



OTOMOBİL KABİNLERİNİN ISITILMASINDA FARKLI HAVA YÖNLENDİRİCİLERİ KULLANIMININ ISIL KONFORA ETKİSİ

Muhsin KILIÇ* ve Ş. Melih AKYOL**

*Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Görükle Kampüsü, 16059 Bursa, mkilic@uludag.edu.tr

**Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Görükle Kampüsü, 16059 Bursa, makyol@uludag.edu.tr

(Geliş Tarihi: 21. 07. 2008, Kabul Tarihi: 27. 10. 2008)

Özet: Isıl konforu etkileyen çevresel parametreler; iç ortam sıcaklığı, bağıl nemi, ortalama ışınım sıcaklığı ve kişi üzerindeki hava hızlarıdır. Bu çalışmada otomobillerin ısıtma sürecinde farklı hava yönlendiricileri seçimlerinde (konsol üzerindeki 4 hareketli menfezin açık tutulması, ön cam altındaki ve ayak hizasındaki sabit menfezlerin birlikte açık tutulması) sürekli değişen ve kabin içinde düzensiz bir dağılım gösteren ısı konfor parametrelerinin değişimi deneysel olarak test edilmiş, hazırlanan simülasyon modeli kullanılarak sürücünün çevresi ile ısı etkileşimi, fizyolojik tepkileri (deri yüzey sıcaklıklarının değişimi) ve ısı konfor algıları hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalarda sürücü üzerinden 11 noktadan ortam hava sıcaklığı, 17 noktadan hava hızı, sürücü koltuğu üzerinde tabandan 0.6 m yükseklikteki noktadan ortalama ışınım sıcaklığı ve sürücü nefes hizasından da bağıl nem ölçümleri alınmıştır. Teorik çalışmada anlık enerji dengesi modeli kullanılarak insan vücudunun 16 bölmeli modeli Matlab-Simulink ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan model literatürden alınan deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Otomobillerin ısıtma sürecinde yalnız konsol menfezlerinin açık tutulması ile sürücünün ayakları ve baldırları etrafındaki ortam havası yeterince ısınmamıştır. Vücudun menfez çıkış havası ile doğrudan temas eden bölmeleri üzerinde yüksek hava hareketleri oluşmaktadır. Deney başlangıcında düşük ortam sıcaklıklarında yüksek hava hızlarının sürücü üzerinde etkili olması ile özellikle konsol menfez seçiminde sol elden ve sağ koldan taşınım ile ısı kayıpları artmış ve bu vücut bölmelerinin deri yüzey sıcaklıkları önemli oranda düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Isıl konfor parametreleri, Matlab-Simulink, Menfez seçimi, Isıtma

THE EFFECTS OF USING DIFFERENT VENTILATION MODES DURING HEATING PERIODS OF AN AUTOMOBILE

Abstract: Environmental parameters affecting the thermal comfort are; air temperature, relative humidity, mean radiant temperature and air velocities on human body segments. At this study, the effects of nonuniform and highly transient thermal comfort parameters were tested experimentally for two ventilation modes (panel vents, windshield and foot vents). With prepared simulation model thermal behavior, physiological reactions (skin temperatures) and thermal sensations of the driver were predicted. In the experiments air temperatures and velocities around the human body segments were measured at 11 and 17 different points respectively. Relative humidity measurements were performed from the head region of the driver. In the theoretical studies, dynamic and close loop Matlab-Simulink model of the human body was developed. In the simulation, the human body separated to 16 body segments to predict local dissatisfactions. The model was justified with the obtained experimental data from the literature.

Studies revealed that heating the automobile compartment with panel vents mode air temperature at foot level could not reached desired values. For panel vents mode high air velocities affect driver body segments especially arms and hands owing to exposed vent air directly. This causes considerable temperature decline and low thermal sensations at skin surfaces.

Keywords: Thermal comfort parameters, Matlab-Simulink, Ventilation modes, Heating

GİRİŞ

Otomobil kabinlerinde, ısı olarak konforsuz iç ortam şartlarının oluşması sürücünün dikkatini dağıtmakta, kısa veya uzun süreli uyuklama evrelerine sebep olmaktadır. Bu da yolcu ve sürücülerin sürüş güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Günümüzde sıcaklık tabanlı çalışan ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) üniteleri ile iç ortam şartları (konfor parametreleri) kontrol edilmektedir. Isıl konforu etkileyen ve HVAC üniteleri tarafından kontrol edilebilen ısı konfor parametreleri iç ortam sıcaklığı, bağıl nemi, ortalama ışınım sıcaklığı ve sürücü üzerindeki etkin hava hızlarıdır.

Lee ve Yoon (1998), torpidodaki ve ayak hizasındaki menfezlerin açılıp kapatılması suretiyle hava yönlendiricisi seçiminin otomobil içerisindeki sıcaklık ve hız dağılımlarına olan etkisini deneysel olarak incelemiş fakat ısı konforuna olan etkisi incelenmemiştir. Otomobillerin ısıtma süreçlerinde sürücü veya yolcuların ısı konforunun incelendiği çalışmalar ise deneysel ve teorik kısımlardan oluşmaktadır. Burch ve ark. (1991a, b) ve Guan ve ark. (2003a, b), -20°C ' de ki laboratuvar şartlarında gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarında kabin içindeki ısı konfor parametrelerinin zamanla değişimini ve kabin içindeki dağılımını ölçmüşlerdir. Benzer bir çalışma olarak Kaynaklı ve Kılıç (2005), ısıtma süresince test otomobili içerisinde farklı noktalardan sıcaklık, bağıl nem ve hız ölçümleri alarak ısı konfor parametrelerinin kabin içerisindeki dağılımını belirlemişlerdir. Teorik çalışmalarda ise insan vücudunun bacaklar, kollar, gövde ve baş gibi kısımlarının çevresi ile ısı etkileşimini ve fizyolojik tepkilerini hesaplayarak kişilerin yerel ve ortalama ısı konfor algılarını tahmin edebilen dinamik modeller ölçülen iç ortam şartlarında çözdürülmüştür (Kaynaklı ve ark. (2005).

Soğuk kış şartlarında otomobile binen bir sürücü taşıt ısıtma sistemini en yüksek hız kademesinde ve ısıtma gücünde hava yönlendiricisi seçimi yaparak çalıştırmaktadır. Taşıtlarda genel olarak sabit üst hava yönlendiricileri (ön cam menfezleri), döndürülebilir orta ve yan hava yönlendiricileri (konsol menfezleri) ve alt hava yönlendiricileri (ayak menfezleri) olarak 3 çeşit hava yönlendiricisi bulunmaktadır.

Taşıt ısıtma sürecinin ele alındığı bu çalışmada 2 farklı hava yönlendiricisi seçiminin iç ortam ısı konfor parametrelerine ve sürücünün ısı konforuna etkisi deneysel veriler ve teorik sonuçlar kullanılarak karşılaştırılmıştır. 1. deney grubunda yalnız orta konsol

üzerinde bulunan 4 adet döndürülebilir hava yönlendiricisi tabana paralel şekilde sabitlenerek açık tutulmuştur. 2. deney grubunda ise ön cam altında bulunan sabit üst hava yönlendiricileri ile ayak hizasındaki alt hava yönlendiricileri birlikte açık tutulmuştur. Otomobilin 30 dakikalık ısıtma süresince sürücü etrafında 11 noktadan hava sıcaklığı ve 17 noktadan hava hızı, sürücü baş hizasından bağıl nem ölçümleri alınmıştır. Sağ ön koltuğa yerleştirilen siyah küresel termometreden okunan değerler ile termometre etrafından alınan sıcaklık ve hız ölçümleri kullanılarak ortalama ışınım sıcaklığı hesaplanmıştır.

