

# OTOMOBİLLERDE ISITMA SÜRECİNDE SÜRÜCÜNÜN FİZYOLOJİK TEPKİLERİNİN DİNAMİK OLARAK MODELLENMESİ

Ş. Melih AKYOL\*

Muhsin KILIÇ\*

**Özet:** Bu çalışmada otomobillerin ısıtma sürecinde iç ortam şartlarında meydana gelen olası değişiklerde sürücünün verdiği fizyolojik tepkilerin dinamik olarak izlenebileceği model Matlab-Simulink programında hazırlanmıştır. Simülasyonda, otomobil kabini içerisindeki sıcaklık, hız ve bağıl nem gibi ısı konfor parametrelerinin düzenli bir dağılıma sahip olmadığı dikkate alınarak vücut üzerinde yerel konfor parametrelerini incelemek için insan vücudu 15 alt bölmeli olarak tasarlanmıştır. Model literatürde bulunan çalışmalar ile doğrulanmıştır. Hazırlanan simülasyon modelinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm değerleri kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl Konfor, Otomobil, Modelleme.

## Dynamic Modelling of Driver Physiological Reactions During Heating Periods of an Automobile

**Abstract:** In this study a Matlab-Simulink model of a human body is constituted for observing human thermal comfort and physiological reactions with the changing inside thermal parameters in heating period of an automobile. In the simulation the human body separated to 15 segment to predict local comfort in non-uniform environmental conditions like temperature, velocity and relative humidity. The model was justified with the obtained experimental data. The data used in the model were taken from the experimental measurements.

**Key Words:** Thermal Comfort, Automobile, Modelling.

## 1.GİRİŞ

Günümüzde iş veya seyahat amaçlı olarak günün önemli bir bölümünü otomobillerde geçirmekteyiz. Otomobillerde ısıtma ve soğutma süreçlerinde otomobil kabinin konfor şartlarına ulaşması belli bir zaman almaktadır. Bu zaman diliminde değişen iç ortam şartlarında sürücü ve yolcuların fizyolojik tepkilerinin bilinmesi sürüş güvenliği, sürücü ve yolcuların konfor ve sağlığı açısından son derece önemlidir.

Isıl konforu altı önemli parametrenin etkilediği bilinmektedir. Bu parametrelerden dördü dış ortam şartları “kuru termometre sıcaklığı, ışınım sıcaklığı, hava hızı, bağıl nem” olarak gruplandırılabilir. Isıl konforu etkileyen kişi ile ilgili bağımsız parametreler ise metabolik aktivite ve giyinmedir.

Otomobil kabinleri gibi küçük hacimlerin ısıtma ve soğutma süreçlerinde ısı konfor parametreleri zamana bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir. Deneysel çalışmalar yardımı ile insan vücudunun değişen ortam şartlarına olan tepkisi incelenebilmektedir. Fakat bu yöntem uzun zaman ve büyük maliyet gerektirmektedir. Deneysel sonucu çıkarılan matematiksel ifadeler kullanılarak hazırlanan simülasyon programları yardımıyla sürücü ve yolcuların fizyolojik davranışları kısa zamanda ve düşük maliyetlerle tahmin edilebilmektedir.

Guan ve diğ. (2003a,b), otomobillerde ısıtma ve soğutma süreçlerinde yolcuların genel ve yerel ısı konfor algılarını anket çalışmaları ile incelemişler ve istatistiksel analizlerle ısı konfor algısını, deri sıcaklığı değişiminin ve vücuttan olan net ısı transferinin fonksiyonu olarak tanımlamışlardır.

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

Teorik çalışmalarında ise insan vücudunu 17 parçalı olarak modellemişler ve hazırlan model ile her bir vücut parçasından olan ısı kayıplarını ve deri yüzey sıcaklıklarının değişimini incelemişlerdir. Huizenga ve diğ. (2001) çalışmalarında insan vücudunun iç içe geçmiş 4 tabaka (iç vücut, kas, yağ ve deri) halinde, 64 bölmeli modelini oluşturmuşlar ve model sonuçlarını literatürde yapılmış çalışmalardan aldıkları deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Kaynaklı ve Kılıç (2005), otomobillerde ısıtma sürecini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında, otomobil kabini içinde farklı noktalardan sıcaklık ve bağıl nem ve hız ölçümleri almışlar ve deneysel olarak ölçülen iç ortam şartlarında, sürücünün farklı vücut bölmelerinden olan duyulur ve gizli ısı kayıplarını, vücut bölmelerinin deri yüzey sıcaklıklarını ve ısıl konfor algısını hazırlanan model yardımı ile incelemişlerdir. Kaynaklı ve diğ. (2005), otomobil soğutma ve ısıtma süreçlerinde kabin iç ortamı ile yolcular arasındaki ısıl etkileşimin incelenebileceği matematiksel model geliştirmişler ve hazırladıkları modeli deneysel çalışmalarla desteklemişlerdir.

Bu çalışmada çevresel ısıl konfor parametrelerinin zamana bağlı değişimini dikkate alarak insan vücudundan olan ısı kayıplarını ve vücudun fizyolojik tepkilerini tahmin edebilen simülasyon programı Matlab-Simulink ortamında hazırlanmıştır.

Otomobil kabinlerinde ısıtma sürecinde sürücü üzerinde çok farklı sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı dağılımları oluşmaktadır. Kabin iç yüzeyleri ile vücudun farklı kısımları arasındaki görüş faktörlerinin ve buna bağlı olarak ışıma sıcaklığının da değişken olduğu düşünülürse vücudun bir bütün olarak düşünülmesi sürücünün fizyolojik tepkilerinin belirlenmesinde önemli hatalar meydana getirecektir. Geliştirilen modelde bu tür hataların azaltılması için insan vücudu baş, gövde, sağ üst kol, sol üst kol, sağ ön kol, sol ön kol, sağ el, sol el, pelvis, sağ uyluk, sol uyluk, sağ baldır, sol baldır, sağ ayak ve sol ayak olarak toplam 15 alt bölmeyle ayrılmıştır.

Hazırlanan program, ısıtma süreci için yapılan deneysel çalışmalar ile desteklemiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda sürücü üzerindeki sıcaklık ve hava hızı dağılımları ölçülmüştür. Daha sonra, deneysel ölçümler kullanılarak zamana bağlı türetilen denklemsel ifadeler modelde girilerek sürücünün ısıtma süreci boyunca farklı vücut bölmeleri için fizyolojik tepkileri izlenmiştir.

## 2. MODEL VE SİMÜLASYON

İnsan vücudu yaşamını sürdürebilmek için hareket yoğunluğuna bağlı olarak geniş bir aralıkta enerji üretmektedir. Üretilen enerjinin bir kısmı günlük fiziksel işler sırasında kullanılırken bir kısmı da çevreye ısı olarak atılmaktadır. Vücut tarafından üretilen fazla enerjinin tamamı vücuttan ısı olarak atılabiliyorsa vücut ısıl olarak dengededir. Bu ısıl dengenin kurulamaması vücut sıcaklıklarında değişimlere yol açacaktır. İnsan vücudu, ısıl dengeyi sağlayarak deri ve iç vücut sıcaklıklarını belirli bir aralıkta tutmak için fizyolojik denetim mekanizmaları yardımı ile terleme, damarların kısılması veya genişlemesi, titreme gibi fizyolojik tepkiler göstermektedir.

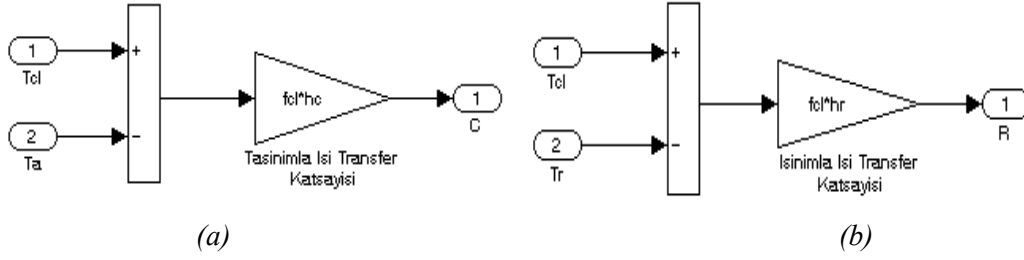
Simülasyonda Gagge ve diğ. (1971) tarafından geliştirilen iki bölmeli ve iki düğüm noktalı anlık enerji dengesi modelinden yararlanılmıştır. Vücut iç vücut ve deri olarak birbiri ile temas halindeki iç içe geçmiş iki silindir olarak düşünülmüştür. İnsan vücudunda üretilen fazla enerji; deri yüzeyinden taşınım (C), ışıma (R), terleme ( $E_{sk}$ ) yollarıyla ve solunum yapılarak ( $C_{res} + E_{res}$ ) atılmaktadır.

