



OTOMOBİL İÇİNDEKİ HAVA HIZI VE HAREKETLERİNİN ISIL KONFOR ŞARTLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ömer KAYNAKLI, Recep YAMANKARADENİZ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle/Bursa

Geliş Tarihi : 17.04.2002

ÖZET

Bu çalışmada, insan vücudunun çeşitli kısımlarından olan ısı kayıpları, üretilen ter miktarı ve buna bağlı olarak deri ıslaklıkları belirlenmiş ve bunların ısı konfor şartlarına etkisi incelenmiştir. Vücut üzerindeki hava hızlarının ve giyilen giysilerin ısı ve buharlaşma dirençlerinin farklılığı göz önünde bulundurularak 16 alt kısma ayrılan insan vücudunun her bir kısmının çevreyle olan ısı ve kütle transferinin simülasyonu yapılmıştır. Kurulan modelin geçerliliği deneysel bir çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılarak ortaya konduktan sonra ısı transfer katsayısı, duyulur ve gizli ısı kayıpları, deri ıslaklığı ve tahmini memnuniyetsizlik oranı PPD'nin değişimi, farklı hava hızı, sıcaklığı ve giysi grupları için incelenmiştir. Sonuç olarak, hava hızları arttıkça vücut üzerindeki ortalama deri ıslaklıkları azalmaktadır ve ısı transfer katsayıları hava hızı ile arttığından vücuttan çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıpları artmaktadır. Ancak duyulur ısı kaybındaki artış gizli ısı kaybına göre daha fazla olmaktadır. Hava hızlarından en çok etkilenen parametre ise PPD indeksi olmuştur.

Anahtar Kelimeler : Otomobil, Isıl konfor, Hava hızı

AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AIR VELOCITY AND MOVEMENT ON THE THERMAL COMFORT INSIDE AN AUTOMOBILE

ABSTRACT

In this study, heat loss from various parts of human body, generated sweat mass and skin wetness depends on this are determined and their effect on thermal comfort are investigated. In the model human body is examined as divided into 16 parts and heat and mass transfer from each parts is simulated, as air flow velocity over the surface and thermal and evaporation resistance of clothing are accounted for the model. After checking the validity of the model (in comparison with results as an experimental study) heat transfer coefficients, sensible and latent heat loss, skin wetness and variations of predicted percentage of dissatisfied (PPD) are investigated for various air velocities, air temperatures and clothing groups. It is included that, average skin wetness decreases with increasing air velocity and sensible and latent heat losses increase due to the increase in heat transfer coefficient with increasing air velocity. However increase in sensible heat loss is more than latent heat loss. The most sensitive parameter to the air velocity is PPD.

Key Words : Automobile, Thermal comfort, Air velocity

1. GİRİŞ

Isıl konfor, insanın bulunduğu ortamdan ısı olarak memnuniyeti şeklinde tanımlanabilir. Bu sebeple, his ve duygular ile ilgili bir kavram olan ısı konfor

genel olarak, ortam sıcaklığına, bağıl neme, ortamdaki hava hareketlerine, ışıma sıcaklığına, kişinin hareketliliğine (metabolik aktiviteye) ve giysi dirençlerine bağlıdır (Anon., 1989). Hava hızı ve hareketleri konforu etkileyen önemli

parametrelerden biridir. İnsan vücudu ile çevre arasındaki duyulur ve gizli ısı geçişi, deri tabakası sıcaklığı ve hava hızlarına bağlıdır. Havanın hızı toplam ısı geçiş katsayısı hesabında etkin bir rol üstlenmektedir (Yiğit ve Horuz, 1995).

Hava hareketlerinin artması konveksiyon ve evaporasyon kayıplarını da artırmaktadır. Bir ortam istenilen sıcaklıkta tutulsa dahi ortamdaki hava hareketlerinden dolayı kişi kendini konforlu hissetmeyebilir. Ayrıca yine, insan vücudu üzerindeki ortalama hava hızı konfor için belirtilen sınırlar içinde olsa da vücut üzerindeki yerel hava hızlarının farklı oluşu kişinin kendisini konforlu hissetmemesine neden olabilir.

Bu sebeple hava hızı ve hareketlerinin kontrolü özellikle otomobil gibi iç hacmi küçük fakat ısı kayıp ve kazançları büyük olan mekanlarda daha fazla önem arz etmektedir. Otomobillerin iç hacmi, diğer iklimlendirme uygulamalarına göre (evler, ofisler, alış-veriş merkezleri) göreceli olarak küçüktür. Küçük hacimde hava hızı ve hareketleri ısı konfor açısından daha fazla öneme sahiptir. Soğuk kış veya sıcak yaz aylarında otomobilin içerisini konfor şartlarında tutabilmek için önemli ölçüde ısıtma veya soğutma gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için yüksek debide hava sürücü ve yolcular üzerine gönderilmekte ve bu havanın iç hacme düzgün olarak dağıtımını yapılamaması durumunda vücut üzerinde yerel konforsuzluklar oluşabilmektedir. Hava hızının yüksek olduğu vücut bölgelerinde gereğinden fazla ısı kaybı olacağından ısı konforsuzluğun yanında sağlık problemlerine de yol açabilecektir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, Burch et al., (1991) çok soğuk kış şartlarında otomobil içindeki konfor şartlarını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, ısıtma sürecinde otomobil iç sıcaklığının zamanla değişimi verilmiş ve bu esnadaki ortam şartlarının ısı duyumu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ancak çalışmada vücut sıcaklıklarının değişimi ve metabolik aktivitenin, giysi dirençlerinin, ortam bağıl neminin ve hava hızlarının etkileri üzerinde durulmamıştır. Yiğit (1998), vücudun çeşitli bölümlerinden olan ısı kayıplarını farklı giysiler için incelemiştir. Fakat çalışmada, vücudun konfor şartlarında olması için ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği ve birbiriyle olan etkileşimleri belirtilmemiştir. Yiğit ve Horuz (1995), hava hızı ve hareketlerinin vücuttan olan ısı kayıpları üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, vücudun konfor bölgesinde olması için hava hızı ile diğer ısı konfor parametrelerinin nasıl değiştiği belirtilmemiştir. Tanebe et al., (1994), insan vücudunun çeşitli bölümlerinden olan duyulur ısı kayıplarını bir ısıl manken üzerinde deneysel olarak incelemişlerdir.