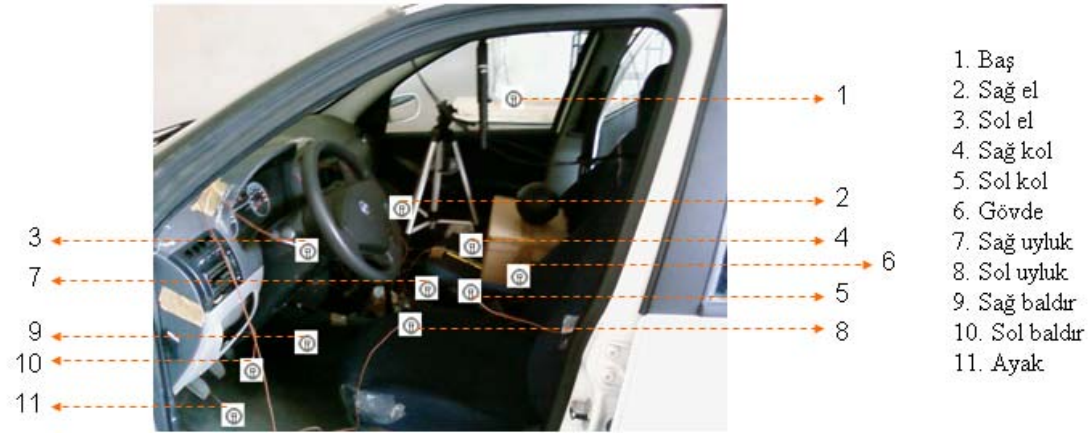
Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler Matlab-Simulink ortamında hazırlanan simülasyon programına girilerek sürücünün çevresi ile olan ısı etkileşimi hesaplanmıştır. Simülasyonda, kabin içindeki ısı konfor parametrelerinin düzensiz bir dağılım göstereceği de dikkate alınarak insan vücudunun 16 bölmeli modeli kullanılmıştır. Hazırlanan model ile sürücünün yerel ve ortalama fizyolojik tepkileri ve ısı konfor algıları hesaplanmış ve 2 farklı hava yönlendiricisi seçimi için karşılaştırmalar yapılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Otomobil kabinlerinde sürücü ve yolcuların değişen ortam şartlarına verdikleri fizyolojik tepkilerin bilenebilmesi için sürücü üzerinde etkili olan hava hızlarının, ortam sıcaklıklarının, ortalama ışınım 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, ortalama 6°C (± 0.5) dış ortam sıcaklığına ve % 75 (± 2.24) bağıl neme sahip dış ortam şartlarında, 1600 cc motor hacminde Fiat Albea model test otomobili içerisinde yürütülmüştür. Hava yönlendiricisi seçimi yapıldıktan sonra taşıt ısıtma sistemi en yüksek hız kademesinde ve ısıtma gücünde 25 dakika boyunca çalıştırılmış, deney süresince iç ortam ısı konfor parametrelerinin zamanla değişimi 10'ar saniye aralıklarla kaydedilmiştir.

Deneylerde sürücünün vücut bölmeleri çevresinde 11 farklı noktadan ortam havası sıcaklığı ölçülerek sürücü etrafındaki sıcaklık dağılımı daha hassas olarak belirlenmiştir. Bağıl nem ölçümleri ise sürücü nefes hizasından alınmıştır. Şekil 1, sürücü etrafından alınan sıcaklık ölçüm noktalarını göstermektedir.



Şekil 1. Sürücü etrafından alınan hava sıcaklığı ölçüm noktaları

Ortalama ışıınım sıcaklığı, sıcaklığın düzgün değerde olmadığı gerçek bir kapalı ortamda insan vücudundan çevreye ışıınımla olan ısı geçişine eşdeğer bir ısı geçişi sağlayan ve düzgün dağılımlı sıcaklığı olan sanal bir kapalı ortamın sıcaklığıdır. Ortalama ışıınım sıcaklığının belirlenebilmesi amacıyla sağ ön koltuk sürücü gövde hizasına (zeminden 0.6 m yukarıda) denk gelecek şekilde siyah küresel (globe) termometre konumlandırılmıştır. Siyah küresel termometre, 15 cm çapındaki içi boş bakır bir küre yüzeyinin mat siyah bir boya ile kaplanmasından oluşmuştur ve kürenin merkezine yerleştirilen termometreden sıcaklık değerleri ($T_{küre}$) okunmaktadır. Isıl denge halinde küresel termometreye ortalama ışıınım sıcaklığındaki bir ortamdan ışıınımla ısı geçişi küre yüzeyinden taşınım ile ısı geçişine eşitlenmektedir. Ölçüm yapılan ortamın hava sıcaklığı (T_i) ve küre üzerindeki hızının ($u_{küre}$) belirlenmesi ile ortalama ışıınım sıcaklığı Eşitlik 1 kullanılarak elde edilmektedir (ASHRAE 1997).

$$T_{rd} = \left[(T_{küre} + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 u_{küre} (T_{küre} - T_i) \right]^{1/4} - 273 \quad (1)$$

Sürücünün vücut bölmeleri üzerindeki etkin hava hızları, sürücü etrafında 17 farklı noktadan sıcaklığı 8 ile 10 °C arasında değişen laboratuvar şartlarında test otomobilinin 30 dakikalık ısıtma süresince her 5 dakikada bir kaydedilmiştir. Taşıt ısıtma sisteminin en yüksek hız kademesi için yalnız konsol menfezlerinin açık tutulması ve ön cam altı menfezi ile ayak menfezinin birlikte açık tutulması durumlarında m/s olarak kaydedilen hava hızı değerlerinin ortalamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı hava yönlendiricisi seçimlerinde vücut bölmeleri üzerindeki etkin hava hızları

		Hava Yönlendiricisi Seçimi	
		Konsol Menfezleri	Ön Cam ve Ayak Menfezleri
1	Sol ayak	0.20	1.00
2	Sol baldır	0.16	0.18
3	Sol uyluk	0.13	0.11
4	Sol el	1.73	0.13
5	Sol ön kol	0.26	0.07
6	Sol üst kol	0.31	0.12
7	Sol yanak	0.19	0.10
8	Sağ ayak	0.29	0.52
9	Sağ baldır	0.13	0.11
10	Sağ uyluk	0.16	0.09
11	Sağ el	0.21	0.31
12	Sağ ön kol	1.33	0.20
13	Sağ üst kol	1.13	0.25
14	Sağ yanak	0.26	0.17
15	Göğüs	0.51	0.11
16	Baş üstü	0.32	0.36
17	Burun	0.17	0.11
Ortalama		0.44	0.23

Tablo 2’de deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar ve bu cihazların ölçüm aralığı ile hassasiyetleri verilmiştir. Kullanılan bu cihazlar belirli bir ölçüm hassasiyetine sahip olduğundan ölçülen her değer bir miktar hata içermektedir. Bu ölçüm cihazlarının oluşturduğu toplam hatayı belirlemek amacıyla Moffat (1988)’in önerdiği ve her bir ölçüm parametresi hassasiyetinin ölçüm değerine olan oranları kareleri toplamının karekökü şeklinde ifade edildiği eşitlik kullanılmıştır. Söz konusu hassasiyet ve ölçüm aralıkları yapılan hesaplamalarda deneysel hata oranı %6 olarak bulunmuştur.

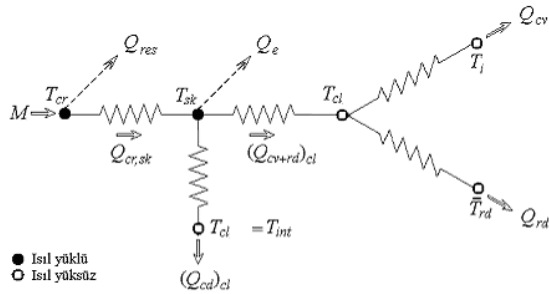
Tablo 2. Deneysel çalışmalarda kullanılan ölçüm cihazları

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

MATEMATİKSEL MODEL VE SİMÜLASYON

Çalışmanın teorik kısmında insan vücudunun çevresi ile ısı etkileşiminin hesaplanabilmesi amacıyla, Gagge ve ark. (1971) tarafından geliştirilen iki düğüm noktalı anlık enerji dengesi modelindeki matematiksel ifadeler, bağ grafiği yöntemi kullanılarak Matlab-Simulink ortamına aktarılmıştır.