Eşitlik 1 ve 2 taşınım ve ışıma yolu ile ısı kayıplarını ifade etmektedir. Bu eşitliklerde kullanılan taşınım ve ışıma ısı transfer katsayılarının, oturma halindeki bir insanın farklı vücut bölmeleri için hava hızlarına bağlı ifadeleri Dear ve diğ. (1997)'nin çalışmalarından alınmıştır. Eşitliklerdeki  $f_{cl}$  giysi alan çarpanıdır ve elbiseli yüzey alanının çıplak yüzey alanına oranıdır. Programda, elbiselerde depolanan enerji ihmal edilerek, elbise sıcaklıkları Eşitlik 3 kullanılarak bulunmaktadır. Hazırlanan programda her bir vücut bölgesi için taşınım ve ışıma ısı kayıpları farklı alt sistemler olarak modellenmiştir. Şekil 1-a taşınım ile ısı transferi alt sisteminin, Şekil 1-b ise ışıma ile ısı transferi alt sisteminin programda modellenmiş halini göstermektedir.

$$C = h_c f_{cl} (T_{cl} - T_a) \quad (1)$$

$$R = h_r f_{cl} (T_{cl} - T_r) \quad (2)$$

$$T_{cl} = T_{sk} - R_{cl}(C + R) \quad (3)$$



Şekil 1:

(a) Taşınım ve (b) Işınım yolu ile ısı kayıplarının modellenmesi.

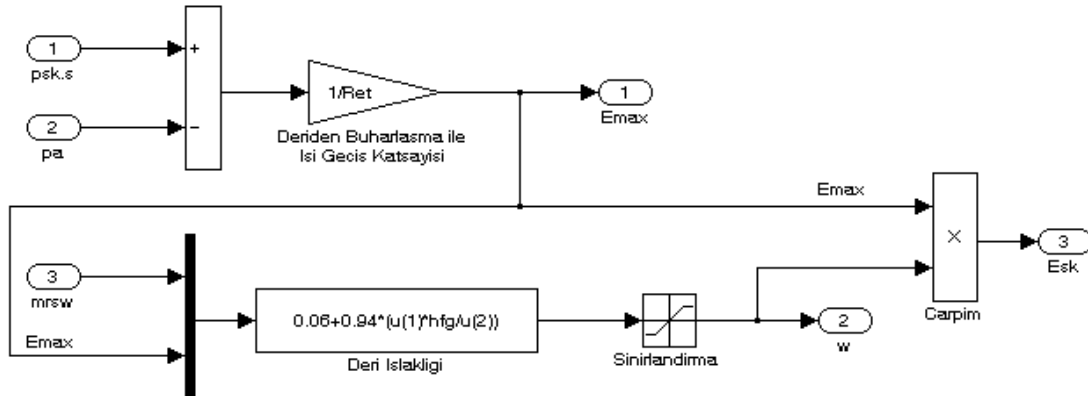
Sıcak ortamlarda taşınım ve ışınım yolu ile ısı kayıplarında önemli ölçüde azalma olacağından vücut ürettiği ısıyı atabilmek için terleme yapar. Eşitlik 4 kullanılarak terleme yolu ile ısı kayıpları hesaplanabilmektedir. Eşitlik 4 'de  $p_{sk.s}$  deri üzerindeki doymuş su buharı basıncını,  $p_a$  ise çevre havasının kısmi su buharı basıncını ifade etmektedir. Eşitlik 5 kısmi buhar basıncının ortam sıcaklığına ve ortam bağıl nemine bağlı ifadesini vermektedir. Eşitlikten de görüleceği gibi ortam bağıl nemi arttıkça kısmi buhar basıncı da artacağından terleme ile ısı kayıpları da zorlaşacaktır. Programda terleme ile ısı kayıplarının modellenmesi Şekil 2'de verilmiştir.

$$E_{sk} = \frac{w(p_{sk.s} - p_a)}{\frac{R_{cl}}{i_{cl}LR} + \frac{1}{f_{cl}h_cLR}} \quad (4)$$

$$p_a = \exp\left(16.6536 - \frac{4030.183}{T_a + 235}\right) \text{BN} \quad (5)$$

$$w = 0.06 + \frac{0.94m_{rsw} h_{sb}}{E_{max}} \quad (6)$$

Deri ıslaklığı ( $w$ ) normal koşullarda 0.06 değerindedir. Terleme arttıkça deri ıslaklığı da artar. Deri ıslaklığının alabileceği en büyük değer 1'dir. Simülasyonda sınırlandırma komutu yardımı ile deri ıslaklığı sınırlandırılmıştır. Eşitlik 4'teki kesrin paydası toplam buharlaşma direnci, bu ifadedeki LR ise Lewis oranıdır. Lewis oranı iç çevre koşullarında yaklaşık 16.5 °C/kPa olarak alınabilir. Elbise nem geçirgenliği ( $i_{cl}$ ) ise iç ortamlarda kullanılan giysiler için genellikle 0.34 olarak kabul edilmektedir. [1]

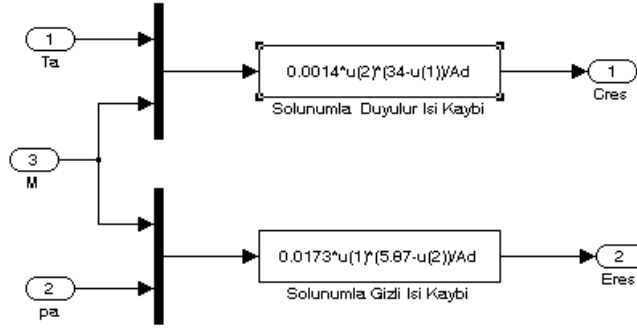


Şekil 2:

Terleme ile ısı kaybı alt sistemi.

Solunum yolu ile gerçekleşen duyulur ve gizli ısı kayıpları genelleştirilmiş olarak Eşitlik 7 yardımı ile bulunabilir. Solunumla ısı kayıplarının modellenmesi de Şekil 3'te verilmiştir.

$$C_{res} + E_{res} = [0.0014M(43 - T_a) + 0.0173M(5.87 - p_a)] / A_d \quad (7)$$



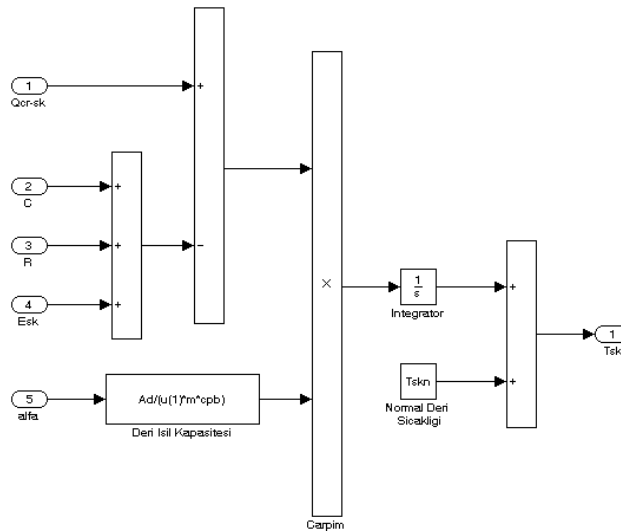
Şekil 3:  
Solunumla ısı kaybı alt sistemi.

Gagge (1970) anlık enerji dengesi modelinde iç vücut ve deri için birim zamanda depolanan ısı enerji, net ısı kazançları ile ısı kayıplarının farkına eşittir. Eşitlik 8 ve 9 kullanılarak iç vücut ve deri sıcaklıklarının zamanla değişimi bulunabilir. Şekil 4'de deri sıcaklığındaki değişimi veren alt sistemin modellenmesi gösterilmiştir. Çalışmada iç vücut sıcaklığının değişiminin bulunduğu alt sistemin modeli de benzer olarak hazırlanmıştır.

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - Q_{cr-sk} = [(1 - \alpha)mc_{p,b}(\partial T_{cr} / \partial t)] / A_d \quad (8)$$

$$S_{sk} = Q_{cr-sk} - (C + R + E_{sk}) = [\alpha mc_{p,b}(\partial T_{sk} / \partial t)] / A_d \quad (9)$$

Deri ve iç vücut sıcaklıkları sıcak ve soğuk olarak 5 sinyal ile denetlenir. 10 ve 11 numaralı eşitlikler iç vücuttan gelen sıcak ve soğuk sinyali, 12 ve 13 numaralı eşitlikler ise deriden gelen sıcak ve soğuk sinyali ifade etmektedir. Eşitlik 14 ise vücuttan gelen sıcak sinyalidir. Eşitlik 14'te  $T_b$  insan vücudunun ortalama sıcaklığıdır ve deri ile iç vücut arasındaki kütle oranı ( $\alpha$ ) değerine bağlı ifadesi eşitlik 15 yardımı ile bulunur. Bu çalışmada tüm vücut bölmeleri için normal deri sıcaklığı 33.7 °C, normal iç vücut sıcaklığı ise 36.8 °C olarak alınmıştır. Şekil 5'te iç vücuttan gelen sıcak sinyalinin programda modellenmesi verilmiştir. Diğer denetim sinyallerinin modellenmeleri de benzer olarak hazırlanmıştır. [1]



Şekil 4:  
Deri sıcaklığı alt sistemi

$$WSIG_{cr} = \begin{cases} 0 & T_{cr} \leq T_{cr,n} \\ T_{cr} - T_{cr,n} & T_{cr} > T_{cr,n} \end{cases} \quad (10)$$