Göz önüne alınan her bölümdeki ısı direnç ve toplam ısı geçiş katsayısı bulunmuştur. Ancak çalışmada, ısı konforla ilgili bir sonuca varılmamış ve ortamdaki hava hızlarının, bağıl nemin ve giysi dirençlerinin etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmada, insan vücudunun çeşitli kısımlarından olan ısı kayıplarının tespiti için kurulan modelde, vücut 16 alt bölmeye ayrılmıştır. Kurulan modelin güvenilirliği daha önce bir ısıl manken üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılarak ortaya konmuştur. İlk olarak vücudun göz önüne alınan her bölgesindeki ısı geçiş katsayıları verilerek duyulur ve gizli ısı kayıpları bulunmuştur. Daha sonra konfor hissini önemli ölçüde etkileyen ortalama deri ıslaklığı değerleri verilmiştir. Vücut üzerindeki ortalama hava hızının ısı kayıplarına etkisi incelendikten sonra hava hızının PPD (memnun olmayanların yüzdesi) değeri üzerine etkisi ve konfor şartlarının bozulmaması için farklı giysi dirençlerinde hava hızı ile ortam sıcaklığının değişimi incelenmiştir.

2. METOT VE MATEMATİKSEL MODEL

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi, insan vücudunun her noktasında hava hızı aynı değildir. Burch et al., (1991) yapmış olduğu deneysel çalışmasında oturan bir insan üzerindeki hava hızlarını tespit etmiştir. (Tablo 1). Çalışmada, insan vücudunun çeşitli bölgelerinden olan ısı kayıplarının hesabında bu hız değerleri kullanılmıştır. Tabloda verilen hızlardan yola çıkarak insan vücudu üzerindeki ortalama hava hızı 0.14 m/s bulunmuştur. Yani tabloda verilen hız değerlerinin kullanılması durumunda vücuttan olan ısı kaybı ile vücudun her yerindeki hızın 0.14 m/s olması durumunda meydana gelen ısı kaybı aynı olmaktadır.

Tablo 1. Vücudun Çeşitli Kısımlarındaki Hava Hızları (Burch et al., 1991)'den alınmıştır

Bölge	Hava hızı (m/s)
Baş	0.13
Gövde	0.11
Sağ üst kol	0.12
Sol üst kol	0.13
Eller	0.11
Sağ diz	0.18
Sol diz	0.21
Sağ ayak bileği	0.66
Sol ayak bileği	0.62

İnsan vücudunun her yerinde hız değerleri aynı olmadığı gibi giyilen giysilerin cinsi, kalınlığı

dolayısıyla ısı ve buharlaşma dirençleri de aynı değildir. Bu sebeple vücut üzerindeki giysi grupları da dikkate alınması sonucu 16 bölgeye ayırarak incelenen insan vücudunun her kısmının yüzey alanları ve toplam yüzey alan içindeki oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Vücut Kısımları ve Yüzey Alanları (Olesen et al., 1988)’den alınmıştır

Vücut kısmı	Kısım numarası	Yüzey alanı (m ²)	Toplam vücut yüzey alanına oranı (%)
Sol ayak	1	0.062	3.5
Sağ ayak	2	0.062	3.5
Sol diz altı	3	0.14	8.0
Sağ diz altı	4	0.14	8.0
Sol uyluk	5	0.16	9.1
Sağ uyluk	6	0.16	9.1
Pelvis (Ağız arası)	7	0.08	4.6
Baş	8	0.18	10.3
Sol el	9	0.05	2.9
Sağ el	10	0.05	2.9
Sol ön kol	11	0.062	3.5
Sağ ön kol	12	0.062	3.5
Sol üst kol	13	0.077	4.4
Sağ üst kol	14	0.077	4.4
Göğüs	15	0.185	10.6
Sırt	16	0.204	10.7
Tüm vücut		1.751	100.0

Sürekli rejimde vücutta üretilen ısı enerji, çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıplarına eşittir. İnsan vücudu ile çevre arasındaki enerji dengesi 1 numaralı denklem ile tanımlanabilir (Anon., 1989);

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

Burada, M, metabolik ısı enerji üretimi olup daima pozitifdir. Vücudun bütün hücrelerinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu ısının serbestlenme hızı olarak ifade edilebilir (Semiz, 1990). W, kaslar tarafından yapılan mekanik iş olup bir çok iş için sıfıra yakındır (Anon., 1989). Q_{res}, solunum yoluyla çevreye olan toplam ısı geçişini göstermektedir ve duyulur (C_{res}) ve gizli (E_{res}) ısı geçişlerin toplamıdır. Bir çok durumda verilen ifadeye pozitif olarak dahil edilir ancak çok özel durumlarda çevre havasının sıcaklığı ve izafi nemine bağlı olarak negatif de olabilir. Q_{sk} terimi, giyinik vücuttan olan toplam ısı kaybını vermekte olup duyulur (C+R) ve gizli (E_{sk}) ısı geçişlerin toplamıdır. C ve R terimleri sırasıyla deriden çevreye olan taşınım ve ışınım yoluyla olan ısı geçişlerini göstermektedir. Çevre havasının ve insanı çevreleyen yüzeylerin sıcaklığına bağlı olarak pozitif veya negatif olabilirler. Vücut yüzey sıcaklığı, çevre havası ve yüzeylerin sıcaklığından fazla olduğu zaman yukarıda verilen ifadeye pozitif olarak dahil