Gagge modelinde insan vücudu iç içe geçmiş iki silindir tabakası olarak düşünülmüştür. İç silindir iç organları, kas ve yağ tabakalarını içermekte ve kor tabakası (iç vücut) olarak adlandırılmaktadır. Dış silindir ise deri tabakasını temsil etmektedir. Gagge modeline, Burch ve ark. (1991b) çalışmasındaki iletimle ısı kayıplarının da eklenmesi ile oluşturulan modelin, ısı direnç devresi şeklinde gösterimi Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Model ısı direnç devresi

Vücutta üretilen ısı (M) çoğu iç organlarda özellikle karaciğer, beyin, kalp ve iskelet kaslarında oluşur. Bu enerjinin bir kısmı solunum (Q_{res}) yolu ile ortama aktarılırken kan akışı aracılığıyla da vücudun

diğer kısımlarına taşınır ve bölgesel ısınmalar engellenmiş olur. Bu nedenle enerjinin bedene eşit olarak dağıtılmasında kanın oldukça önemli bir rolü vardır. İç organ ve dokulardan direkt temas ve kan akışı yoluyla deriye aktarılan ısı ($Q_{cr,sk}$), deriden de taşınım (Q_{cv}), ışınlım (Q_{rd}), buharlaşma (Q_e) ve kısmen de iletimle (Q_{cd}) çevreye verilir. Her bir düğüm noktası için enerji dengesi eşitlikleri yazılarak iç vücutta (kor) ve deride depolan ısı enerji hesaplanmaktadır.

$$S_{cr} = M - W - Q_{res} - Q_{cr,sk} \quad (2)$$

$$S_{sk} = Q_{cr,sk} - (Q_{cd} + Q_{cv} + Q_{rd} + Q_e) \quad (3)$$

Vücutta birim zamanda depolanan ısı enerji anlık iç enerji artışına eşittir. Birim zamanda depolanan enerji, her bölme için ayrı ayrı ısı kapasite ile birim zamanda sıcaklık değişiminin çarpımı olarak;

$$dT_{cr} / dt = S_{cr} A_D / ((1 - \alpha) m c_{p,b}) \quad (4)$$

$$dT_{sk} / dt = S_{sk} A_D / (\alpha m c_{p,b}) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Eşitliklerde, (α) deri bölgesi kütesinin vücut kütesine oranı, (m) vücut kütesi ve (A_D) Du-Bois yüzey alanı ve ($c_{p,b}$) vücudun özgül ısıdır. Vücut ile çevre arasındaki duyulur ve gizli ısı geçişleri için matematiksel ifadeler ASHRAE (1997) ve ISO 7730 da detaylı olarak tanımlanmıştır.

Ueda ve ark. (1997), çalışmalarında ısı konfor algısının yalnız deri veya vücut sıcaklığı ile ifade edilmesinin geçici ortam şartları için yetersiz olduğunu, deri yüzey sıcaklıklarındaki anlık değişimlerin de ısı konfor algısına önemli ölçüde etki ettiğini vurgulamışlardır. Hipotezlerinin kanıtlanması amacı ile gerçekleştirilen anket ve deneysel çalışmalarla ısı konfor algısının kişinin deri sıcaklığının normal deri sıcaklığı değerinden sapması ($T_{sk} - T_{sk,n}$) ve deri sıcaklığındaki anlık değişim ($\partial T_{sk} / \partial t$) ölçüsünde tanımlanmıştır.

$$TS = 0.82(T_{sk} - T_{sk,n}) - 39.1 \frac{\partial T_{sk}}{\partial t} \quad (6)$$

Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanan ısı konfor algısı değerleri + ile -5 değerleri arasında değişen 11 ölçekli bir ısı konfor tablosu ile karşılanmaktadır. 11 ısı konfor tablosunda + değerler sıcak kısmı, - değerler ise soğuk kısmı göstermektedir.

Tablo 3. 11. ölçekli ısı konfor karşılaştırma tablosu soğuk kısım değerleri

-5	Dayanılamaz Soğuk
-4	Çok Soğuk
-3	Soğuk
-2	Serin
-1	Biraz Serin
0	Normal

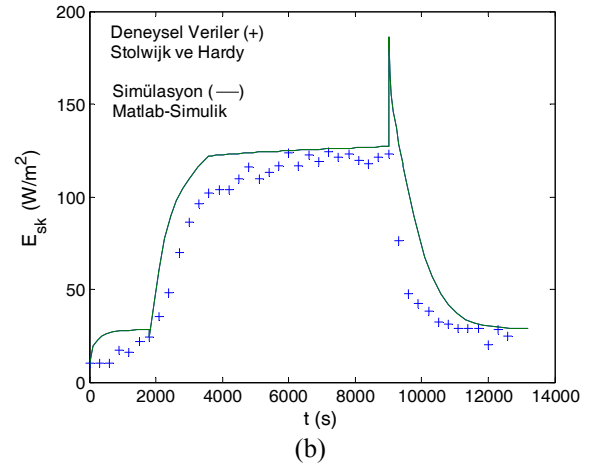
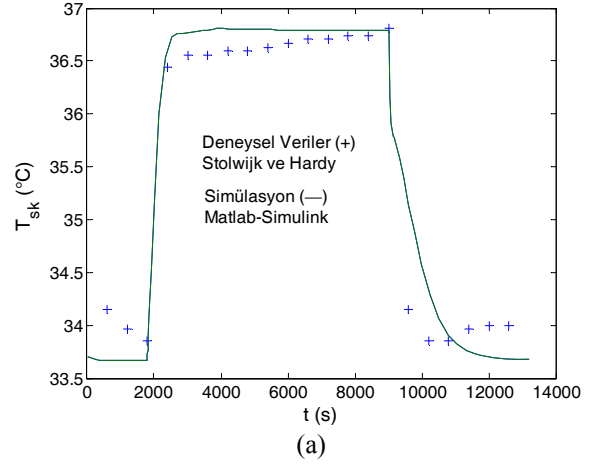
Bağ grafik metodu düğüm noktaları ve bu düğüm noktaları arasındaki sinyal akışlarından oluşmaktadır. İnsan vücudu ısıl sisteminde çevre ile vücut arasındaki ısı geçişleri sistemin sinyal akışı, iç vücut ve deri sıcaklığı ise düğüm noktalarıdır. Sistem, dış ortam şartları zamanla değiştiğinden dinamik, vücudun çevresi ile sürekli olarak ısıl etkileşimde olduğundan sürekli ve vücut denetim mekanizmaları ile deri ve iç vücut sıcaklıkları kontrol edildiğinden kapalı döngülü bir sistemdir. İnsan vücudunun Matlab-Simulink ortamında hazırlanmış olan modeli Ek 1’ de verilmiştir. Modelde çevresel parametreler temel girdiler olarak kullanılmakta ve sürekli değişen ortam şartlarında vücut sıcaklıklarının değişimi, vücut ile çevre arasındaki ısı geçişleri ve vücut denetim mekanizmaları yardımı ile kan akışının denetlenmesi gibi fizyolojik tepkiler sistemin çıktısı olarak izlenebilmektedir. Sistemde vücut ile çevre arasındaki duyulur ve gizli ısı geçişleri ile vücut denetim mekanizmaları alt sistemler olarak modellenmiştir. Her bir alt sistem içerisindeki Matlab – Simulink modelleri Akyol ve Kılıç (2008) çalışmasında detaylı olarak anlatılmıştır.

