik bağıntılarla bulunabilmektedir.

$$t_{sk,req} = 35,7 - 0,0275 \cdot (M - W) \quad (20)$$

$$E_{rsw,req} = 0,42 \cdot (M - W - 58,15) \quad (21)$$

Hareketlikli düzeyi (yani metabolik aktivite) arttıkça fizyolojik denetim mekanizmaları normal vücut sıcaklığını korumak için harekete geçer ve vücut deriye olan kan akışını artırır. Bu şekilde deriden çevreye olan ısı geçişi artar. Yukarıda verilen iki amprik bağıntı ısı konfor parametreleri ile ısı geçişini birbirine bağlar. Bu değerler Eşitlik 2 ve 12'de yerlerine konursa vücudun enerji dengesini gösteren Eşitlik 1 yardımıyla konforu optimize eden, insan ve çevre ile ilgili temel parametrelerin değişimi bulunabilir.

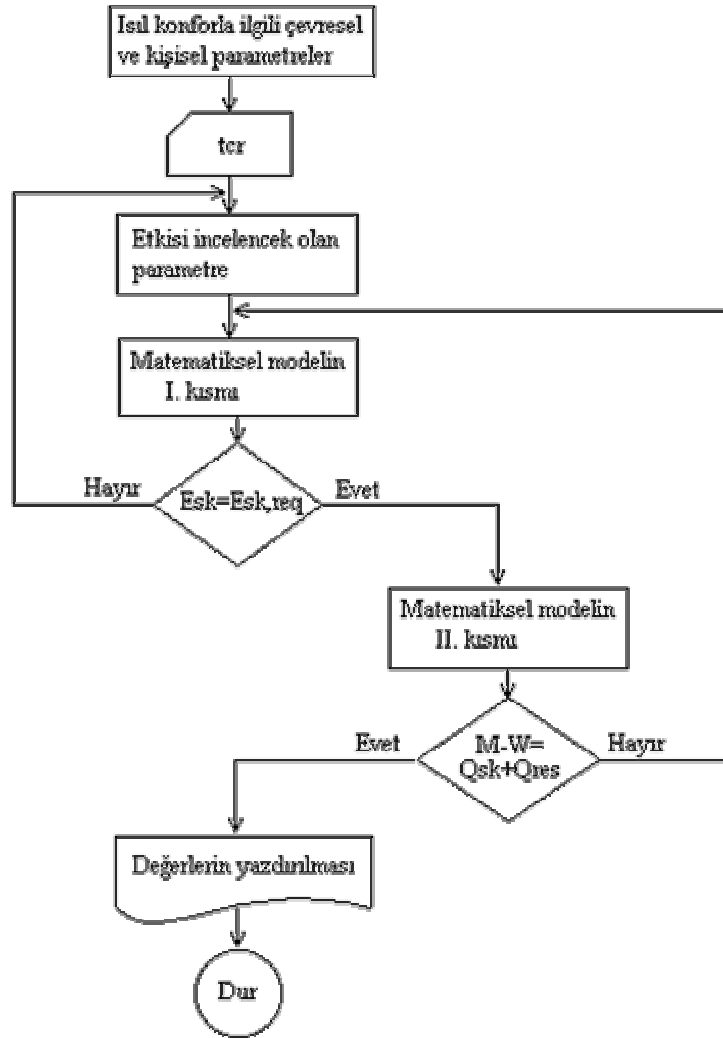
3. SİMÜLASYON

Matematiksel model kısmında verilen bağıntılar Fortran programlama diliyle bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Programın akış şeması aşağıda verilmiştir. Program ilk olarak belirli bir metabolik aktiviteye sahip bir insanın, şartları belli olan bir ortamda gerekli t_{sk} ve E_{rsw} değerlerini vermekte daha sonra iterasyon ile bu değerleri sağlayan t_{cr} sıcaklığını bulmaktadır. Bulunan bu sıcaklıklardan hareketle vücuttan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları bulunmakta ve enerji dengesini veren Eşitlik 1'de yerine koymaktadır. Eğer eşitlik sağlanmıyorsa program başa dönmekte ve istenilen parametreyi değiştirilerek ısı dengesi sağlanıncaya kadar iterasyona devam etmektedir. Isıl konforu optimize eden temel parametrelerden biri değiştirilerek konfor

şartlarının bozulmaması için bu değişimin diğer parametreleri nasıl ve ne ölçüde etkilediği bulunabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İnsan vücudu ile çevre arasında ısı dengesinin kurulması kişinin yaşamını devam ettirebilmesi açısından önemlidir. Ancak ısı dengesi ile konfor şartları farklı olgulardır ve ısı dengesinin sağlandığı her durumda insan ısı konfor bölgesinde demek değildir. Vücut sıcaklıkları fizyolojik denetim mekanizmaları sayesinde çok geniş çevre şartları aralığında ısı dengesini kurabilmekte ve kişi yaşamını devam ettirebilmektedir. Fakat bu geniş aralığın çok dar bir bölgesinde insan kendini ısı olarak konforlu hissetmekte ve ısı çevreden hoşnut olmaktadır.