edilir. Aksi bir durumda ise, çevreden insan vücuduna duyulur bir ısı geçişi olacaktır ki bu ısı geçişi, vücudun sıcaklığını artırmaya yöneliktir. E_{sk}, deriden olan toplam buharlaşma kaybını göstermektedir. Bu kayıplar, vücut tarafından üretilen terin buharlaşması ve çevre havasına difüzyonu yollarıyla olan ısı kayıplarının toplamını ifade etmektedir. Buharlaşma sonucu vücuttan ısı kaybolacağından E_{sk} daima pozitifdir (Aybers, 1978). Deriden olan toplam ısı kaybı aşağıda verilen denklem yardımıyla bulunabilir (Anon., 1989).

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

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. Taşınım (h_c) ve ışınım (h_r) ısı geçiş katsayıları birleştirilerek duyulur ısı geçiş katsayısı (h) şeklinde tanımlanır.

$$h = h_c + h_r \quad (4)$$

Işınım ile ısı geçiş katsayısı için (McCullough et al., 1989) tarafından verilen ve iç ortamlarda yeterli hassasiyeti sahip 4,7 W/(m²K) değeri ve taşınım ile ısı geçiş katsayısı için de aşağıda verilen denklem kullanılmıştır.

$$h_c = 8.3 \cdot V^{0.8} \quad (5)$$

Solunum yoluyla olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ise;

$$C_{res} = \dot{m}_{res} \cdot c_{p,a} \cdot (T_{ex} - T_a) \quad (6)$$

$$E_{res} = \dot{m}_{res} \cdot h_{fg} \cdot (W_{ex} - W_a) \quad (7)$$

Burada,

$$\dot{m}_{res} = K_{res} \cdot M \quad (8)$$

$$T_{ex} = 32.6 + 0.066 \cdot T_a + 32 \cdot W_a \quad (9)$$

$$W_{ex} = 0.0277 + 0.000065 \cdot T_a + 0.2 \cdot W_a \quad (10)$$

ifadeleriyle bulunabilir.

Deriden buharlaşma yoluyla ısı kaybı, deri yüzeyi ıslaklığına, deri yüzeyi ile ortam arasındaki su

buharının kısmi basınç farkına ve giysinin buharlaşma direncine bağlıdır. Deriden olabilecek maksimum buharlaşma potansiyeli derinin tümünün ıslak olması durumu için bulunabilir. Bu durumda maksimum ısı kaybı;

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

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,

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} \cdot h_{fg} \quad (13)$$

$$E_{dif} = w_{dif} \cdot E_{\max} \quad (14)$$

$$w_{dif} = 0.06 \cdot (1 - w_{rsw}) \quad (15)$$

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{\max}} \quad (16)$$

$$w = w_{dif} + w_{rsw} \quad (17)$$

denklemleriyle bulunabilir. Deri yüzeyindeki su buharının doyma basıncı için,

$$\log p_{sk,s} = \left(42.837 - \frac{19905.67}{T_{sk} \cdot 1.8 + 491.7} - \frac{2325955.2}{(T_{sk} \cdot 1.8 + 491.7)^2} \right) \quad (18)$$

ifadesi kullanılmıştır. Belirli bir metabolik ısı üretiminde ısıl konforu sağlayan, vücudun deri bölmesi sıcaklığı ve terleme ile oluşan ısı kaybı miktarı aşağıda verilen ampirik bağıntılarla bulunabilmektedir.

$$T_{sk,req} = 35.7 - 0.0275 \cdot (M - W) \quad (19)$$

$$E_{rsw,req} = 0.42 \cdot (M - W - 58.15) \cdot A_{\text{top}} \quad (20)$$

Bir ortamın sıcaklığı sayısal olarak ifade edilmesine rağmen, konfor hissi diğer fizyolojik duyular gibi niteliksel olarak değerlendirilir. Isıl çevrenin bir grup tarafından fizyolojik değerlendirilmesini sayısalılaştırmak amacıyla kullanılan tahmini ortalama oy (PMV) ısıl konfor ölçütü aşağıda verilen 7 noktalı sayısal ölçeğe dayanmaktadır.

+ 3 sıcak	- 3 soğuk
+ 2 hafif sıcak	- 2 hafif soğuk
+ 1 ılık	- 1 serin
0 nötr	

PMV değeri, verilen bir çevrede vücuttan olan gerçek ısı geçişi ile vücudun üretmiş olduğu ısı arasındaki farka bağlı olup aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$PMV = (0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028) L \quad (21)$$

Burada, L değeri, vücut üzerindeki ısı yükü göstermekte olup, iç ısı üretimi ile, bulunulan ortamda konfor kriterlerini sağlayan T_{sk} ve E_{rsw} değerlerine sahip bir insanın ısı kaybı arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. PMV için verilen 21 numaralı eşitlik kullanılarak, belli bir ısıl çevrenin, insanları çoğunluğu tarafından yukarıda verilen skalaya göre nasıl algılanacağını tahmin etmek mümkündür. Ancak bu ortalama değere bakarak, söz konusu ortamdaki insanların hangi oranda bu ortamı ısıl çevre açısından konforlu bulduklarını veya bulmadıklarını tahmin etmek mümkün değildir. Bunun için memnun olmayanların yüzdesi (PPD) olarak adlandırılan başka bir ısıl konfor ölçütü kullanılmaktadır. PPD, bir ortamda bulunan insanlar içerisinde ortamı ısıl açıdan konforlu bulmayanların yüzdesini verir. PPD ile PMV arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir (Anon., 1989);

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp\left[-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)\right] \quad (22)$$

Denklem incelendiğinde, vücut üzerindeki ısı yükün dolayısıyla PMV'nin sıfır olması durumunda bile % 5'lik bir grubun ısıl açıdan tatmin olmadığı görülmektedir. ASHRAE Standart 55-1992, bir ortamın konforlu nitelenebilmesi için ortamda bulunan insanların en fazla % 10'unun ısıl açıdan çevreden memnun olmaması kriterini koymuştur (Anon., 1989).