MODEL SONUÇLARININ LİTERATÜRDEN ALINAN DENEYSEL VERİLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

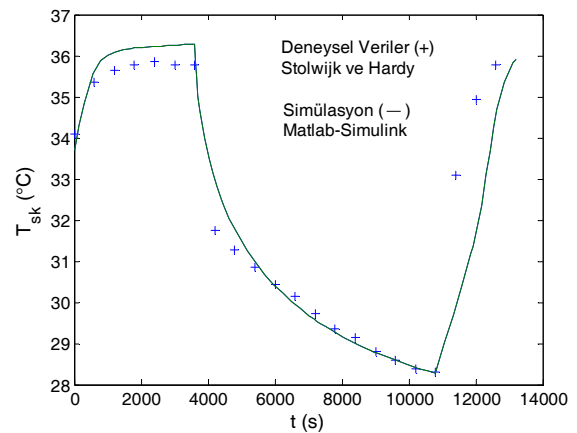
Çalışmada deneysel ölçümlerle belirlenen kabin iç ortam ısıl konfor parametrelerinin sürücünün fizyolojik tepkilerine ve ısıl konfor algısına olan etkisi model sonuçları kullanılarak incelenmiştir. Model sonuçlarının güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla literatürde yapılmış çalışmalardan elde edilen deneysel veriler hazırlanan simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Stolwijk ve Hardy (1966) çalışmalarında 3 farklı erkek denek, iç ortam sıcaklığı 30 °C olan % 40 bağıl neme sahip odada 30 dakika bekletildikten sonra sıcaklığı 48°C ve bağıl nemi % 30 olan odaya geçirilerek bu odada da 120 dakika bekletilmişlerdir. Son olarak denekler tekrar sıcaklığı 30 °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 m²’dir.

Deneilerin yapıldığı odaların konfor parametreleri deney boyunca sabit kalmıştır ve oda içinde bu parametrelerin homojen dağıldığı kabul edilmiştir. Şekil 3(a)’ da hazırlanan simülasyon programından elde edilen ortalama deri sıcaklığı değişimi grafiği Stowijk ve Hardy’nin deneysel verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3(b)’ de ise simülasyon ile bulunan terleme ile ısı kayıplarının Stolwijk ve Hardy’nin deneysel verileri ile karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3. Simülasyondan elde edilen (a) ortalama deri sıcaklığının ve (b) terleme ile ısı kaybının Stolwijk ve Hardy (1966)’nin deneklerin 30 °C’lik bir ortamdan 48 °C’lik bir ortama alındığı çalışmasındaki deneysel veriler ile karşılaştırılması.



Şekil 4. Simülasyondan elde edilen ortalama deri sıcaklığının Stolwijk ve Hardy (1966) ‘nin deneklerin 43 °C’ lik bir ortamdan 17 °C’lik bir ortama alındığı çalışmasındaki deneysel veriler ile karşılaştırılması.

Benzer olarak Stolwijk ve Hardy (1966) çalışmalarında sıcak ortamdaki soğuk ortama geçen bir insanın deri sıcaklığındaki değişimini de incelemiştir. Denekler 1 saat boyunca sıcaklığı 43 °C ve bağıl nemi % 30 olan

bir odada bekleldikten sonra 2 saat süresince de sıcaklığı 17 °C ve bağıl nemi % 40 olan farklı bir odaya alınmışlardır. Deneklerin iki oda arasındaki geçişi 1 dakikadan daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Şekil 4’ de sıcaktan soğuya geçiş deneyinde simülasyondan elde edilen ortalama deri sıcaklığı grafiği ile Stolwijk ve Hardy’nin deneysel verilerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Hazırlanan modelden elde edilen deri sıcaklığı ve terleme ile ısı kayıpları gibi simülasyon sonuçlarının literatürden alınan deneysel veriler ile son derece uyumlu olduğu Şekil 2, 3 ve 4 ‘den görülmektedir. 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 ölçümler arasındaki küçük sapmalara neden olmaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel Sonuçlar

Otomobillerin ısıtma sürecinde ölçülen vücut üzerindeki etkili hava hızları, ortam havası sıcaklıkları, ortalama ışınım sıcaklığı ve bağıl nem gibi iç ortam ısıl konfor parametreleri farklı hava yönlendiricisi seçimleri için karşılaştırılmıştır.

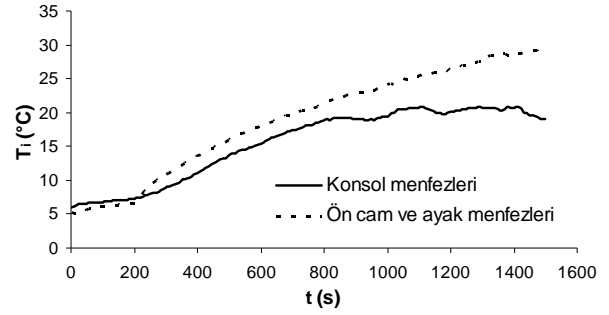
Vücut bölmeleri üzerindeki hava hızları

ISO 7730’da, konfor koşullarındaki vücut üzerinde etkili ortalama hava hızlarının 18 °C ile 24 °C arasında değişen dış ortam sıcaklıkları için 0.1 m/s ile 0.4 m/s arasında tutulması gerektiği belirtilmiştir. Tablo 1’den görüldüğü gibi konsol hava yönlendiricilerinin açık tutulması durumunda bazı vücut bölmeleri üzerinde yüksek hızlarda hava hareketleri meydana gelmektedir. Menfez çıkışı ile doğrudan temas halinde olan sol el ve sağ kol üzerinde hava hızları 1 m/s ‘nin üzerinde çıkmaktadır. Ayak ve ön cam menfezlerinin açık tutulması durumunda ise en yüksek hava hızı sol ayak üzerinde oluşmaktadır. Menfez seçimleri arasında önemli farklılıklardan biride göğüs üzerinde etkili hava hızlarıdır. Konsol menfezleri seçiminde göğüs üzerinde yaklaşık 0.5 m/s hava hızlarının oluştuğu gözlenirken, ayak ve ön cam menfezleri için bu değer 0.1 m/s civarında kalmaktadır.

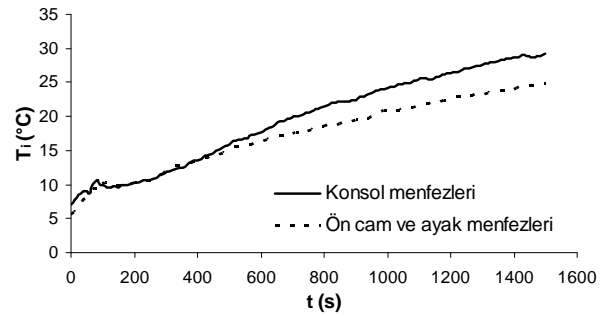
Vücut bölmeleri üzerindeki ortam havası sıcaklıkları

Sürücü üzerinden 11 farklı noktadan alınan deney sonundaki ortam havası sıcaklığı ölçümlerinin aritmetik ortalaması yalnız konsol menfezlerinin açık tutulması durumunda 27.2 °C, ön cam ve ayak menfezlerinin açık tutulması durumunda ise 26 °C olarak hesaplanmıştır. Şekil 5’de ısıtma sürecinde sürücü etrafındaki bazı ölçüm noktalarında alınan hava sıcaklığı ölçümlerinin

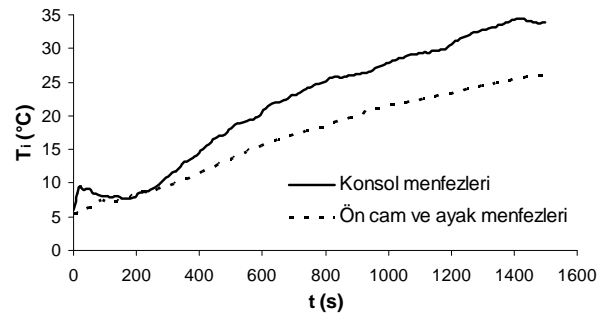
farklı hava yönlendiricisi seçimlerinde karşılaştırılması verilmiştir