Şekil 1. Akış şeması

Bu çalışmada, vücudun hem ısı dengesinin kurulması hem de konfor bölgesinde kalabilmesi için ısı konfor şartlarını etkileyen temel parametrelerin (ortamdaki hava sıcaklığı, nemi, hızı, giysinin ısı direnci ve metabolik aktivite) birbirleriyle olan ilişkileri incelenmiştir.

Ortam sıcaklığı ve metabolik aktivitenin, giysinin ısı direnci ve ısı kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Bu grafiklerde izafi nem %50 ve hava hızı yaklaşık sıfır (durgun) kabul edilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü gibi ortam sıcaklığının artmasıyla beraber

deriden buharlaşmayla olan ısı kayıpları da artmaktadır. Bu artış, terin deriden doğal difüzyonuyla olan ısı kaybının artmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü ortam sıcaklığının artması, giysinin ısıl direncinin azaltılması gerektiği sonucunu doğurmakta bu da doğal olarak difüzyonu artırmaktadır (Şekil 3). $M=60 \text{ W/m}^2$ için r_{rsw} sıfırdır ve deri tabakası ve iç bölme sıcaklıkları sırasıyla $34,13^\circ\text{C}$, ve $36,72^\circ\text{C}$ çıkmıştır. Solunum kayıpları ortam sıcaklığının artmasıyla azalmakla beraber toplam kayıplar içindeki oranı sürekli küçük kalmaktadır.

Metabolik aktivitenin artmasıyla kan debisi de artmaktadır. $M=60 \text{ W/m}^2$ için kan debisi $0,0018 \text{ kg/sm}^2$ iken $M=120 \text{ W/m}^2$ için $0,0114 \text{ kg/sm}^2$ değerine ulaşmakta yani yaklaşık 5 kat artmaktadır. Yine aktivitenin artmasıyla vücut, ısı kayıplarını dengelemek için t_{sk} sıcaklığını azaltmakta ve terleyerek E_{rsw} değerini artırmaktadır. 90 W/m^2 ve 120 W/m^2 metabolik aktiviteler için gerekli t_{sk} ve E_{rsw} sırasıyla $33,35^\circ\text{C}$, $11,49 \text{ W/m}^2$ ve $32,57^\circ\text{C}$, $23,46 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu değerler metabolik aktiviteye bağlı olup (Eşitlik 20 ve 21) ortam sıcaklığı ile değişmediğinden, ortam sıcaklığı arttıkça vücudun ısıl konfor şartlarının bozulmaması için I_{cl} 'la beraber deri sıcaklığı da azalmaktadır. I_{cl} ile deri sıcaklığının birlikte azalması E_{rsw} 'nin sabit kalmasını sağlamak ancak E_{dif} 'i oldukça artırmaktadır. Bu esnada taşınım ve ışınım ile olan kayıplar ortam sıcaklığının artmasıyla doğal olarak azalmaktadır.

Şekil 3'ten görüldüğü gibi, giysi yalıtımı $0,5 \text{ clo}$, metabolik aktivite 90 W/m^2 (~1,5 met) olan bir insan yaklaşık 24°C ortam sıcaklığında (izafim nem %50 olmak kaydıyla), metabolik aktivite 120 W/m^2 (~2 met) olan bir insan ancak yaklaşık 21°C ortam sıcaklığında kendini konforlu hissetmektedir.