İnsan vücudu, üzerindeki muhtemel giysi grupları dikkate alınarak 16 kısım halinde incelendiğinde her bir vücut elemanının (kısmının) duyulur ve buharlaşma ısıl dirençleri aşağıdaki bağıntılardan bulunabilir (McCullough et al., 1989);

$$R_t(i) = R_a(i) \frac{r(i,0)}{r(i,nl)} + \sum_{k=1}^{nl} \left[R_{al}(i,k) \frac{r(i,0)}{r(i,k-1)} + R_f(i,k) \frac{r(i,0)}{r(i,k)} \right] \quad (23)$$

$$R_{e,t}(i) = R_{e,a}(i) \frac{r(i,0)}{r(i,nl)} + \sum_{k=1}^{nl} \left[R_{e,al}(i,k) \frac{r(i,0)}{r(i,k-1)} + R_{e,rf}(i,k) \frac{r(i,0)}{r(i,k)} \right] \quad (24)$$

Burada; r, vücut kısımları üzerindeki kumaşın dış yarıçapıdır. Kumaş kalınlıkları ayrıntılı olarak (McCullough et al., 1989)'da verilmektedir. Silindir olarak kabul edilen vücut kısımlarının yarıçapı ise (Kandjov, 1998) çalışmasında gövde için 15.2 cm, bacaklar için 6.6 cm, kollar için 4.6 cm verilmektedir. Elbiseler arasında kalan hava katmanlarında ısı transferi iletim ve radyasyon ile gerçekleştiği kabul edilir. Bu durumda hava tabakalarının ısı direnci;

$$R_{al} = \frac{1}{h_r + k/x_a} \quad (25)$$

ifadesi ile verilmiştir. Buradaki h_r ve k değerleri (McCullough et al., 1989) tarafından sırasıyla 4,9 W/m²K ve 24 mmW/m²K verilmiştir. Benzer denklem buharlaşma direnci için de yazılabilir. Hava tabakalarının her birinin buharlaşma direnci;

$$R_{e,al} = a[1 - \exp(-x_a/b)] \quad (26)$$

ifadesi ile bulunabilir. Buradaki a ve b sabitlerdir ve değerleri sırasıyla 0,0334 m²kPa/W ve 15 mm'dir (McCullough et al., 1989). Giysilerden ve giysiler arasında kalan hava tabakalarından sonra en dış tarafta çevre havasından kaynaklanan ısı direnci aşağıdaki ifade ile bulunabilir;

$$R_a = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (27)$$

Dış taraftaki havanın buharlaşma direnci ise Lewis oranına bağlı olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir;

$$R_{e,a} = \frac{1}{h_c.LR} \quad (28)$$

Buraya kadar verilen denklemlerle vücudun her bir kısmının ısı ve buharlaşma dirençleri bulunabilir. Duyulur ve gizli ısı kayıpları da aşağıda verilen denklemlerle hesap edilebilir. 16 kısım halinde incelenen vücudun her bir bölümünden olan duyulur ısı kaybı 29 numaralı denklem ile, gizli ısı kaybı ise 30 numaralı denklem ile bulunabilir;

$$(C+R)(i) = \frac{T_{sk}(i) - T_o}{R_{cl}(i) + 1/(h(i).f_{cl}(i))} A(i)$$

$$= \frac{T_{sk}(i) - T_o}{R_t(i)} A(i) \quad (29)$$

$$E_{sk}(i) = \frac{w(i).(p_{sk,s}(i) - p_a)}{R_{e,cl}(i) + 1/(h_e(i).f_{cl}(i))} A(i) \\ = \frac{w(i).(p_{sk,s}(i) - p_a)}{R_{e,t}(i)} A(i) \quad (30)$$

Giysi alan faktörü (çarpanı) olan f_{cl} değerinin hesaplanabilmesi için (McCullough et al., 1985) tarafından verilen ifade kullanılabilir.

$$f_{cl} = 1.0 + 0.3.I_{cl} \quad (31)$$

Her bir kısımdan olan ısı kayıpları toplanarak, vücuttan olan toplam ısı kaybı bulunabilir;

$$(C+R)_t = \sum_{i=1}^{16} (C+R)(i) \quad (32)$$

$$E_{skt} = \sum_{i=1}^{16} E_{sk}(i) \quad (33)$$

Aynı zamanda tüm vücuttan olan duyulur ısı kaybı aşağıda verilen formülden de bulunabilir;

$$(C+R)_t = \frac{T_{sk} - T_o}{R_{cl} + 1/(h.f_{cl})} A_t = \frac{T_{sk} - T_o}{R_t} A_t \quad (34)$$

buradaki R_t vücut üzerindeki giysinin ortalama ısı direncidir ve 29, 32 ve 34 numaralı denklemlerden;

$$R_t = \frac{A_t}{\sum_{i=1}^{16} \frac{A(i)}{R_t(i)}} \quad (35)$$

elde edilir. Vücut üzerindeki ortalama hava hızı ise,

$$R_t = R_{cl} + \frac{1}{h.f_{cl}} \quad (36)$$

ifadesinden ve duyulur ısı geçiş katsayısı için verilen 4 nolu, taşınım katsayısı için verilen 5 nolu denklemler yardımıyla,