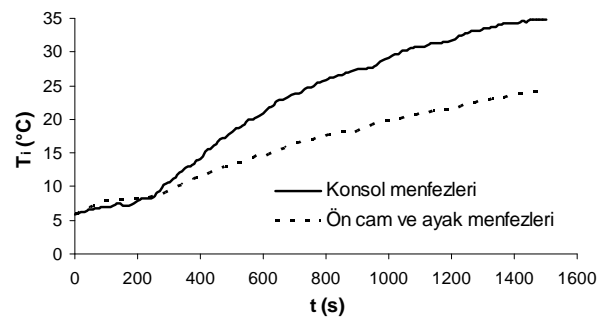
(a) Ayak



(b) Gövde



(c) Sağ kol



(d) Sol el

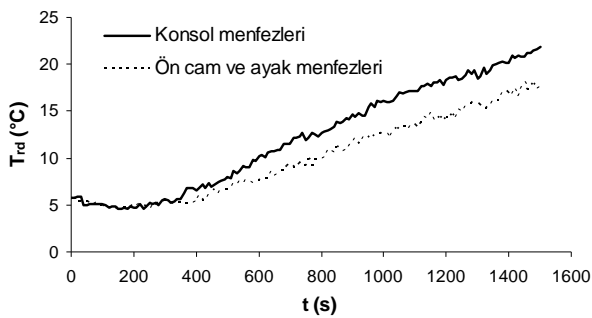
Şekil 5. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için bazı vücut bölmeleri üzerinden alınan ortam havası sıcaklığı ölçümlerinin karşılaştırılması

Isıtma sürecinde sürücü üzerindeki ortam havası sıcaklıklarında, hava yönlendiricisi seçimlerinden kaynaklanan farklılıklar aşağıda sıralanmıştır.

1. Konsol menfezleri konumunda sürücünün ayak bölgesi yeterince ısınmamış (deney sonunda 15°C 'ye ulaşmıştır) ve bu bölgeden alınan sıcaklık ölçümleri ön cam ve ayak menfezlerinin birlikte açık tutulduğu durumdan yaklaşık 10°C kadar daha düşük çıkmıştır.
2. Diz bölgesinden alınan sıcaklık ölçümlerinde ayak menfezlerinin açık tutulması ile deney süresince ortalama 2°C daha yüksek sıcaklık elde edilmiştir ve bu menfez seçimi ile diz bölgesinde konfor şartlarına ulaşılması için gerekli sürenin daha kısa olacağı gözlenmiştir.
3. Sürücünün uyluk ve baş bölgelerinden alınan sıcaklık ölçümlerinde önemli farklılıklar gözlenmemiştir.
4. Gövde üzerindeki ortam havasının konsol menfez seçimi için daha hızlı ısındığı gözlenmiştir.
5. Sürücünün el ve kolları konsol menfezleri seçiminde menfezlerden çıkan sıcak hava ile direkt temas halinde olduğundan yüksek sıcaklıklarda ve hızlardaki hava hareketlerinin etkisi altında kalmaktadır.

Genel olarak ön cam ve ayak menfezlerinin birlikte açık tutulması ile sürücü üzerinde daha homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Konsol menfezlerinin açık tutulması ile sürücünün dizlerinin üstünde kalan kısımları etrafındaki ortam havası sıcaklığı daha hızlı yükselmektedir. Fakat ayaklar ve baldırlar etrafında ise sıcaklıklar istenen seviyelere ulaşamamaktadır.

Ortalama ışıınım sıcaklığı

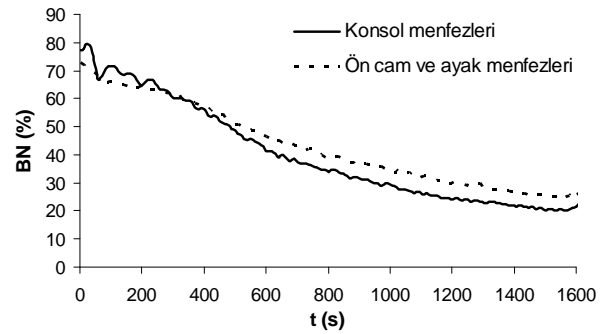


Şekil 6. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için kabin içindeki ortalama ışıınım sıcaklığı ölçümlerinin karşılaştırılması

Şekil 6'da farklı hava yönlendiricisi seçimlerinin ortalama ışıınım sıcaklığına etkisi verilmiştir. Aynı hız kademesi için yalnız konsol menfezlerinin çalışması durumunda ortalama ışıınım sıcaklığı deney sonunda 20°C 'ye ulaşmakta fakat ön cam ve ayak menfezleri için ortalama ışıınım sıcaklığı 15°C civarında kalmaktadır.

Bağıl nem ölçümleri

Sürücünün rahat nefes alması ve sağlığı açısından taşıt içindeki bağıl nem değerlerinin %30 ile %70 arasında tutulması gereklidir (ISO 7730). Isıtma sürecinde farklı hava yönlendiricilerinin test edildiği deneysel çalışmalarda artan iç ortam sıcaklığı ile sürücünün nefes hızından alınan iç ortam bağıl nem değerlerinin önemli oranda düştüğü Şekil 7'den görülmektedir. Konsol menfezleri seçiminde nefes bölgesi ortam havası sıcaklığının daha hızlı ısınması nedeniyle bu hava yönelticisi seçiminde ölçülen bağıl nem değerleri deney sonunda % 5 daha düşüktür.



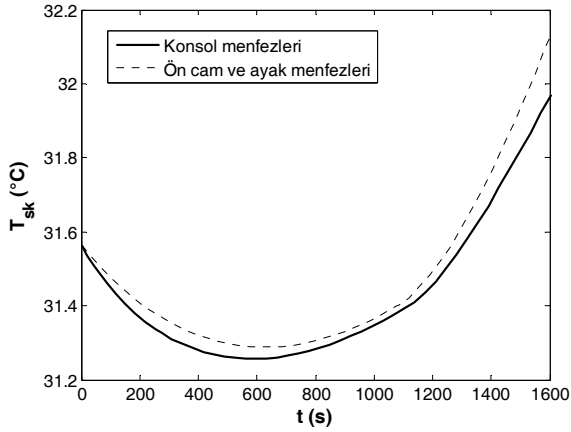
Şekil 7. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için bağıl nem ölçümlerinin karşılaştırılması

Simülasyon Sonuçları

Kabin içindeki ısı ortam koşullarının vücut üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla hazırlanan 16 bölmeli model, bir takım kabuller altında ve deneysel olarak ölçülen iç ortam ısı konfor parametrelerinden türetilen matematiksel ifadelerinin simülasyonda girdi olarak kullanılmasıyla çözdürülmüştür. Modelde otomobil içerisinde sürücünün metabolik aktivitesi 75 W/m^2 alınmıştır. Sürücünün 16 bölmesi için kabul edilen kütle ve yüzey alanı değerleri (Tanebe ve ark. 2002) ile kış şartları için giysi dirençleri (Yiğit 1998) ise Ek 2'de tablo halinde verilmiştir. Vücuttan duyulur yollarla ısı kayıplarının hesaplanması için gerekli ısı taşınım ve ışıınım katsayıları da Dear ve ark. (1997), çalışmasından alınmıştır. Modelde sırt yüzey alanının tamamının, pelvisin ise %50'sinin deney başlangıcında ortam sıcaklığında olan katı yüzeylerle temas halinde olduğu kabul edilmiştir, fakat iletimle ısı kayıplarının hava yönlendiricisi seçimlerinden etkilenmediği düşünülerek herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.