Şekil 4,5 ve 6'da izafi nemin konfor şartlarına etkisi görülmektedir. Bu grafiklerde ortam sıcaklığı 25°C alınmıştır. Şekil 4'den metabolik aktivitenin artmasıyla giysinin ısıl direncinin azaltılması gerektiği görüldüğü gibi yüksek izafi neme sahip ortamlarda da vücudun ısıl dengesi açısından giysinin ısıl direncinin azaltılması gerektiği anlaşılmaktadır. $M=60 \text{ W/m}^2$ 'de izafi nem $0,2$ için $I_{cl}=0,695 \text{ clo}$ iken $0,5$ için $0,625 \text{ clo}$, $0,8$ için $0,57 \text{ clo}$ 'dur. Şekil 5 ve 6'da metabolik aktivite ile beraber deri ıslaklığı ve deriden buharlaşmayla olan toplam ısı kaybının (E_{sk}) arttığı görülmektedir. Şekil 5'de E_{sk} değerindeki artış, özellikle E_{rsw} 'e bağlı olmakla beraber düşük oranda E_{dif} 'e de bağlıdır. E_{rsw} , metabolik aktiviteye bağlı olduğundan, izafi nemlere göre deriden olan toplam gizli ısı kaybındaki (E_{sk}) fark, E_{dif} 'ten kaynaklanmaktadır. Ortamın izafi nemi arttıkça terin deriden doğal difüzyonu az da olsa azalmaktadır. Deri ıslaklığı, hem hareketlilik ile hem de ortamın izafi nemiyle artmaktadır (Şekil 6). Ortamın izafi nemindeki artış deriden buharlaşmayla olan toplam ısı kaybını etkilediğinden vücut, deri ıslaklığını artırmaktadır. Bu etki özellikle yüksek aktivitelerde kendini daha çok göstermektedir. Düşük aktivitede (1 met gibi) ortamın izafi nemi ne olursa olsun deri ıslaklığı sabit ve minimum değeri olan $0,06$ 'da kalmaktadır. Metabolik aktivite ve bununla beraber izafi nem arttıkça, deri ıslaklığı da doğal olarak artmaktadır. Deri ıslaklığındaki artış, vücudun gerekli ısı kaybını sağlayabilmesi için salgılanan ter miktarını artırmamasından kaynaklanmaktadır. Bu esnada vücut iç bölme sıcaklığı ise doğal olarak metabolik aktivite ile artmaktadır.

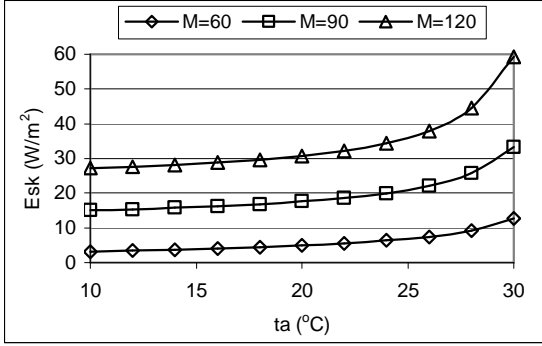
Şekil 7'de giysinin ısıl direncinin hava hızı ile değişimi verilmiştir. Bu grafiklerde ortam şartları 25°C ve %50 izafi nemdir. Ortamdaki hava hızının artmasıyla giysinin ısıl direnci azalarak artmaktadır. Bu, taşınım katsayısının lineer olarak artmamasından kaynaklanmaktadır. Düşük aktivitelerde ve yüksek hava hızlarında, ısıl konfor bölgesinde kalınması açısından giysinin ısıl direnci artırılmalıdır. Aktivite yani metabolik ısı üretimi arttıkça vücudun ısı dengesinin korunması için giysinin ısıl direnci azaltılmalıdır.

Şekil 3 ve 4 birlikte incelendiğinde, ortam sıcaklığı ile izafi nem ve metabolik aktiviteyle giysinin ısı direnci arasındaki ilişki görülebilir. Verilen grafiklerden, insanların aktivitesi arttığında daha düşük ortam sıcaklığından hoşnut olduğu ve belirli bir aktivite değeri için ortam sıcaklığının artmasıyla konfor şartlarının bozulmaması için izafi nemin azalması gerektiği görülmektedir. Örnek olarak, yaklaşık 2 met aktiviteye ve 0,5 clo giysi yalıtımına sahip bir kişi, 21°C sıcaklığında bir ortamda gerekli E_{rsw} ve t_{sk} değerlerini sağlayabilmesi için izafi nemin 0,79 olması gerekirken eğer ortam sıcaklığı 22°C olursa izafi nem 0,23 olmalıdır. Ortam sıcaklığının ve izafi neminin artmasıyla daha düşük ısı dirence sahip giysilerin giyilmesi gerektiği yine aynı grafiklerden görülmektedir.