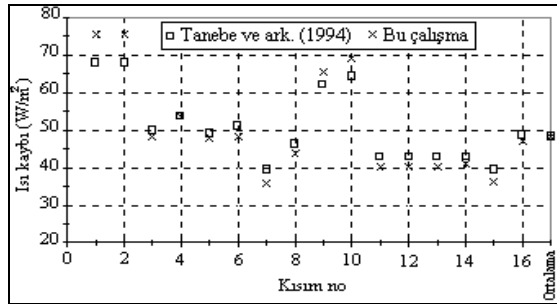
$$v = \left[\frac{(f_{cl} \cdot (R_t - R_{cl}))^{-1} - h_r}{8.3} \right]^{(1.25)} \quad (37)$$

olarak elde edilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

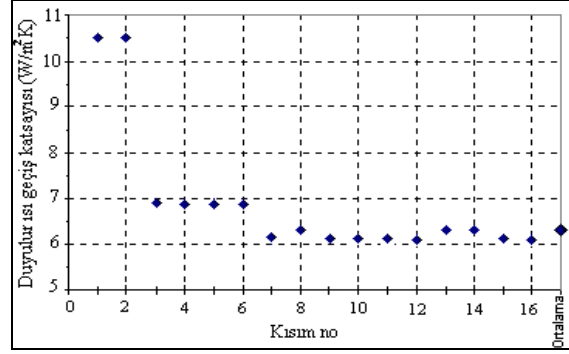
Bu çalışmada otomobil içerisindeki hava hızı ve hareketlerinin ısı konfor şartlarına etkisinin incelenmesi için bilgisayar simülasyonu oluşturulmuştur. Kurulan model ile insan vücudu 16 kısma ayrılmıştır. Her bir kısmın duyulur ısı geçiş katsayısı bulunmuş ve her kısımdaki giysilerin ısı ve buharlaşma dirençleri elde edilerek vücudun deri ıslaklığı, duyulur ve gizli ısı kayıpları belirlenmiştir. Bir ortamın, o ortamda bulunan kişiler tarafından ısı olarak konforlu algılanıp algılanmadığını gösteren PPD değerinin değişimi vücut üzerindeki farklı ortalama hızlarda, farklı ortam sıcaklıkları için incelenmiştir.

Kurulan modelin güvenilirliğinin ortaya konması için simülasyondan elde edilen sonuçlar ile Tanebe et al., (1994)'nin oturma pozisyonundaki bir ısı manken üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 1'den de görüldüğü gibi sonuçlar birbirine oldukça uyumaktadır. Çalışmada, operatif sıcaklık 24.7 °C ve ısı manken üzerindeki toplam giysi direnci $R_t = 0.189 \text{ m}^2\text{K/W}$ 'dir. Söz konusu çalışmada vücudun tamamından olan duyulur ısı kaybı 48.2 W/m^2 , bu çalışmada ise 48.05 W/m^2 bulunmuştur.



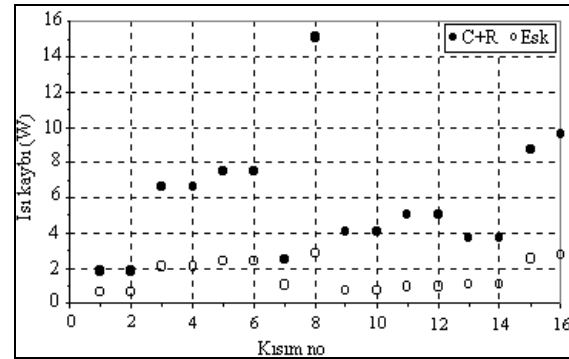
Şekil 1. Vücutun her bir kısmından olan duyulur ısı kayıplarının karşılaştırılması

Şekil 2'de vücut bölmeleri ile çevre arasındaki duyulur ısı geçiş katsayısı verilmiştir. Ortam sıcaklığı 22 °C, izafi nem % 50, vücut üzerindeki ortalama hava hızı 0,14 m/s ve giysi dirençleri yazlık normal (günlük) bir giysi olarak $R_{cl} = 0.07656 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($\sim 0.5c_{lo}$), $R_{e,cl} = 0.00825 \text{ m}^2\text{kPa/W}$ alınmıştır. Şekil 2'den görüldüğü gibi, hava hızları ayak bölgesinde yüksek olduğundan duyulur ısı geçiş katsayısı en yüksek bu bölgede çıkmıştır. Vücutun diğer kısımlarında ise duyulur ısı geçiş katsayısı yaklaşık 6 – 7 $\text{W/m}^2\text{K}$ aralığındadır. Tüm vücut üzerindeki ortalama ısı geçiş katsayısı ise $6.32 \text{ W/m}^2\text{K}$ çıkmıştır.



Şekil 2. Vücutun her bir kısmındaki duyulur ısı geçiş katsayıları (h)

Şekil 3'de vücut kısımlarından çevreye olan duyulur (konveksiyon + radyasyon) ve gizli (terin buharlaşması + difüzyonu) ısı kayıpları verilmiştir. Genel olarak vücudun her bölgesinde duyulur ısı kayıpları gizli ısı kayıplarından büyüktür. Vücutun ayak ve pelvis bölümlerindeki giysiler, diğer kısımlara göre daha fazla olduğundan deri ıslaklığı da fazla olmakta ve bu kısımlarda E_{sk} , C+R'ye yaklaşmaktadır. Ancak hem duyulur hem de gizli ısı kayıpları bu bölgelerde düşük değerlerdedir. İnsan vücudundan olan en yüksek ısı kaybı, 8 numaralı kısımdan yani insanın başında gerçekleşmektedir. Çünkü insanın başı hem yüzey alan olarak büyüktür hem de üzerinde herhangi bir giysi bulunmamaktadır.