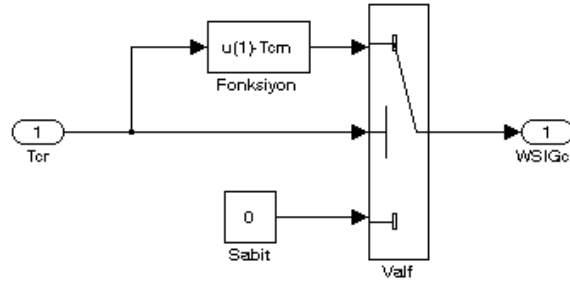
$$CSIG_{cr} = \begin{cases} T_{cr,n} - T_{cr} & T_{cr} < T_{cr,n} \\ 0 & T_{cr} \geq T_{cr,n} \end{cases} \quad (11)$$

$$WSIG_{sk} = \begin{cases} 0 & T_{sk} \leq T_{sk,n} \\ T_{sk} - T_{sk,n} & T_{sk} > T_{sk,n} \end{cases} \quad (12)$$

$$CSIG_{sk} = \begin{cases} T_{sk,n} - T_{sk} & T_{sk} < T_{sk,n} \\ 0 & T_{sk} \geq T_{sk,n} \end{cases} \quad (13)$$

$$WSIG_b = \begin{cases} 0 & T_b \leq T_{b,n} \\ T_b - T_{b,n} & T_b > T_{b,n} \end{cases} \quad (14)$$

$$T_b = \alpha T_{sk} + (1 - \alpha) T_{cr} \quad (15)$$



Şekil 5: İç vücuttan gelen sıcak sinyalin modellenmesi

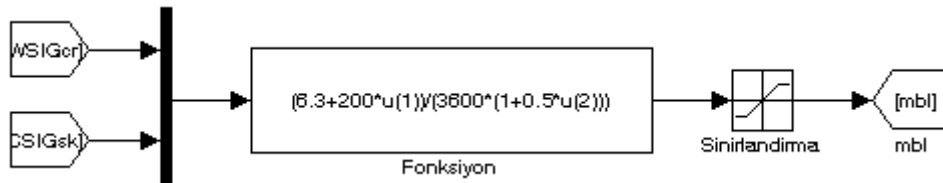
Soğuk ortamlarda vücut, iç sıcaklığını belli bir seviyede tutabilmek için kan akışını azaltarak derinin iç vücutla olan ilişkisini keser. Sıcak ortamlarda ise kan akışını arttırarak iç vücuttan daha fazla ısının deriye atılmasına yardımcı olur. İç vücut ile deri arasındaki bu orana deri kütle oranı denir ve bu oran Eşitlik 16 yardımı ile bulunur.

$$\alpha = 0.0418 + 0.745 / (3600m_{bl} + 0.585) \quad (16)$$

Deri kütle oranı ve iç vücut ile deri arasındaki ısı transferi ( $Q_{cr-sk}$ ), kan akış debisine bağlı olarak ifade edilmiştir. Eşitlik 17 yardımı ile kan akış debisi hesaplanır. Vazomotor (damarların genişlemesi) ve vazokonstriksiyon (damarların daralması) işlemleri iç vücut sıcak sinyali ve deriden gelen soğuk sinyal ile denetlenir. Normal kan akışı  $1.75 \text{ g/m}^2\text{s}$ 'dir. Kan akışının da deri ıslaklığında olduğu gibi sınır değerleri aşmaması için denetlenmesi gerekmektedir. Kan debisi simülasyon programında Şekil 6'daki gibi modellenmiştir. [1]

$$m_{bl} = \frac{6.3 + 200WSIG_{cr}}{3600(1 + 0.5CSIG_{sk})} \quad (17)$$

$$1.4 \times 10^{-4} < m_{bl} < 2.5 \times 10^{-2} \text{ kg/(s.m}^2\text{)}$$



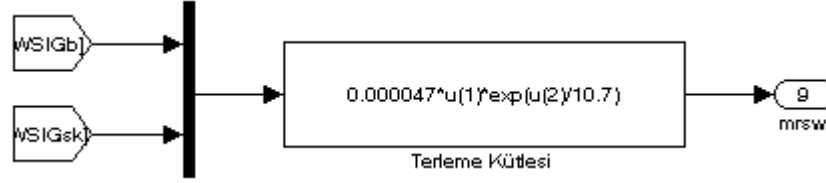
Şekil 6: Kan akış debisi blok gösterimi

Eşitlik 18’de iç vücut ile deri arasındaki ısı transferinin ifadesi verilmiştir. Bu eşitlikte  $K$  iç vücut ile deri arasındaki etkin iletim katsayısıdır ve değeri  $5.28 \text{ W / m}^2\text{K}$ ’dir. [1]

$$Q_{cr-sk} = (K + c_{p,bl} m_{bl}) (T_{cr} - T_{sk}) \quad (18)$$

Terleme debisinin iç vücuttan ve deriden gelen sıcak sinyallere bağlı olarak ifadesi eşitlik 19’da verilmiştir. Şekil 7’de ise terleme debisinin blok modeli gösterilmiştir.

$$m_{rsw} = 4.7 \times 10^{-5} \text{WSIG}_b \exp(\text{WSIG}_{sk} / 10.7) \quad (19)$$



Şekil 7:  
Terleme debisi blok gösterimi

Vücut çok soğuk ortamlarda iç vücut sıcaklığını koruyabilmek için kan akış debisini azaltarak ısı kayıplarını azaltır. Fakat kan akış debisi en düşük  $1.4 \times 10^{-4} \text{ kg / m}^2\text{s}$  değerini alabilmektedir. İç vücut sıcaklığı bu durumda da düşmeye devam ediyorsa vücut ek metabolik enerji üretmeye başlar. Bu fizyolojik tepkiye ise titreme denmektedir. Titremenin denklemsel ifadesi Eşitlik 20’de verilmiştir.

$$M_{titreme} = 19.4 \text{CSIG}_{sk} \text{CSIG}_{cr} \quad (20)$$

Vücut tarafından üretilen toplam metabolik enerji yapılan işe bağlı olarak değişen ( $M_{act}$ ) enerji ve titreme ile üretilen enerjilerin toplamına eşittir.

$$M = M_{act} + M_{titreme} \quad (21)$$

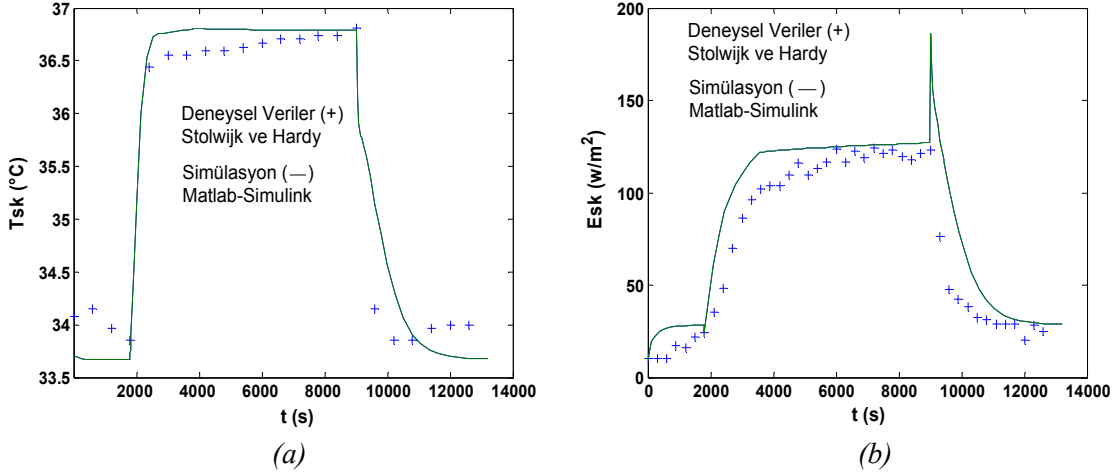
Şekiller tek bir vücut bölmesi için Matlab-Simulink programındaki modelleri göstermektedir. Her bir vücut bölmesi için modeller tekrarlanmıştır.

### 3. MODELİN YAPILMIŞ ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Stolwijk ve Hardy (1966a) çalışmalarında 3 farklı erkek denek, iç ortam sıcaklığı  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  olan % 40 bağıl neme sahip odada 30 dakika bekletildikten sonra sıcaklığı  $48 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi % 30 olan odaya geçirilerek bu odada da 120 dakika bekletilmişlerdir. Son olarak denekler tekrar sıcaklığı  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi % 40 olan odaya geri alınmıştır. Deney boyunca denekler üzerinden sıcaklık ölçümleri alınmış ve terleme ile ısı kayıplarının farklı ortam koşullarındaki değişimi incelenmiştir. Bu çalışmadaki deneklerin yaş ortalaması 23.3 yıl, boy ortalaması 1.83 m, ortalama ağırlığı 87.6 kg ve ortalama yüzey alanı  $2.02 \text{ m}^2$ ’dir.