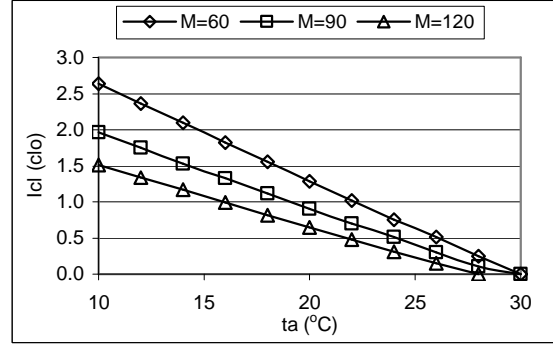
Bu çalışmada, insanın yapmış olduğu aktivitede konfor bölgesinde kalabilmesi için, gerekli deri tabakası sıcaklığı ve terlemeyle olan ısı kaybı değerleri için verilen ifadeler esas alınarak ortam şartları (sıcaklık, nem, hava hızı) veya mevcut ortamda gerekli giysinin ısı direnci gibi çeşitli parametrelerin değişimi ve birbirine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonunda varılan sonuçlar özetle şunlardır;

- İnsanların aktivitelerinin yüksek olduğu bir ortamda kendilerini rahat hissedebilmeleri için ısı direnci düşük giysiler giyilmeli veya ortam sıcaklığı düşük olmalıdır. Örnek olarak, 24°C sıcaklığındaki bir ortamda aktivite yaklaşık 1 met için giysi direnci 0,75 clo iken aktivite düzeyi 2 met'e yükseldiğinde giysi direnci 0,31 clo'ya inmektedir.
- Deriden terin buharlaşması yoluyla gerçekleşen gizli ısı kaybı (E_{rsw}) aktiviteyle artmaktadır. Ancak farklı ortam sıcaklıklarında olsa dahi Eşitlik 21'e göre belirli bir aktivite için deriden terin buharlaşmasıyla gerekli olan ısı kaybı ($E_{rsw,req}$) sabit olmalıdır. Ortam sıcaklığının arttığı durumlarda bu değer sabit olabilmesi için yalıtım kalınlığı azaltılmalıdır. Yalıtım kalınlığının azaltılması, ortalama deri ıslaklığının azalması suretiyle E_{rsw} değerine etkimektedir.
- Şekil 2'de görülen ortam sıcaklığı ile E_{sk} değerindeki artış tamamen E_{dif} 'ten kaynaklanmaktadır. Çünkü $E_{rsw,req}$, metabolik aktiviteye bağlı olduğundan ortam sıcaklığı ile değişmemektedir. Ortam sıcaklığının artması ile giysinin ısı direnci azaldığından dolayı terin doğal difüzyonuyla çevre ortamına geçişi kolaylaşmaktadır.
- Ortamın izafi nemi arttıkça, deri yüzeyi ile ortam arasındaki su buharı kısmi basınç farkı azalmakta ve bu azalma sonucu deriden buharlaşma ile ısı kaybı rahat olmamakta ve insan daha fazla terlemektedir. Bu sebeple deri ıslaklığı ortamın izafi nemi ile artış göstermektedir
- İnsanların, izafi nemi yüksek olan ortamlarda kendilerini konforlu hissedebilmeleri için yalıtım direnci düşük giysiler giymelidir. Ancak izafi nemin etkisi ortam sıcaklığı kadar önemli değildir. Örnek olarak, metabolik aktivitesi 1 met olan bir insan 0,50 izafi neme sahip bir ortamda 0,625 clo yalıtım direnci olan giysilerle rahat edebilirken izafi nem 0,80'e çıkarsa giysi yalıtımı 0,57'a inmektedir.
- İzafi nemi yüksek ortamlarda deri ıslaklığı daha fazla olmakta ama kütle transferi için gerekli olan konsantrasyon farkı azaldığından terin difüzyonu ile olan ısı kaybı bir miktar azalmaktadır.
- Ortamdaki hava hareketlerinin artması ısı kayıplarını artırmaktadır. Yüksek hava hızlarının olduğu ortamlarda insanların rahat ve konforlu hissedebilmeleri için giysi kalınlıkları artırılmalıdır. Dinlenme durumunda ve hava hızının 0,2 m/s olduğu bir ortamda bulunan bir kişi ısı olarak konforlu olabilmesi için $I_{cl}=0,74$ clo iken hava hızı 2 m/s'ye çıktığında $I_{cl}=1,11$ clo olmaktadır.