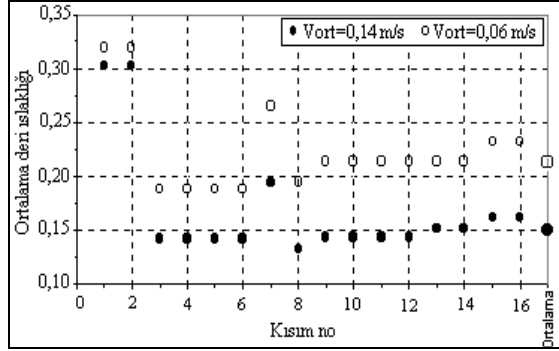


Şekil 3. Vücutun her bir kısmından olan duyulur ve gizli ısı kayıpları

Şekil 4'de, konfor hissini önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biri olan ortalama deri ıslaklığı verilmiştir. Vücut üzerindeki ortalama hava hızının hem 0.14 m/s olması hem de 0.06 m/s olması durumu için deri ıslaklığının değişimi incelenmiştir.

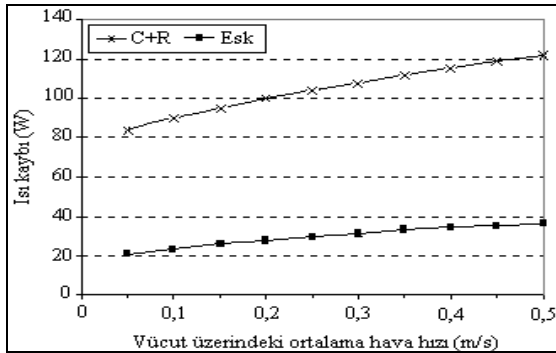
Vücutun ayak ve pelvis bölümlerinde deri ıslaklığı diğer bölümlere göre daha fazladır. Bunun sebebi olarak ayakta ayakkabıların olması, pelviste ise diğer kısımlara göre daha fazla giysi grubu bulunması gösterilebilir. Vücutun ortalama deri ıslaklığı ise,

ortalama hava hızının 0.14 m/s için 0.15, 0.06 m/s için 0.213 çıkmıştır.



Şekil 4. Vücudun her bir kısmındaki ortalama deri ıslaklığı (w)

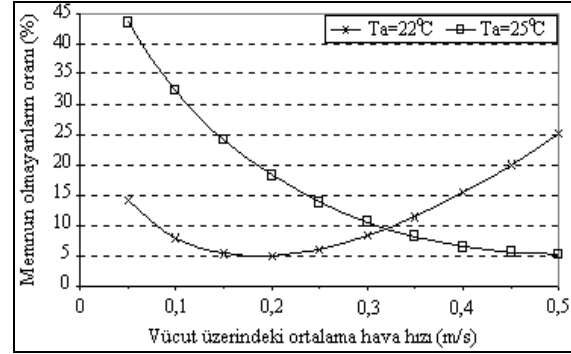
Vücut üzerindeki ortalama hava hızının, vücuttan çevreye olan duyulur ve gizli ısı kayıpları üzerindeki etkisi Şekil 5’de verilmiştir. Doğal olarak hava hızı arttıkça ısı geçiş katsayıları da (taşınım ve buharlaşma ile olan ısı geçiş katsayıları) arttığından ısı kayıpları artmaktadır. Ancak duyulur ısı kayıplarındaki artış gizli ısı kayıplarından daha fazladır. Çünkü denge şartlarında vücutun üretmiş olduğu ter miktarı bellidir. Dolayısıyla $E_{rsw,req}$ sabit bir değerdir. Geriye sadece difüzyon yoluyla olan ısı kaybı (E_{dif}) kalmaktadır. Hava hızındaki artış E_{dif} ’i duyulur ısı kayıpları kadar etkilemediğinden, deriden olan toplam gizli ısı kaybındaki (E_{sk}) artış daha yavaş olmaktadır.



Şekil 5. Vücut üzerindeki ortalama hava hızı ile ısı kayıplarının değişimi

Şekil 6’da vücut üzerindeki ortalama hava hızlarının PPD değeri üzerindeki etkisi farklı ortam sıcaklıkları için incelenmiştir. İnsan vücudu üzerindeki ısı yükün (L) sıfır olması durumundan bile (vücutun üretmiş olduğu ısı ile çevreye olan ısı kayıplarının dengelenmesi durumu) memnun olmayanların oranı % 5 olacağı verilen 21 ve 22 numaralı denklemlerden görülmektedir. Ortam sıcaklığının 22 °C olması durumunda en iyi PPD değeri ortalama

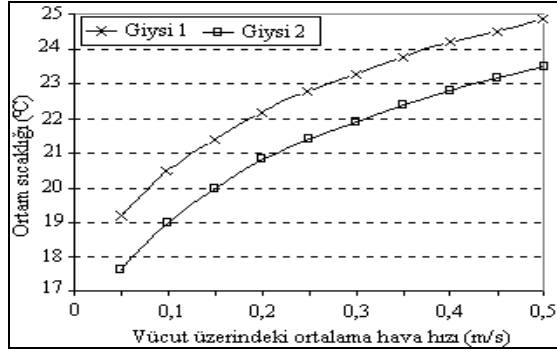
hava hızı yaklaşık 0.2 m/s için elde edilmiştir. Daha düşük hava hızlarında vücut rahat olarak ısı enerjisini atamamakta, yüksek hızlarda ise gereğinden (yani ürettiğinden) fazlasını kaybetmekte olduğundan PPD değeri artmaktadır. Daha yüksek ortam sıcaklıklarında ise (25 °C) vücut üzerindeki hava hızlarının artırılabilirliği verilen şekilden görülmektedir.