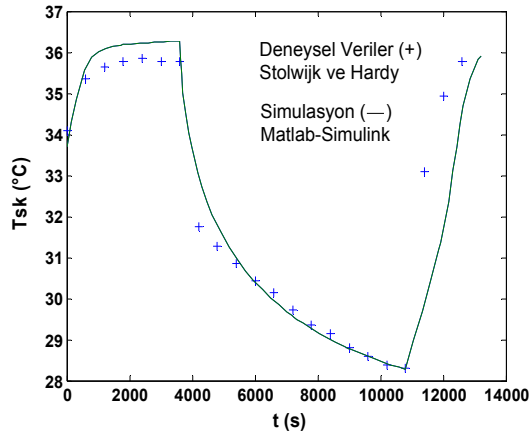
Deneylerin yapıldığı odaların konfor parametreleri deney boyunca sabit kalmıştır ve oda içinde bu parametrelerin homojen dağıldığı kabul edilmiştir. Şekil 8-a ‘da hazırlanan simülasyon programından elde edilen ortalama deri sıcaklığı değişimi grafiği Stolwijk ve Hardy’nin deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8-b’de ise simülasyon ile bulunan terleme ile ısı kayıplarının Stolwijk ve Hardy’nin deneysel verileri ile karşılaştırılması verilmiştir.

Benzer olarak Stolwijk ve Hardy (1966b) çalışmalarında sıcak ortamdaki değişimini de incelemiştir. Denekler 1 saat boyunca sıcaklığı  $43 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi % 30 olan bir odada bekletildikten sonra 2 saat süresince de sıcaklığı  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi % 40 olan farklı bir odaya alınmışlardır. Deneklerin iki oda arasındaki geçişi 1 dakikadan daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Şekil 9’da sıcaktan soğuya geçiş deneyinde simülasyondan elde edilen ortalama deri sıcaklığı grafiği ile Stolwijk ve Hardy’nin deneysel verilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 8:

Simülasyondan elde edilen (a) ortalama deri sıcaklığının ve (b) terleme ile ısı kaybının Stolwijk ve Hardy (1966a)'nin deneklerin 30 °C'lik bir ortamdan 48 °C'lik bir ortama alındığı çalışmasındaki deneysel veriler ile karşılaştırılması [11].

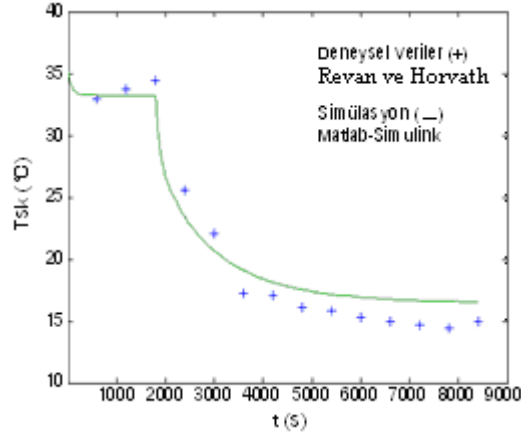


Şekil 9:

Simülasyondan elde edilen ortalama deri sıcaklığının Stolwijk ve Hardy (1966b)'nin deneklerin 43 °C'lik bir ortamdan 17 °C'lik bir ortama alındığı çalışmasındaki deneysel veriler ile karşılaştırılması [12].

Revan ve ark. (1970) çalışmalarında, uzanma durumundaki 11 erkek denek 28.5 °C sıcaklık ve %45 BN bağıl nem şartlarındaki bir odada 30 dakika bekletildikten sonra, iç ortam sıcaklığı 4.7 °C ve bağıl nemi % 70 BN olan farklı bir odaya alınmışlardır. Deney süresince sadece şort giyimli deneklerin farklı vücut bölmelerinin deri ve iç vücut sıcaklıkları ölçülmüştür. Şekil 10'da simülasyon ile bulunan el sıcaklığındaki değişimin Revan ve Horvath (1970) çalışmasındaki deneysel verilerle karşılaştırılması verilmiştir.

Hazırlanan modelden alınan sonuçlar literatürde bulunan çalışmaların deneysel verileri ile son derece uyumludur. Her bir vücut bölgesi için elbise dirençlerinin seçimindeki hatalar, normal deri sıcaklıklarının tüm vücut bölmeleri için eşit kabul edilmesi ve deneysel çalışmalarda meydana gelebilecek ölçüm hataları hazırlanan model sonuçları ile deneysel bulgular arasındaki küçük sapmalara neden olmaktadır.



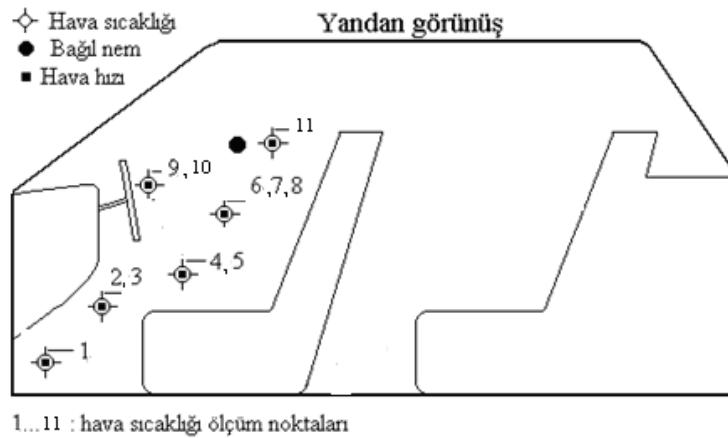
Şekil 10:

Simülasyondan elde edilen el sıcaklığı değişiminin Revan ve Horvath (1970)'in deneklerin 28.5 °C'lik bir ortamdan 4.7 °C'lik bir ortama alındığı çalışmasındaki deneysel verileri ile karşılaştırılması [10].

#### 4. MODELİN DENEYSEL ÇALIŞMALARLA DESTEKLENMESİ

Otomobil kabinlerinde sürücü ve yolcuların değişen ortam şartlarına verdikleri fizyolojik tepkilerin bilenebilmesi için sürücü üzerinde etkili olan hava hızlarının, ortam sıcaklıklarının, ortalama yüzey sıcaklığının ve bağıl nemin doğru ve hassas olarak bilinmesi gerekmektedir. Programlardan doğru sonuçların alınabilmesi yapılacak deneysel çalışmalarla desteklenmesine bağlıdır.

Deneysel çalışmalar Ocak ve Şubat aylarında, 0 °C ile 6 °C arasında değişen dış ortam şartlarında, 1600 cc motor hacmine sahip Fiat Albea model otomobil içerisinde yapılmıştır. Deneysel çalışmada otomobil ısıtma sistemi en sıcak konumunda ve en yüksek fan kademesinde 20 dakika boyunca çalıştırılmış, deney süresince iç ortam ısı parametrelerinin zamanla değişimi kaydedilmiştir. Otomobil kabini içerisinde açık menfez konumlarına ve menfez havası çıkış hızına bağlı olarak düzenli olmayan sıcaklık ve hız dağılımları oluşmaktadır. Sürücü vücut bölmelerinin fizyolojik tepkilerinin doğru ve hassas olarak tahmin edilebilmesi için bu vücut bölmeleri üzerine etkiyen hava sıcaklığı ve hızının deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda vücut üzerinden farklı 11 noktadan hava hızı ve hava sıcaklığı değerleri alınmıştır. Bağıl nem değerleri ise sürücü baş hizasına gelen noktadan alınmıştır. (Şekil 11)



Şekil 11:

Deneysel çalışmalarda sürücü etrafından alınan sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem ölçüm noktaları.



Isıtma sürecinde düşük kabin iç yüzey sıcaklıklarından dolayı sürücünden ışınlıma da önemli ısı kayıpları olmaktadır. Bu ısı kayıplarının belirlenebilmesi için deneysel çalışmalarda sürücü yan koltuğunda sürücü gövde hizasına (0.6 m zeminden yukarıda) gelecek şekilde globe termometre konumlandırılmıştır. Globe termometreden okunan değerler ortalama ışınlıma sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Tablo 1’de deneysel çalışmada kullanılan cihazlar ve bu cihazların ölçüm aralığı ile hassasiyetleri verilmiştir.

**Tablo 1.**  
**Deneysel çalışmalarda kullanılan ekipmanlar**

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
Sıcaklık Ölçümü	Cole Palmer Digi-Sense 12 Kanallı Termometre	
Sıcaklık Probu	-200 °C.....+300 °C	< 150 °C ± %0.25
Bağıl Nem ve Hava Hızı Ölçümü	Testo 454 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı	
Bağıl Nem Probu	0.....+100 % RH	± %0.1 RH
Hava Hızı Probu	0.....10 m/s	± 0.03 m/s
Ortalama Işınlıma Sıcaklığı Ölçümü	Globe Termometre 0.....80 °C	± 1°C