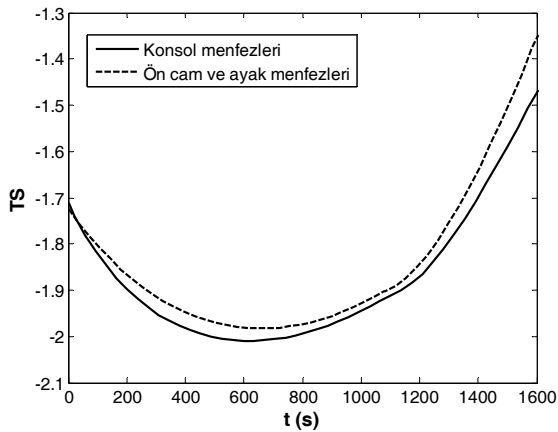
Şekil 8'de simülasyondan elde edilen ortalama deri yüzey sıcaklığı verilmiştir. ASHRAE (1997)'e göre vücut ile çevre arasında dengenin kurulması durumunda normal deri sıcaklığı ortalama 33.7°C 'dir. Isıtma periyodu için yapılan deneysel çalışmalarda sürücü otomobiline binene kadar soğuk bir dış ortamın (5°C) etkisinde kaldığından deri yüzey sıcaklıklarının ortalaması yaklaşık olarak 31.6°C olarak ölçülmüştür. İlk dakikalarda vücut bölmeleri üzerindeki sıcaklıklar (T_i) ve kabin yüzey sıcaklıkları düşük olduğundan

vücuttan çevreye yüksek ısı kayıpları gerçekleşmekte ve ortalama deri yüzey sıcaklığı düşmektedir. Daha sonra iç ortam sıcaklığının artmasıyla deri yüzey sıcaklıkları da artmaktadır fakat 25 dakikalık ısıtma sürecinin sonunda bile normal değeri olan 33.7 °C' ye ulaşamamaktadır.



Şekil 8. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için simülasyondan elde edilen ortalama deri sıcaklıklarının karşılaştırılması.

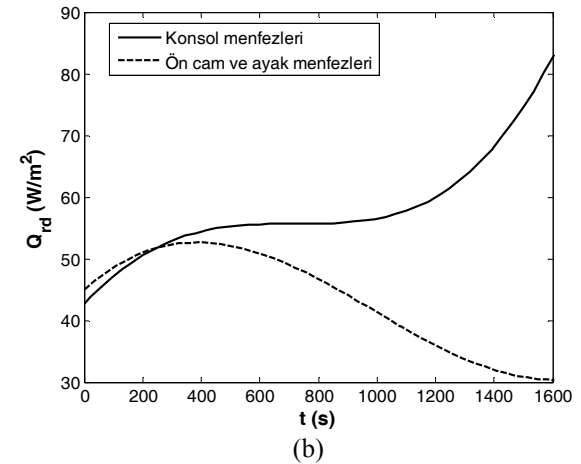
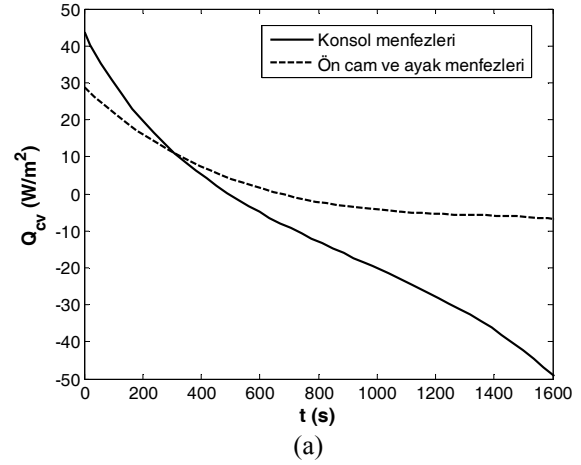
Ortalama ısıl konfor algısının hesaplanmasında, Ueda ve ark. (1997) ısıl konforu, deri sıcaklığının normal değerden sapması ve anlık deri sıcaklığı değişimi cinsinden ifade ettiği model esas alınmıştır. İlk dakikalarda deri sıcaklıklarının düşmesi ile ısıl konfor algısı da düşmektedir. Konforlu iç ortam şartlarında ısıl konfor algısının ± 0.5 arasında olması istenmektedir (ISO 7730). 25 dakikalık ısıtma süresince ortalama ısıl konfor algısına bakılarak konfor şartlarına ulaşılamadığı söylenebilir.



Şekil 9. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için simülasyondan elde edilen ortalama ısıl konfor algılarının karşılaştırılması.

Kabin iç yüzey sıcaklıklarının iç ortam havasından daha geç ısınması sebebiyle ortalama ışıma sıcaklığı düşük değerler almakta ve vücuttan en fazla ısı kayıpları ışıma yoluyla olmaktadır. Taşınım ile ısı kayıpları ise başlangıçta yüksek değerlerdedir fakat artan iç ortam

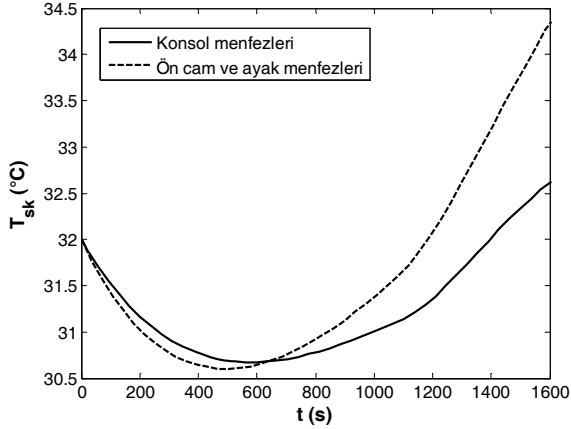
sıcaklığı ile azalmış ve deneyin 10. dakikasından itibaren ters yönde etki etmeye başlamıştır. Isıtma periyodu boyunca solunum ve terleme yoluyla olan ısı kayıplarının iki farklı menfez seçiminde de ortam sıcaklığından fazla etkilenmediği ve 5 W/m² mertebesinde kaldığı gözlenmiştir fakat çalışmada grafik olarak ifade edilmemiştir.



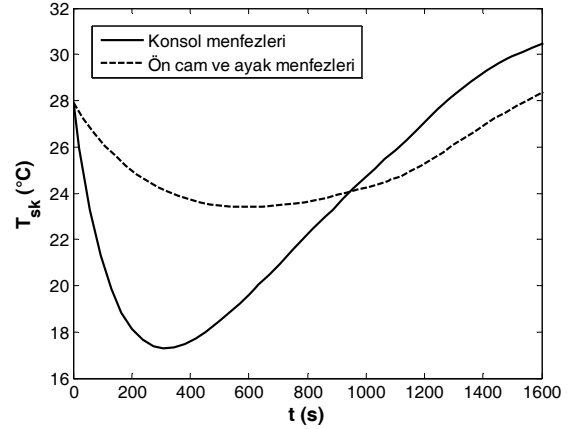
Şekil 10. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için simülasyondan elde edilen (a) taşıma ve (b) ışıma yollarıyla ortalama ısı geçişlerinin karşılaştırılması.

Tüm vücuttan çevreye olan ortalama taşıma ve ışıma yollarıyla ısı geçişlerinin farklı hava yönlendiricisi seçimlerinde karşılaştırılması Şekil 10(a) ve 10(b)' de verilmiştir. Konsol menfez seçiminde vücut üzerindeki yüksek hava hızlarından dolayı taşıma ile olan ısı geçişleri ön cam ve ayak menfez seçiminden daha etkilidir. Konsol menfezleri seçiminde elbise yüzey sıcaklıklarının ortam havası sıcaklığına paralel olarak ve kabin iç yüzey sıcaklıklarından daha hızlı yükselmesi bu hava yönlendiricisi seçimi için ışıma ile ısı geçişlerinin artmasına neden olmuştur.

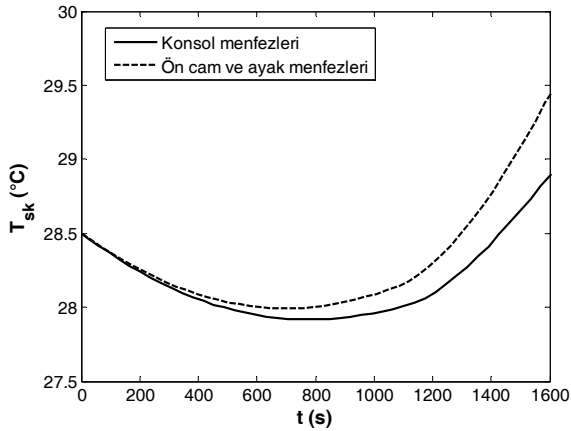
Otomobil kabinleri gibi ısıl konfor parametrelerinin büyük farklılıklar gösterdiği ortamlarda ortalama ısıl konfor algısı kabul edilebilir değerlerde olsa bile yerel konforsuzluklar oluşabilmektedir.