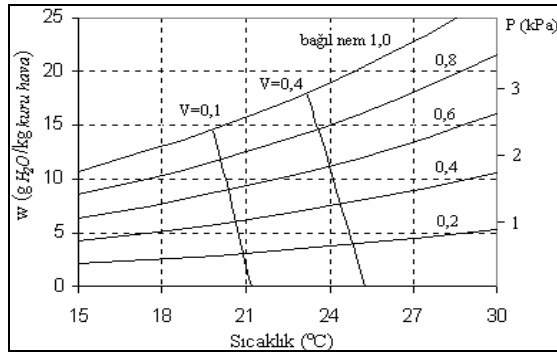
Şekil 6. Farklı ortam sıcaklıklarında PPD değerinin vücut üzerindeki ortalama hava hızı ile değişimi

Şekil 7’de ise vücut üzerindeki ısı yükün yaklaşık sıfır olması için hava hızı ile ortam sıcaklığının değişimi farklı giysi grupları için verilmiştir. Şekilde verilen Giysi 1 yazlık bir giysidir ve şimdiye kadar verilen grafiklerde de kullanılan değer olup $R_{cl} = 0.07656 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($\sim 0.5\text{clo}$), $R_{e,cl} = 0.00825 \text{ m}^2\text{kPa/W}$ ’dır. Giysi 2 ise yine yazlık ancak biraz daha kalın bir giysidir ve $R_{cl} = 0.103 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($\sim 0.67\text{clo}$), $R_{e,cl} = 0,01142 \text{ m}^2\text{kPa/W}$ ’dır. Doğal olarak giysinin ısı dirençleri arttıkça aynı hava hızları için kişi daha serin ortam sıcaklıklarından hoşlanmaktadır. Ayrıca, hava hızı arttıkça konfor şartlarının bozulmaması için ortam sıcaklığının artırılmasının gerektiği verilen şekilden görülmektedir.

Şekil 8’de yine vücut üzerindeki ısı yükün yaklaşık sıfır olması için hava hızı ile ortam sıcaklığı ve bağıl nemin değişimi farklı hava hızları için psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Ortamın bağıl nemi arttıkça deri yüzeyi ile çevre arasındaki su buharının kısmi basınç farkı azaldığından gizli ısı kayıpları azalmaktadır. Bunun dengelenebilmesi için deriden olan duyulur ısı kayıplarının artması gerekmektedir. Bu nedenle verilen şekilden de görüldüğü gibi, sabit bir hız değeri için bağıl nem arttıkça ortam sıcaklığı azalmaktadır.



Şekil 7. İnsan vücudu üzerindeki ısı yükünün yaklaşık sıfır olabilmesi için farklı giysi gruplarında ortam sıcaklığının vücut üzerindeki ortalama hava hızı ile değişimi



Şekil 8. İnsan vücudu üzerindeki ısı yükünün yaklaşık sıfır olabilmesi için farklı hava hızlarında ortam sıcaklığı ve bağıl nemin değişimi

4. SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada bir otomobil içerisindeki hava hızı ve hareketlerinin ısı konfor şartlarına etkisi araştırılmıştır. İnsan vücudu 16 kısımda ele alınmış ve her bir kısımdan olan duyulur ve gizli ısı kayıpları ile ortamın konforsuzluğunu gösteren PPD değerindeki değişimler, ortam sıcaklığı ve giysi dirençlerini de göz önünde bulundurarak farklı hava hızları için incelenmiştir. Konfor şartlarının belirlenmesinde hava hızlarının önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Şekil 5 ve 6'dan görüldüğü gibi hava hızının 0,2 m/s'den 0,3 m/s çıkması, toplam ısı kaybını yaklaşık % 10 artırmasına rağmen PPD değerini yani memnun olmayanların oranını ise yaklaşık % 65 oranında artırmaktadır. Otomobilin içerisinde oluşturulacak konfor şartları, konfor hissinin tatmininin yanında sürüş güvenliğini de etkilediğinden bir kat daha önem kazanmaktadır. Hava hızlarında küçük değişimler, vücuttan olan ısı kayıplarını ve PPD değerini önemli ölçüde etkilemektedir. Hava

hızlarının artması, kişiyi konfor sınırlarının dışına çıkarabilmesinin yanında vücut üzerindeki yerel ısı kayıplarından dolayı özellikle boyun ve sırt ağrıları gibi sağlık problemlerine de yol açabilmektedir. Bu nedenle çevre havasının sıcaklığı ve insan üzerindeki hava hızı ve hareketlerinin iyi saptanması gerekmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar özetle şunlardır;

- Vücut üzerinde ortalama hava hızının 0,14 m/s olması durumunda tüm vücut üzerindeki ortalama duyulur ısı geçiş katsayısı 6,32 W/m²K çıkmıştır.
- Vücut üzerinde en fazla ısı kaybı yaklaşık 18 W ile başta, en düşük ısı kaybı ise yaklaşık 3 W ile ayaklardır.
- Vücut üzerinde deri ıslaklığı, ısı kayıplarının aksine en fazla ayaklarda, en az ise başta olmaktadır.
- Vücut üzerinde hava hızları arttıkça, duyulur ve gizli ısı geçiş katsayıları (h, h_c) arttığından duyulur ve gizli ısı kayıpları artmakta ve deri ıslaklıkları azalmaktadır.
- Yazlık normal bir giysi (~05 clo) ve 22°C ortam sıcaklığında vücut üzerindeki ortalama hava hızının yaklaşık 0,14 m/s olması durumunda PPD değeri minimum çıkmıştır.
- Ortamdaki su buharı oranı arttıkça deri yüzeyinden çevreye nem transferi azaldığından gizli ısı kayıpları azalmaktadır. Vücuttan olan toplam ısı kaybının sabit kalması için duyulur ısı kayıpları artması gerektiğinden kişi daha düşük ortam sıcaklıklarından hoşlanmaktadır.