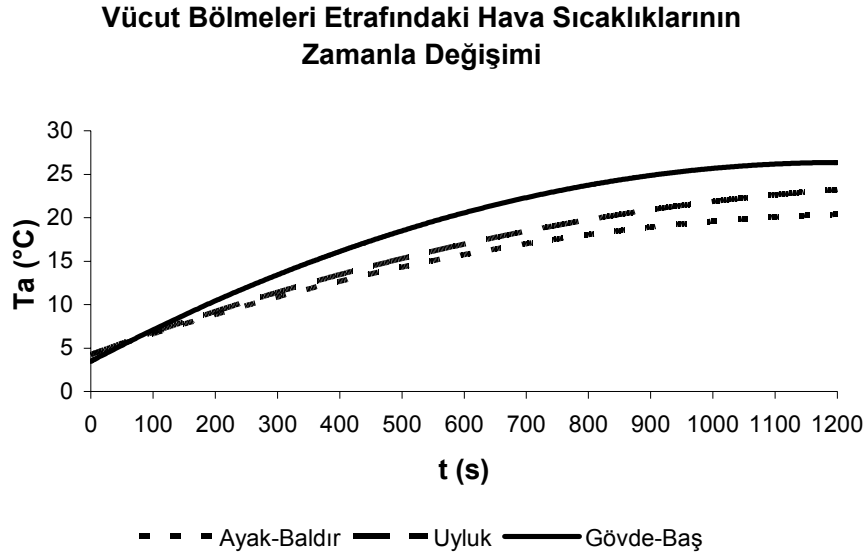
Sürücünün her bir vücut bölümü üzerindeki hava hızlarının belirlenmesi ile vücut bölmelerinden taşınım yolu ile gerçekleşen ısı geçişleri hazırlanan modelde çözümlenebilir. Bu amaçla farklı ortam koşullarında Şekil 11’de verilen noktalardan 8 adet hız ölçüm deneyi yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 2’de sıralanmıştır. Deneysel çalışmalar, yalnız orta menfezlerin açık konumunda yapılmıştır. Tablo 2’den de görüldüğü gibi vücudun menfez havası ile temas eden bölgelerinde yüksek hava hızlarına ulaşılmıştır. Bu da ısı kayıplarını artıracığından ısıtma süreci için istenmeyen bir durum oluşturmaktadır. Menfez havası ile direk temas etmeyen vücut bölmeleri için hava hızları ise 0.1 m/s ile 0.25 m/s arasında değişim göstermektedir.

**Tablo 2.**  
**Sürücü vücut bölmeleri üzerinde ölçülen ortalama hava hızları**

Vücut Kısmı	Hava Hızları (m/s)		
	Ortalama	Std. Sapma	Varyasyon (%)
Ayak	0.16	0.02	14.23
Sol Baldır	0.15	0.03	21.33
Sağ Baldır	0.16	0.04	23.94
Sol Uyluk	0.18	0.09	52.35
Sağ Uyluk	0.10	0.06	58.16
Gövde	0.22	0.04	16.80
Sol El	1.87	0.13	6.89
Sağ El	0.14	0.05	34.50
Sol Kol	0.18	0.04	20.37
Sağ Kol	0.96	0.18	18.53
Baş	0.12	0.02	18.37

Orta menfez konumu için yapılan deneysel çalışmalarda sürücü ayak hizası sıcaklığı ile baş hizası sıcaklığı arasında ortalama 4 °C’lik bir dikey yönde bir sıcaklık farkı olduğu gözlenmiştir. Otomobil kabininin tavana yakın kısımları tabana yakın kısımlarından daha önce konfor şartlarına ulaşmıştır. Bu düzensiz sıcaklık dağılımı da vücut bölmelerinin fizyolojik tepkilerinde farklılıklara neden olacaktır. Deneysel çalışmalarda ayrıca menfez havası ile temas halinde olan sol el, sağ ön kol ve sağ üst kol gibi vücut bölmeleri üzerindeki sıcaklık değişiminin de dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Menfez çıkış havası sıcaklığı arttıkça bu vücut bölmeleri üzerine gelen hava sıcaklığı da

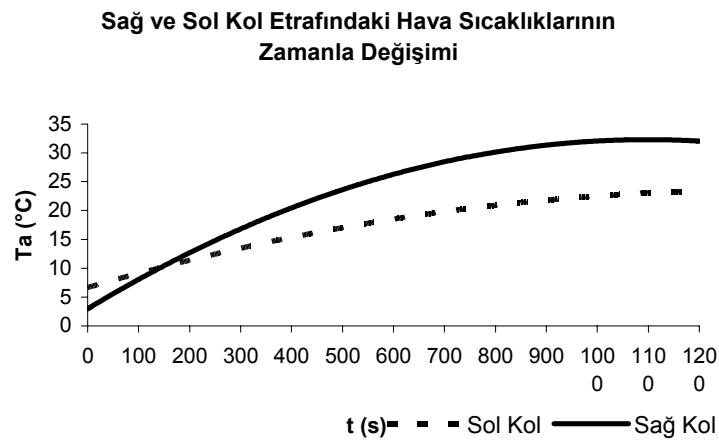
artacaktır ve ortam sıcaklığından daha farklı bir sıcaklık dağılımına sahip olacaktır. Şekil 12’de farklı vücut bölmeleri üzerindeki sıcaklık dağılımları verilmiştir.



*Şekil 12:*  
*DeneySEL çalışmalar sonucunda elde edilen farklı vücut bölmeleri etrafındaki hava sıcaklıklarının zamanla değişimi.*

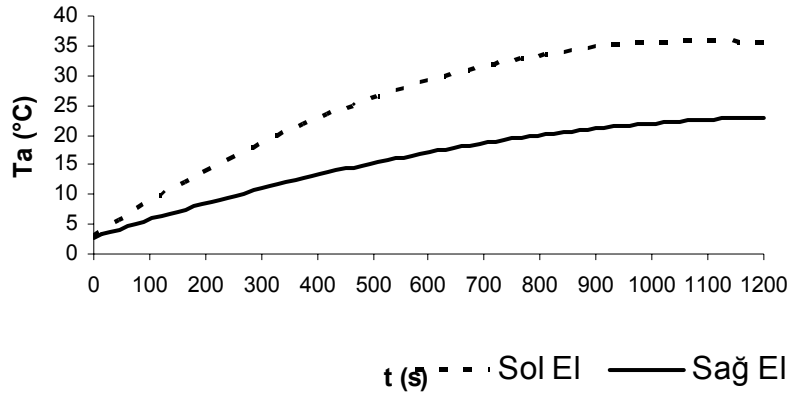
Menfezin üstünde kalan baş ve gövde gibi vücut bölmeleri için iç ortam sıcaklığının değişimi benzerdir. Bu vücut bölmeleri üzerindeki sıcaklıklar ısıtma sürecinde 26 °C’ye ulaşırken menfez altında kalan ayak ve baldır hizası sıcaklıkları ise ancak 20 °C civarına ulaşabilmiştir.

Şekil 13’de sağ ve sol kol etrafındaki hava sıcaklığının, Şekil 14’de ise sağ ve sol el etrafındaki hava sıcaklığının zamanla değişimleri verilmiştir. Menfezle temas halindeki noktalarda yaklaşık 35°C’yi bulan çok yüksek ortam sıcaklıklarına ulaşıldığı grafiklerden görülmektedir. Vücut bölmelelerinden sol el, çok yüksek hava hızlarına ve menfez çıkış sıcaklığına bağlı olarak değişen ortam havası sıcaklığına maruz kalacağından bu bölmenin fizyolojik tepkilerinin belirlenmesi sürücünün ısı konforunun tahmini açısından son derece önemlidir.



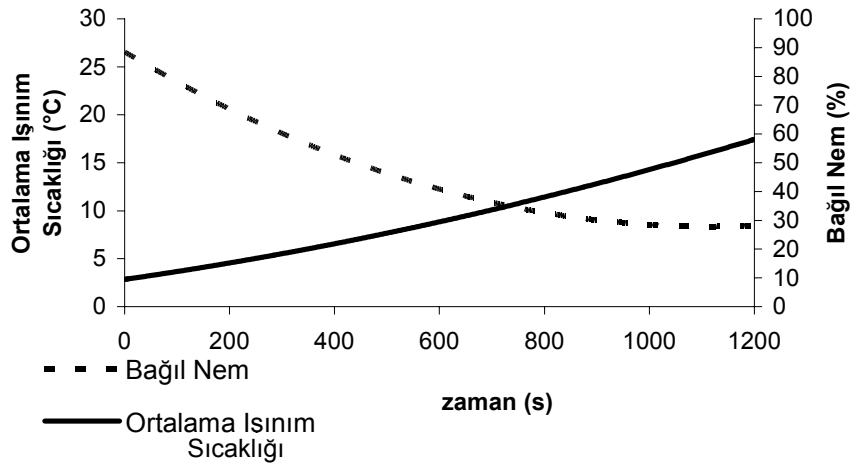
*Şekil 13:*  
*DeneySEL çalışmalar sonucunda elde edilen sağ kol ve sol kol etrafındaki hava sıcaklıklarının zamanla değişimi.*

### Sağ ve Sol El Etrafındaki Hava Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi



Şekil 14:  
Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sağ el ve sol el etrafındaki hava sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Şekil 15 'de kabin iç yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak değişen ortalama ısıtım sıcaklığının ve kabin iç ortam bağıl neminin zamanla değişimleri verilmiştir. İç ortam sıcaklığı arttıkça bağıl nemde de önemli ölçüde düşme görülmüştür. Konfor koşullarında iç ortam bağıl neminin %50 civarında olması istenmektedir. Deneysel çalışmada ise bu oranın % 30'lara gerilediği görülmüştür. Bu da ısıtma süreci için istenmeyen bir durumdur.