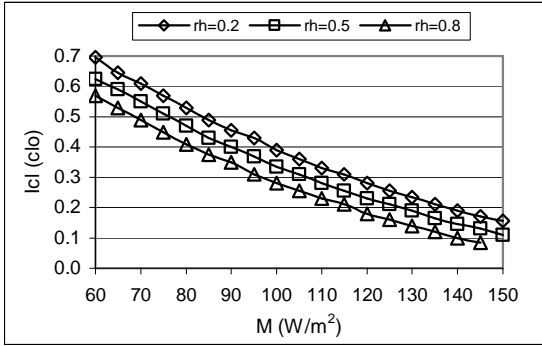
- Sabit bir ortam sıcaklığı için, metabolik aktivite veya giysinin ısı direnci arttıkça insan daha düşük izafi nem değerlerinde kendini rahat hissetmektedir (Şekil 3 ve 4).



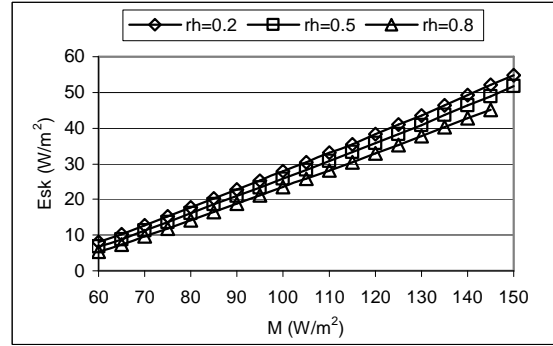
Şekil 2. E_{sk} değerinin farklı aktivitelere göre t_a sıcaklığı ile değişimi



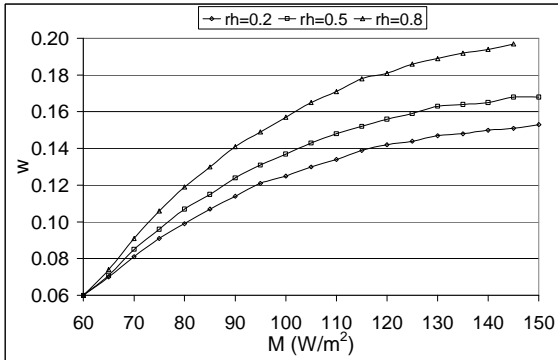
Şekil 3. I_{cl} değerinin farklı aktivitelere göre t_a sıcaklığı ile değişimi



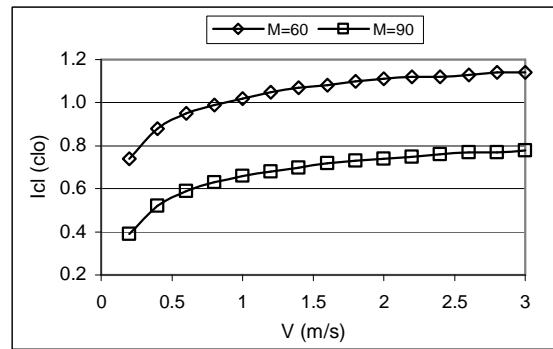
Şekil 4. I_{cl} değerinin farklı izafi nemlerde aktivite ile değişimi



Şekil 5. E_{sk} değerinin farklı izafi nemlerde aktivite ile değişimi



Şekil 6. Deri ıslaklığının farklı izafi nemlerde aktivite ile değişimi



Şekil 7. I_{cl} değerinin farklı metabolik aktivitelere göre hava hızı ile değişimi

KAYNAKLAR

- Arııcı Ö., Yang S.L., Huang C.C. (1996): "A Numerical Simulation Model For Automobile Passenger Compartment Climate Control and Evaluation", International Energy and Environment Symposium, 1081-1087p.
- Fountain M.E, Arens E.A., Tengfang X., Bauman F.S., Oguru M. (1999): "An Investigation of Thermal Comfort at High Humidities", ASHRAE Transactions, Vol. 94, 94-102p.
- Tanebe S., Arens E.A., Bauman F.S. (1994): "Evaluating Thermal Environments by Using a Thermal Manikin With Controlled Skin Surface Temperature", ASHRAE Transactions 100 (1), 39-48p.
- Toftum J., Fanger P.O. (1999): "Air Humidity Requirements for Human Comfort", ASHRAE Transactions, Vol. 99, 641-647p.
- Yiğit A., Horuz İ. (1995): "Hava Hızı ve Hareketlerinin Isıl Konfor Şartlarına Etkisi", Ankara, 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 603-612s.