5. SİMGELER

- A_{top} : Vücutun toplam yüzey alanı, m²
 $C+R$: Deriden toplam duyulur ısı kaybı, W
 E_{rsw} : Deriden terin buharlaşmasıyla olan ısı kaybı, W
 $E_{rsw,req}$: Isıl konforu sağlayan deriden terin buharlaşmasıyla gerekli ısı kaybı, W
 f_{cl} : Giysi alan faktörü, boyutsuz
 h : Duyulur ısı geçiş katsayısı (h_r+h_c), W/m²K
 h_c : Taşınım ile ısı geçiş katsayısı, W/m²K
 h_e : Buharlaşma ile ısı geçiş katsayısı, W/m²K
 h_r : Işınım ile ısı geçiş katsayısı, W/m²K
 I_{cl} : Giysinin ısı iletim direnci, clo*
 i : Vücut kısımlarının numaraları
 k : Kumaş ve hava katmanlarının numarası
 K_{res} : Oranlama sabiti, kg.m²/kJ

LR : Lewis oranı, °C/kPa
 \dot{m}_{res} : Solunum debisi, kg/(s.m²)
M : Toplam metabolik ısı üretimi, W/m²
nl : Kumaş ve hava katmanlarında oluşan tabaka sayısı
p_a : Çevre ortamı için subuharı basıncı, kPa
PMV : Tahmini ortalama oy
PPD : Memnun olmayanların yüzdesi
p_{sk,s} : T_{sk} sıcaklığında doymuş havada subuharı basıncı, kPa
Q_{sk} : Deriden toplam ısı kaybı, W
Q_{res} : Solunumla toplam ısı kaybı, W
r : Vücut kısımları üzerindeki kumaşın dış yarıçapı, m
R_a : Dış havanın ısı iletim direnci, (m².K)/W
R_{al} : Hava tabakasının ısı iletim direnci, (m².K)/W
R_{cl} : Giysinin ısı iletim direnci, (m².K)/W
R_{e,a} : Dış havanın buharlaşma direnci, (m².kPa)/W
R_{e,al} : Hava tabakasının buharlaşma direnci, (m².kPa)/W
R_{e,cl} : Giysinin buharlaşma direnci, (m².kPa)/W
R_{e,t} : Toplam buharlaşma direnci, (m².kPa)/W
R_f : Kumaşın ısı iletim direnci, (m².K)/W
R_t : Toplam ısı iletim direnci, (m².K)/W
T_a : Ortam sıcaklığı, °C
T_{cr} : İç vücut sıcaklığı, °C
T_{ex} : Dışarı solunan havanın sıcaklığı, °C
T_{sk} : Deri tabakası sıcaklığı, °C
T_{sk,req} : Isıl konforu sağlayan deri tabakası sıcaklığı, °C
*
T_r : Ortalama ışınım sıcaklığı, °C
x_a : Giysi katmanları arasında kalan havanın kalınlığı, mm
V : Hava hızı, m/s
w : Deri ıslaklığı, boyutsuz
W : Yapılan dış iş, W
W_a : Çevre havasının mutlak nemi, kgH₂O / kg kuru hava
W_{ex} : Dışarı solunan havanın mutlak nemi, kgH₂O / kg kuru hava
* 1 clo = 0.1548 (m².K)/W

6. KAYNAKLAR

- Anonymous, 1989. ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29.
- Aybers, N. 1978. Isıtma, Havalandırma ve İklim Tesisleri. Uçer Matbaacılık, 1978. 9-25s.
- Burch, S.D., Pearson, J.T., Ramadhyani, S. 1991. Experimental Study of Passenger Thermal Comfort in an Automobile Under Severe Winter Conditioning. ASHRAE Transaction.
- Kandjov, I. M. 1998. Thermal Stability of Human Body Under Environmental Air Conditioning. Journal of Thermal Biology, Vol. 23, No. 2, 117-121p.
- McCullough, E.A., Jones, B.W., Huck, J. 1985. A Comprehensive Data Base For Estimating Clothing Insulation. ASHRAE Transaction 91 (2) 29-47.
- McCullough, E.A., Jones, B.W., Tamura, T. 1989. A Data Base For Determining the Evaporative Resistance of Clothing. ASHRAE Transactions, 95 (2). 316-328.
- Olesen, B.W., Hasebe, Y., de Dear, R.J. 1988. Clothing Insulation Asymmetry and Thermal Comfort. ASHRAE Transactions 94 (1).
- Semiz, B. D. 1990. İnsan Anatomisi ve Fizyolojisi. 207s. Marmara Üniversitesi, Yayın No. 476. İstanbul.
- Tanebe, S., Arens, E.A., Bauman, F.S., Zang, H., Madsen, T.L. 1994. Evaluating Thermal Environments by Using a Thermal Manikin With Controlled Skin Surface Temperature. ASHRAE Transactions 100(1).
- Yiğit, A. 1998. “The Computer-Based Human Thermal Model”. Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 7, pp 969-977.
- Yiğit, A., Horuz, İ. 1995. “Hava Hızı ve Hareketlerinin Isıl Konfor Şartlarına Etkisi.” **10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi**. 6-8 Eylül 1995. Ankara, 603-612s.