Şekil 15:  
Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ortalama ısıtım sıcaklığının ve iç ortam bağıl neminin zamanla değişimi

Deneysel çalışmalarda elde edilen sıcaklık, hız ve bağıl nem değerlerinin hazırlanan modelde girilebilmesi için bu grafiklerin zamana bağlı değişimini veren denklemsel ifadeler çıkarılmıştır. Elde edilen 2. dereceden denklemler için korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.97 ile 0.99 arasında değişmektedir. Tablo 3'te vücut bölmeleri üzerindeki hava sıcaklıklarının zamanla değişimini veren denklemsel ifadeler ve bu ifadelerin korelasyon katsayıları verilmiştir.

**Tablo 3.**  
**Farklı vücut bölmeleri etrafındaki hava sıcaklığı değişimlerinin denklemsel ifadeleri**

	Denklem	$R^2$
Ayak, Baldır	$-10^{-5}t^2 + 0.0249t + 4.2534$	0.99
Uyluk	$-9 \times 10^{-5}t^2 + 0.0266t + 4.2574$	0.996
Gövde, Baş	$-2 \times 10^{-5}t^2 + 0.0379t + 3.4781$	0.993
Sol Kol	$-10^{-5}t^2 + 0.0256t + 6.6515$	0.982
Sağ Kol	$-2 \times 10^{-5}t^2 + 0.0535t + 2.9654$	0.97
Sol El	$-3 \times 10^{-5}t^2 + 0.06t + 3.0571$	0.995
Sağ El	$-10^{-5}t^2 + 0.0308t + 2.777$	0.988

Eşitlik 22’de ortalama yüzey sıcaklığının zamanla değişimi, Eşitlik 23’de ise iç ortam bağıl neminin zamanla değişimi denklemsel olarak ifade edilmiştir. Bu eşitliklerde korelasyon katsayıları yüzey sıcaklığı için 0.988 ve bağıl nem için ise 0.97 olarak bulunmuştur. Grafiksel ve denklem halinde ifade edilen tüm deneysel sonuçlar benzer dış ortam şartlarındaki çalışmalardan elde edilen deneysel verilerin aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

$$T_r = 4 \times 10^{-6}t^2 + 0.0079t + 2.8429 \quad (22)$$

$$BN = 5 \times 10^{-5}t^2 + 0.1088t + 88.46 \quad (23)$$

Hazırlanan modelde otomobil sürücüsünün toplam ağırlığı 65 kg ve toplam yüzey alanı 1.71 m<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir. “Sürücünün her bir vücut bölgesinin toplam vücut kütesine oranı Winter (1979) çalışmasından, her bir vücut bölgesi yüzey alanının ise toplam yüzey alanına oranı Olesen ve diğ. (1988) çalışmasından alınmıştır. Tablo 4’te, modelde vücut bölmeleri için alınan kütle ve yüzey alanlarının literatürden alınan oransal değerleri ve bu oranlar kullanılarak hesaplanan değerleri listelenmiştir.

Otomobillerin ısıtma süreci için hazırlanan modelde tüm vücut bölmeleri için elbise direnci ( $R_{cl}$ ) 0.155 m<sup>2</sup> °C/W, metabolik aktivite ( $M_{act}$ ) 70 W/m<sup>2</sup> olarak kabul edilmiştir.

Deneysel sonuçlardan türetilen denklemsel ifadeler, vücut bölmelerine ait elbise dirençleri, yüzey alanları ve kütleleri modelde girilerek sürücünün sürekli değişen ortam şartlarındaki fizyolojik tepkileri dinamik olarak izlenebilmektedir.

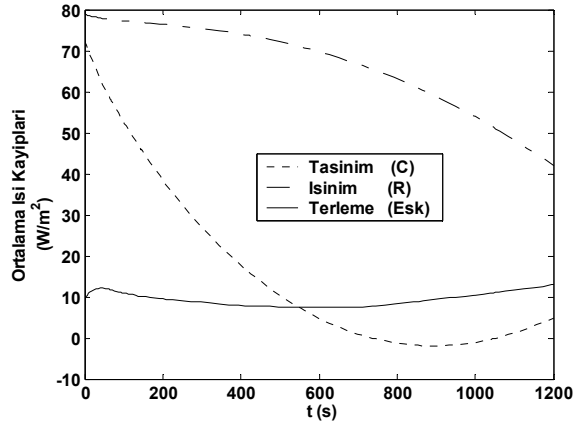
**Tablo 4.**  
**Sürücü vücut bölmelerinin yüzey alanı ve kütle değerleri**

Vücut Kısmı	Kısım No	Yüzey Alanı		Kütle	
		%	m <sup>2</sup>	%	kg
Sol Ayak	1	3.5	0.06	1.45	0.94
Sağ Ayak	2	3.5	0.06	1.45	0.94
Sol Baldır	3	8	0.14	4.65	3.02
Sağ Baldır	4	8	0.14	4.65	3.02
Sol Uyluk	5	9.1	0.16	10	6.50
Sağ Uyluk	6	9.1	0.16	10	6.50
Pelvis	7	4.6	0.08	8.48	5.51
Baş	8	10.4	0.18	8.1	5.27
Sol El	9	2.9	0.05	0.6	0.39
Sağ El	10	2.9	0.05	0.6	0.39
Sol Ön Kol	11	3.5	0.06	1.6	1.04
Sağ Ön Kol	12	3.5	0.06	1.6	1.04
Sol Üst Kol	13	4.4	0.08	2.8	1.82
Sağ Üst Kol	14	4.4	0.08	2.8	1.82
Gövde	15	22.3	0.38	41.22	26.79
Tüm Vücut		100.1	1.71	100	65.00

## 5. BULGULAR

Vücuttan taşınım, ışıınım ve terleme yolu ile olan ısı kayıpları Şekil 16’da gösterilmiştir. Başlangıçta ortam ve yüzey sıcaklığının çok düşük olmasından dolayı taşınım ve ışıınım gibi duyulur yollarla ısı kayıpları yüksektir. İç ortam ile deri yüzey sıcaklığı arasındaki fark kapandıkça duyulur ısı kayıpları da azalacaktır.

Kabin iç yüzey sıcaklıkları iç ortam sıcaklığından daha geç ısınmaktadır. Bu da sürücünden ışıınım yolu ile olan ısı kayıplarını taşınım yolu ile olan ısı kayıplarından daha etkin kılmaktadır. Terleme yolu ile ısı kayıpları ise yalnız difüzyon yolu ile gerçekleşmektedir ve tüm ısıtma periyodu için  $10 \text{ W/m}^2$  civarında kalmıştır. Menfez çıkış havasının ısınmasıyla yüksek ortam sıcaklıklarına maruz kalan sol el, sağ ön kol ve sağ üst kol haricinde ki vücut bölmelerinde terleme ile ısı kayıpları oluşmamıştır.



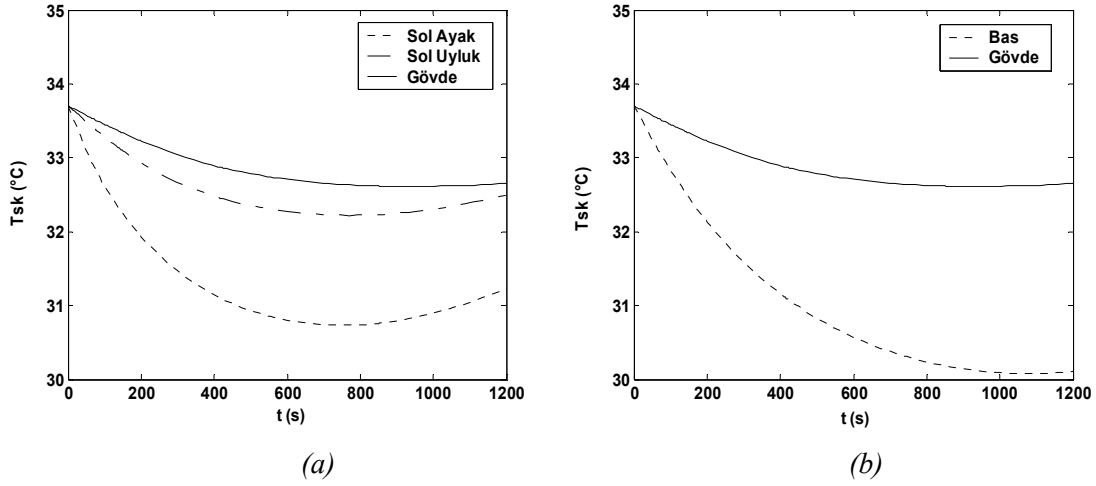
Şekil 16:

*Tüm vücuttan taşınım, ışıınım ve terleme yolu ile gerçekleşen ortalama ısı kayıpları.*

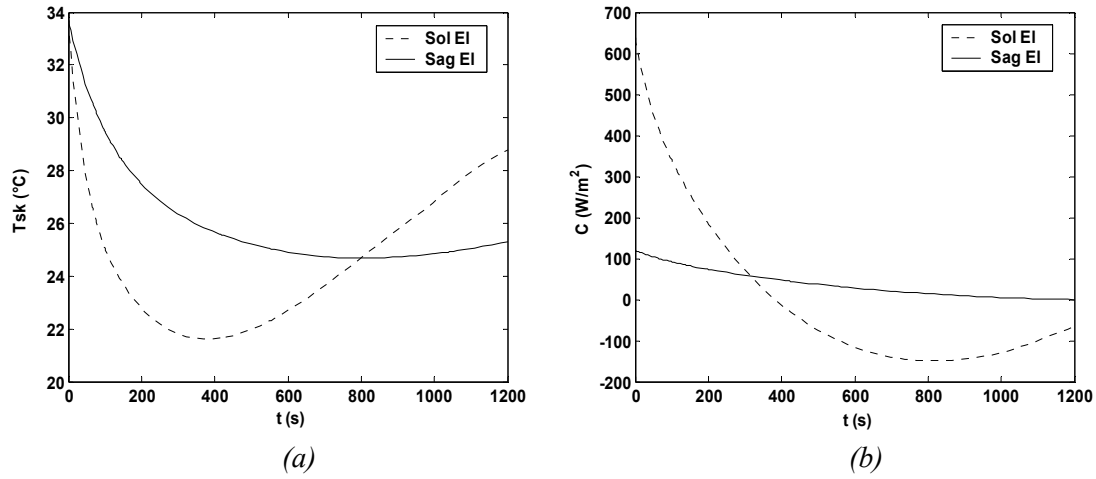
Geliştirilen modelde sürücü ile temas halindeki yüzeylerin sıcaklık değişimleri deneysel olarak ölçülemediğinden iletim yolu ile olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir. Soğuk kış şartlarında sürücünün temas ettiği direksiyon koltuk gibi yüzeylerin düşük sıcaklıkta olmasından dolayı vücut bu yüzeylerden iletim yolu ile ısı kaybedecektir. Çalışmada iletimle ısı kayıpları ihmal edildiğinden deney başlangıcında tüm vücuttan olan toplam ısı kayıpları model sonuçlarından daha yüksek çıkacaktır.

Deneysel çalışmalarda kabin içinde tabandan tavana doğru dikey yönde farklı sıcaklık dağılımları olduğu ve baş ile ayaklar arasında yaklaşık  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık farkı olduğu gözlenmiştir. Bu sıcaklık dağılımdaki düzensizlik nedeniyle vücudun ayak bölgesi baş ve gövdeye göre daha geç ısınmıştır. Şekil 17-a'da sol ayak, sol uyluk ve gövde deri sıcaklıklarının zamanla değişimi verilmiştir. Ayak hizası sıcaklığının düşük olmasından dolayı ayak deri yüzey sıcaklıklarında yaklaşık  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir düşme gözlenmiştir. Şekil 17-b'de aynı sıcaklık değişimlerine maruz kalan gövde ve baş için deri yüzey sıcaklıklarındaki değişimler verilmiştir. Baş ve eller gibi çıplak vücut bölmelerinde ısı kayıpları daha yüksektir ve bu vücut bölmelerinin yüzey sıcaklıkları daha fazla düşmektedir.

Vücut bölmelerinin menfez çıkış havası ile temas halinde olan bölgelerinde yüksek hava hızlarının ve çok değişken ortam havası sıcaklıklarının etkili olduğu deneysel çalışmalar ile tespit edilmiştir. Şekil 18-a'da sol ve sağ el sıcaklıklarının zamanla değişimi verilmiştir. Sol el üzerinde yüksek hava hızları nedeniyle taşınım yolu ile ısı kayıp ve kazançları yüksek olmaktadır ve bu değerler Şekil 18-b'de verilmiştir. Deney başlangıcında yaklaşık  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  civarındaki düşük ortam sıcaklığından dolayı yüzey sıcaklıklarında önemli düşüşler görülmüştür. Hava hızlarının daha yüksek olduğu sol el deri yüzey sıcaklığında yaklaşık  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik düşme gerçekleşmiştir.

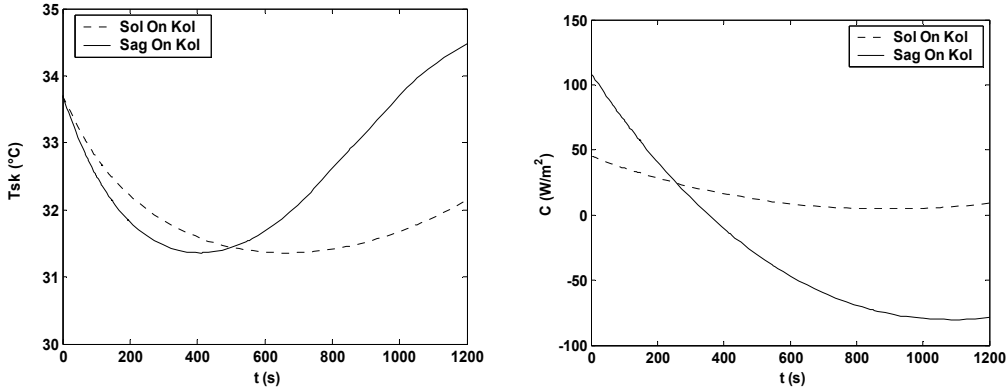


Şekil 17:  
Kabin içinde dikey yöndeki sıcaklık farklılıklarının vücut bölmeleri deri sıcaklıklarına etkisi



Şekil 18:  
Sol el ve sağ el (a) deri sıcaklıklarının ve bu vücut bölmelerinden (b) taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının zamanla değişimi.

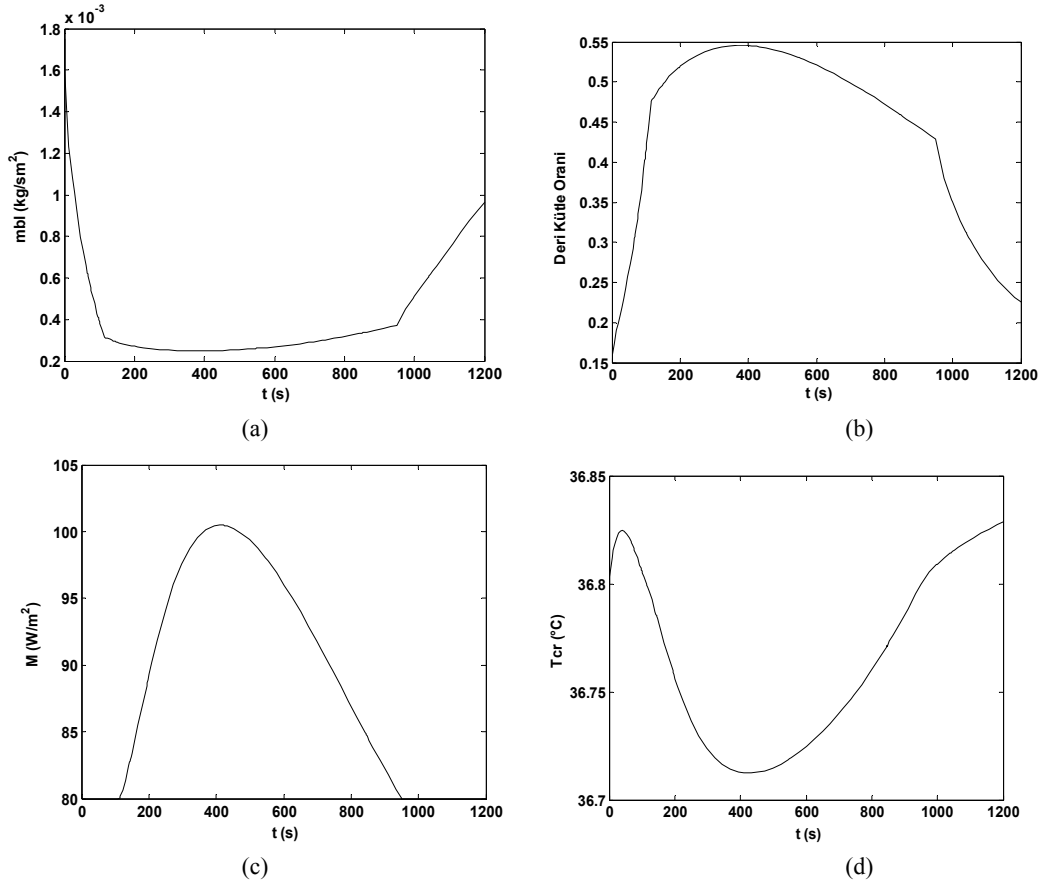
Şekil 19-a'da sol ve sağ ön kol sıcaklıklarının Şekil 19-b'de ise sol ve sağ koldan olan taşınım ile ısı transferi değerlerinin zamanla değişimi verilmiştir. Sağ kol üzerinde, menfez çıkış havası ile temas halinde olması sebebiyle, daha yüksek hava hızları oluşmaktadır. Yüksek hava hızlarına rağmen ön kol için bulunan taşınım yolu ile ısı transferi değerleri ve deri yüzey sıcaklığındaki değişimler gibi fizyolojik tepkiler Şekil 18 a ve 18 b'de el için bulunan değerlerle karşılaştırıldığında el fizyolojik tepkilerinin yüksek hava hızlarından daha fazla etkilendiği göstermektedir. Giyim direnci arttıkça vücut bölmeleri dış ortam koşullarından daha az etkilenmektedir.



Şekil 19: Sol ön kol ve sağ ön kol deri sıcaklıklarının zamanla değişimi.

Şekil 20’de sol el için kan akış debisi, deri kütle oranı, metabolik aktivite ve iç vücut sıcaklığı değerlerinin değişimi verilmiştir. Deney başlangıcında sol üzerinde yüksek hava hızları ve düşük sıcaklıklar nedeniyle önemli ölçüde ısı kayıpları olmaktadır. Vücut, iç vücut sıcaklığını koruyabilmek için kan akış debisini kısararak iç vücut ile deri arasındaki iletim katsayısını ve iç vücuttan deriye olan ısı transferini düşürür. İç vücut sıcaklığının  $\pm 0.5$  °C normal değerlerinin civarında kalması istenmektedir. Kan akış debisinin azalması ile deri kütle oranı ( $\alpha$ ) artmaktadır.

Eğer vücut kan akış debisinin kısararak iç vücut sıcaklığını koruyamıyorsa metabolik enerji üretimini artırarak ek ısı sağlamaya çalışır. Sol el’de, iç vücut sıcaklığının korunabilmesi için, metabolik enerji üretimi % 25 oranında artmıştır.



Şekil 20: Geliştirilen modelde sol el için elde edilen (a) kan akış debisinin, (b) deri kütle oranının, (c) metabolik iç enerji üretiminin ve (d) iç vücut sıcaklığının zamanla değişimi.

Artan iç ortam sıcaklığı ile ısı kayıpları azalmış ve ilk 6 dakika sonunda sol el ortamdaki ısı kazanmaya başlamıştır. İç vücut sıcaklığı normal değerlerine ulaştığında ilk olarak metabolik enerji üretimi azalmış ve normal değerine ulaşmıştır. Sonra kan akış debisi de artarak kan debisi ve deri kütle oranı da normal değerlerine yaklaşmıştır.

## 6. SONUÇ

Otomobiller gibi küçük hacimlerde ısıtma ve soğutma süreçlerinde sıcaklık, bağıl nem, hava hızı gibi ısıl konfor parametreleri, zamanla sürekli olarak değiştiği gibi farklı vücut bölmeleri üzerine de farklı büyüklüklerde etki etmektedir. Ayrıca menfezlerin konumlandırılmasına bağlı olarak menfez çıkış havası ile temas halindeki vücut bölmelerinde farklı sıcaklık dağılımları ve yüksek hava hızları oluşmaktadır. Sürücü üzerindeki ısıl konfor parametrelerin dağılımının doğru ve hassas olarak bulunması için sürücü üzerinde bir çok noktadan sıcaklık, hava hızı ve bağıl nem ölçümlerinin alınması gerekmektedir.

Geliştirilen modeller yardımı ile ısıl konfor parametrelerinin çok değişken olduğu otomobil kabinlerinde ısıtma ve soğutma süreçleri için sürücünün vücut sıcaklıklarındaki değişimler ve ısı kayıpları gibi fizyolojik tepkiler tahmin edilebilmektedir.

Bu çalışmada otomobillerde ısıtma sürecinde sürücünün fizyolojik tepkilerinin çözümlenebileceği simülasyon modeli Matlab-Simulink ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan 16 bölmeli insan vücudu modeli literatürde bulunan çalışmaların deneysel sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Otomobil ısıtma süreci için gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen veriler matematiksel denklemler halinde hazırlanan modelde girilmiş ve sürücünün fizyolojik tepkileri çözümlenmiştir.

Isıtma sürecinde sürücünden olan ısı kayıpları başlangıçtaki düşük yüzey sıcaklıklarından dolayı en fazla ışıınım yoluyla gerçekleşmektedir. Taşınım yoluyla ısı kayıpları iç ortam sıcaklığı arttıkça azalacaktır. Terleme yolu ile ısı kayıpları ise ihmal edilebilecek seviyededir.

## 7. SEMBOLLER

$A_d$	:DuBois yüzey alanı ( $m^2$ )	$K$	:İç vücut ile deri arasındaki etkin iletim sayısı ( $W/m^2K$ )
$BN$	:Ortam bağıl nemi (%)	$M$	:Toplam metabolik ısı ( $W/m^2$ )
$c_{p,b}$	:Vücudün özgül ısısı ( $kJ/kgK$ )	$m$	:Vücut kütlesi ( $kg$ )
$c_{p,bl}$	:Kanın özgül ısısı ( $kJ/kgK$ )	$m_{bl}$	:Kan akışı debisi ( $kg/m^2s$ )
$CSIG_{cr}$	:Kordan gelen soğuk sinyal	$m_{rsw}$	:Birim zamanda üretilen ter ( $kg/m^2s$ )
$CSIG_{sk}$	:Deriden gelen soğuk sinyal	$Q_{cr-sk}$	:Kordan deriye olan toplam ısı transferi ( $W/m^2$ )
$C$	:Deriden taşınım ile olan ısı transferi ( $W/m^2$ )	$R$	:Deriden ışıınım ile olan ısı transferi ( $W/m^2$ )
$C_{res}$	:Solunum ile olan taşınım ile ısı transferi ( $W/m^2$ )	$R_{et}$	:Toplam ıslak direnç ( $m^2kPa/W$ )
$E_{res}$	:Solunumla olan buharlaşma ile ısı geçişi ( $W/m^2$ )	$R_{cl}$	:Elbise yalıtım direnci ( $m^2C/W$ )
$E_{max}$	:Maksimum buharlaşma ile ısı transferi ( $W/m^2$ )	$S_{cr}$	:İç vücutta depolanan ısıl enerji ( $W/m^2$ )
$E_{sk}$	:Terleme ile olan buharlaşma ısı kaybı ( $W/m^2$ )	$S_{sk}$	:Deride depolanan ısıl enerji ( $W/m^2$ )
$f_{cl}$	:Giysi alan çarpanı	$t$	:Zaman,(s)
$h_c$	:Taşınım ile ısı geçiş katsayısı ( $W/m^2K$ )	$T_a$	:Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$h_{fg}$	:Suyun gizli buharlaşma ısısı ( $kg/sm^2$ )	$T_b$	:Vücut ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$h_r$	:Işınım ile ısı geçiş katsayısı	$T_{b,n}$	:Vücut ortalama nötr sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$i_{cl}$	:Elbise nem geçirgenliği	$T_{cl}$	:Elbise yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
		$T_{cr}$	:İç vücut tabakası sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
		$T_{cr,n}$	:İç vücut tabakası nötr sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
		$T_r$	:Ortalama ışıınım sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )



$T_{sk}$	:Deri tabakasının sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )	$WSIG_{cr}$	:Kordan gelen ılık sinyal
$T_{sk.n}$	:Deri tabakası nötr sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )	$WSIG_{sk}$	:Deriden gelen ılık sinyal
$w$	:Deri ıslaklığı	$W$	:Yapılan iş ( $W/m^2$ )
$WSIG_b$	:Vücuttan gelen ılık sinyal	$\alpha$	:Deri bölgesinde bulunan vücut kütlesi

## 8. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 105M262 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## 9. KAYNAKLAR

1. ASHRAE Handbook-Fundamentals (1989) Atlanta, [8. Bölüm].
2. Dear, R., Arens, E., Zhang, H., Masayuki, O. (1997) Convective and radiative heat transfer coefficients for individual human body segments, *International Journal Biometeorol*, 40, 141-156.
3. Gagge, A. P., Burton, A. C., Bazett, H. D. (1971) A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment, *Science*, 94, 428-430.
4. Guan, Y., Hosni, M. H., Jones, B. W., Giolda, T. P. (2003a) Investigation of human thermal comfort under highly transient conditions for automotive applications-Part 1, *Ashrae Transactions*, 109, 885-897.
5. Guan, Y., Hosni, M. H., Jones, B. W., Giolda, T. P. (2003b) Investigation of human thermal comfort under highly transient conditions for automotive applications-Part 2, *Ashrae Transactions*, 109, 898-907.
6. Huizenga, C., Zhang, H., Arens, E. (2001) A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environment, *Building and Environment*, 36, 691-699.
7. Kaynaklı, O., ve Kılıç M. (2005) An investigation of thermal comfort inside an automobile during the heating period, *Applied Ergonomics*, 36, 301-312.
8. Kaynaklı, O., Pulat, E. ve Kılıç, M. (2005) Thermal comfort during heating and cooling periods in an automobile, *Heat Mass Transfer*, 41, 449-458.
9. Olesen, B. W., Hasebe, Y., Dear, R. J. (1988) Clothing insulation asymetry and thermal comfort, *ASHRAE Transactions*, 94(1), 32-51.
10. Raven, P. R. ve Horvath, S. M. (1970) Variability of physiological parameters of unacclimatized males during a two hour cold stress of  $5^{\circ}C$ , *International Journal of Applied Physiology*, 14(3), 309-320.
11. Stolwijk, J. A. J. ve Hardy, J. D. (1966) Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients, *Journal of Applied Physiology*, 21, 1799-1806.
12. Stolwijk, J. A. J. ve Hardy, J. D. (1966) Partitional calorimetric studies of responses of man during exposures to thermal transients, *Journal of Applied Physiology*, 21, 967-977.
13. Winter, D. A. (1979) *Biomechanics of human movement*, John Wiley and Sons, New York.

Makale 05.03.2008 tarihinde alınmış, 16.05.2008 tarihinde düzeltilmiş, 20.05.2008 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: M. Kılıç (mkilic@uludag.edu.tr).