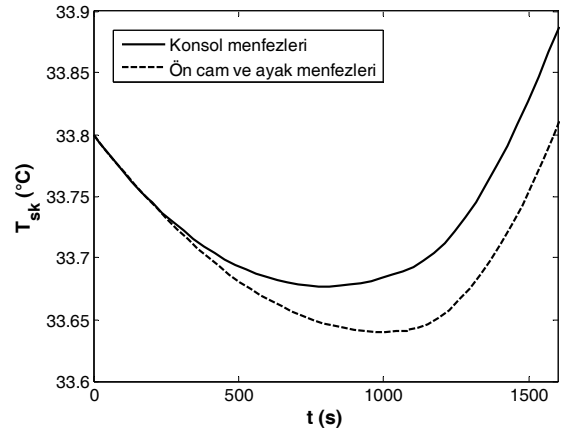
(a) Sol ayak



(c) Sol El



(b) Sol baldır



(d) Gövde

Şekil 11. Farklı hava yönlendiricisi seçimleri için simülasyondan elde edilen bazı vücut bölmelerinin deri yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması.

Şekil 11(a), 11(b), 11(c) ve 11(d) 'de ısıtma süresince bazı vücut kısımlarının deri yüzey sıcaklıklarının farklı hava yönlendiricisi seçimleri için karşılaştırılmaları verilmiştir. Simülasyondan elde edilen deri yüzey sıcaklıklarının değişimleri incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Konsol menfez seçiminde sürücünün ayak ve baldır deri yüzey sıcaklıkları, ön cam ve ayak menfez seçiminde ise baldır deri yüzey sıcaklıkları normal değer olarak alınan 33.7 °C ulaşamamıştır.
2. Genel olarak vücudun baş ve eller gibi çıplak vücut bölmelerinden taşınım yoluyla yüksek ısı kayıpları gözlenmiştir. Sırt ve göğüs gibi elbise dirençlerinin yüksek olduğu vücut bölmeleri ise dış ortam şartlarından daha az etkilenmiştir.
3. Konsol menfez seçiminde sol el ve sağ kol üzerinde oluşan yüksek hava hareketleri nedeniyle deneyin ilk dakikalarında deri yüzey sıcaklıkları önemli oranda düşmüş daha sonra üzerine üflenen sıcak menfez havasının etkisi ile normal değere ulaşmıştır.

SONUÇLAR

Bu araştırmada otomobillerin ısıtma sürecinde sürekli değişen ve düzensiz bir dağılım gösteren kabin iç ortam ısı konfor parametreleri, farklı hava yönlendiricilerinin açık tutulması durumlarında deneysel olarak test edilmiştir. Bu amaçla sürücü etrafında farklı noktalardan sıcaklık, bağıl nem, hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığı ölçümleri alınmıştır.

Deneysel olarak belirlenen iç ortam şartlarında sürücünün çevresi ile ısı etkileşimi ve fizyolojik tepkileri de Gagge (1971) iki bölmeli anlık enerji dengesi modeli kullanılarak Matlab-Simulink ortamında hazırlanan 16 bölmeli insan vücudu modelinde çözdürülmüştür. Deneysel ölçümlerden ve simülasyon çözümlerinden aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Orta konsol menfezleri ile ısıtmada ayak ve baldırlar etrafındaki iç ortam havası yeterince ısınmadığından bu vücut bölmelerinin ısı konfor algıları daha düşük çıkmaktadır. Orta konsol menfezleri için sürücünün baş ve diz hizalarından alınan sıcaklık ölçümleri arasındaki deney sonundaki fark 10 °C iken, ön

cam ve ayak menfezlerinin birlikte çalışması için bu fark 5 °C olarak ölçülmüştür.

2. Taşıt ısıtma sürecinde orta konsol üzerindeki menfezlerin açık tutulması durumunda sürücünün elleri ve kolları üzerinde yüksek hava hızları ($u > 1$ m/s) oluşmaktadır. Bu durum elbise direncinin olmadığı eller gibi vücut bölmelerinin deri yüzey sıcaklıklarında istenmeyen ölçüde düşmelere ve kişinin yerel olarak kendini konforsuz hissetmesine neden olmaktadır.
3. Isıman menfez havası ile doğrudan temas halindeki vücut bölmeleri üzerinde yüksek sıcaklıkta hava akışlarının oluşması bu bölmelerin deri yüzey sıcaklıklarında önemli artışlara neden olmaktadır.
4. Elbise direnci yüksek olan göğüs, sırt, pelvis gibi vücut bölmeleri dış ortam koşullarından fazla etkilenmemektedir.
5. Kabin yüzeyleri iç ortam sıcaklığından daha geç ısınıp soğuyacağından, ışınlama ısı kayıp ve kazançları kişilerin ısı konforunun belirlenmesinde daha etkin rol oynamaktadır. Isıtma sürecinde orta konsol üzerindeki menfezlerin açık tutulması durumunda ortalama ışınlama sıcaklığı daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

TEŞEKKÜR

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

SİMGELER

A_D	Du-Bois çıplak vücut yüzey alanı [m^2]
BN	Bağıl nem
$c_{p,b}$	Vücudun özgül ısısı [kJ/kgK]
M	Birim zamanda toplam metabolik enerji üretimi [W/m^2]
m	Kütle [kg]
Q_{cd}	Deriden birim zamanda iletimle olan ısı kaybı [W/m^2]
$Q_{cr,sk}$	İç bölmede deriye birim zamanda olan ısı geçişi [W/m^2]
Q_{cv}	Deriden birim zamanda taşınım ile olan ısı kaybı [W/m^2]
Q_e	Deriden birim zamanda buharlaşmayla olan toplam ısı kaybı [W/m^2]
Q_{res}	Solunumla birim zamanda olan gizli ısı kaybı [W/m^2]
S_{cr}	İç bölmede birim zamanda depolanan enerji [W/m^2]
S_{sk}	Deride birim zamanda depolanan enerji [W/m^2]
t	Zaman [s]

T_{cl}	Giysinin ortalama yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{cr}	İç vücut (kor) sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_i	İç Ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{int}	Vücudun katı yüzeyle temas eden kısmının ara yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$]
$T_{küre}$	Siyah küresel termometre sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{sk}	Deri tabakası sıcaklığı [$^{\circ}C$]
$T_{sk,n}$	Deri tabakasının nötr sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{rd}	Ortalama ışınlama sıcaklığı [$^{\circ}C$]
TS	Isıl konfor algısı (Isıl duyum)
u_g	Siyah küresel termometre etrafındaki hava hızı [m/s]
α	Toplam vücut kütesinin deri bölgesinde olan bölümü

KAYNAKLAR

Akyol, M. ve Kılıç, M., Otomobillerde Isıtma Sürecinde Sürücünün Fizyolojik Tepkilerinin Dinamik Olarak Modellenmesi, U.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi (yayınlanması kabul edilmiştir), BURSA, 19 s., 2008.

ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 8: Thermal Comfort, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia, USA, 1997.

Burch, S. D., Ramadhyanı, S., Pearson, J. T., Experimental Study of Passenger Thermal Comfort in an Automobile under Severe Winter Conditions, ASHRAE Transaction, 97: 239-246, 1991(a).

Burch, S. D., Ramadhyanı, S., Pearson, J. T., Analysis of Passenger Thermal Comfort in an Automobile under Severe Winter Conditions, ASHRAE Transaction, 97: 247-257, 1991(b).

Dear, R. J., Arens, E., Hui, Z., Convective and Radiative Heat Transfer Coefficients for Individual Human Body Segments. International Journal of Biometeorol, 40: 141-156, 1997.

Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi, Y., An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Response, ASHRAE Transactions, 77, Part-1: 247-262, 1971.

Guan, Y., Hosni, M. H., Jones, B. W., Giolda, T. P., Investigation of Human Thermal Comfort Under Highly Transient Conditions for Automotive Applications-Part 1: Experimental Design and Human Subject Testing Implementation, ASHRAE Transactions, 109: 885-897, 2003(a).

Guan, Y., Hosni, M. H., Jones, B. W., Giolda, T. P., Investigation of Human Thermal Comfort Under Highly Transient Conditions for Automotive Applications-Part 2: Thermal Sensation Modeling, ASHRAE Transactions, 109: 898-907, 2003(b).

ISO 7730, Determination of the PMV and PPD Indices and the Specifications of the Conditions for Thermal Comfort, Moderate Thermal Environments, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1994.

Kaynaklı, O. and Kılıç, M., An Investigation of Thermal Comfort Inside an Automobile During the Heating Period, Applied Ergonomics, 36: 301-312, 2005.

Kaynaklı, O., Pulat, E., Kılıç, M., Thermal Comfort During Heating and Cooling Periods in an Automobile. Heat and Mass Transfer, 41: 449-458, 2005.

Lee, S. J. and Yoon, J. H., Temperature Field Measurement of Heated Ventilation Flow in a Vehicle Interior. International Journal of Vehicle Design, 19(2): 228-243, 1998.

Moffat, R. J., Describing the Uncertainties in Experimental Results. Experimental Thermal Fluid Science, 1: 3-17, 1988.

Stolwijk, J. A. J. and Hardy, J. D., Temperature Regulation in Man Theroretical Study. Pflugers Archiv Ges. Physiol, 291: 129-162, 1966.

Tanabe, S., Kobayashi, K., Nakano, J., Ozeki, Y. and Konishi, M., Evaluation of Thermal Comfort Using Combined Multi-Node Thermoregulation (65MN) and Radiation Models and Computational Fluid Dynamics (CFD), Energy and Buildings, 34: 637-646, 2002.

Ueda, M., Taniguchi, Y., Asano, A., Mochizuki, M., Ikegami, T., Kawai, T., An Automobile Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) System with a Neural Network for Controlling the Thermal Sensations Felt by a Passenger, J.S.M.E International Journal Series B, 40(3): 469-477, 1997.

Yiğit, A., Kış ve Yaz Şartlarında Otomobil İçindeki Isıl Konfor, TTMD, 3. Uluslar arası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 98 sayfa, 109-120, 1998.



Muhsin KILIÇ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Makine Mühendisi olarak 1986 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesinden, Doktora derecesini 1993 yılında İngiltere’de Bath Üniversitesinden almıştır. 1994 yılında Uludağ Üniversitesinde Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. Aynı bölümde 1996 yılında Doçent ve 2002 yılında Profesör unvanlarını alarak atanmıştır. Halen aynı yerde Enerji Anabilim Dalı üyesi olarak Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Enerji Ana Bilim Dalı Başkanlığı görevlerini sürdürmektedir. CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği), Isı ve kütle transferi, Termik Turbo Makineler, Enerji, Isıl Konfor, Otomotiv ve Yangın Güvenliği konularında çalışmaktadır. Çalışma konularında uluslar arası ve ulusal dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuş çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır.

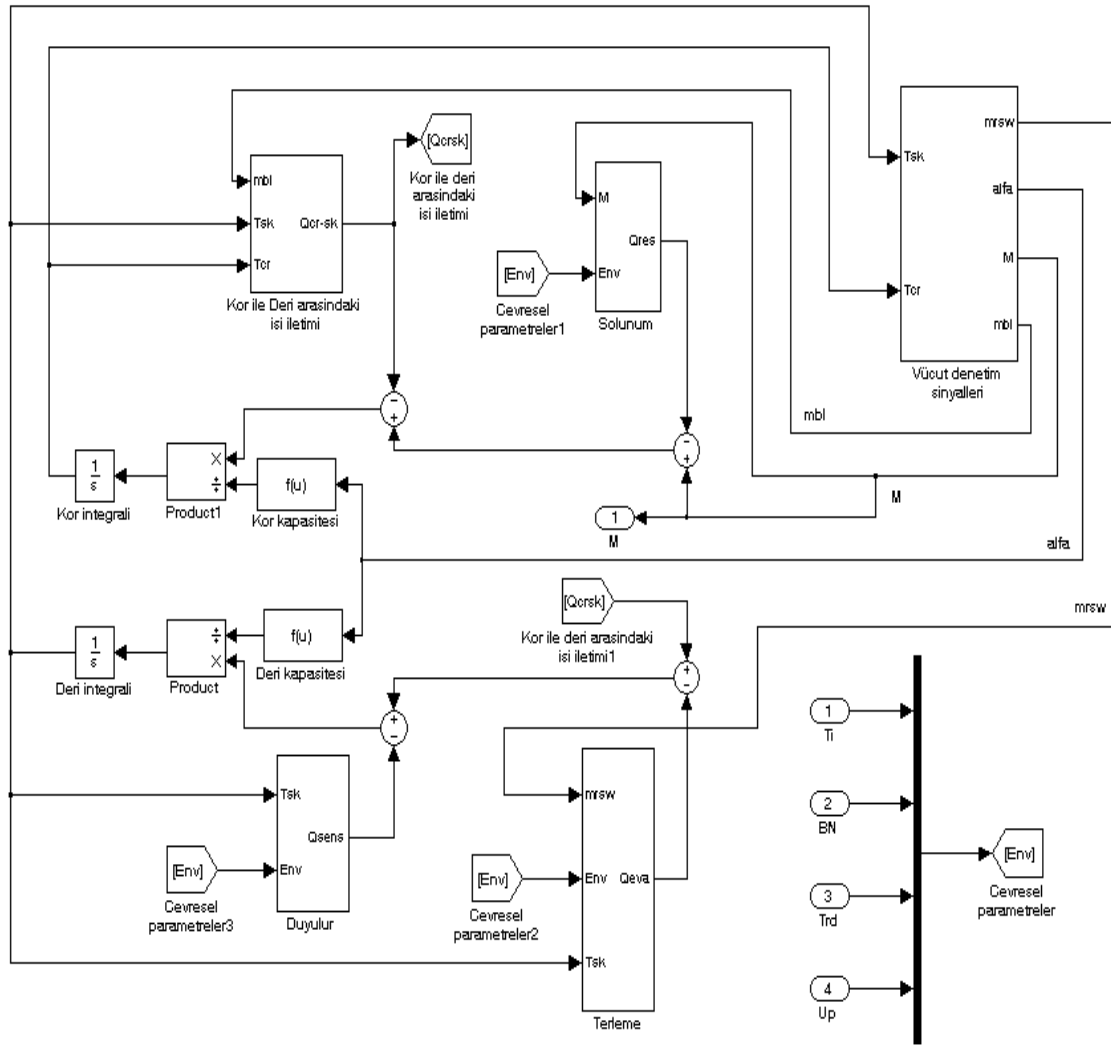


Ş. Melih AKYOL

1984 Bursa doğumlu olan Ş.Melih AKYOL, 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başladı. 2006 yılında bölümünün Enerji Ana Bilim Dalından mezun olarak aynı yıl Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında bölümünde araştırma görevlisi oldu. 2008 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlayarak makine yüksek mühendisi unvanını kazanmış ve aynı yıl doktora öğrenimine başlamıştır. Halen Uludağ Üniversitesi’nde görevine ve doktora öğrenimine devam etmektedir.

EKLER

Ek 1. İnsan vücudunun Matlab – Simulink modeli



Ek 2. Farklı vücut bölmelerinin elbise direnci, yüzey alanı ve ağırlık değerleri

Vücut Kısmı	Kısım Numarası	Kışık Giyim $m^2 \cdot ^\circ C / W$	Du-Bois Yüzey Alanı (m^2)	Ağırlık (kg)
Sol Ayak	1	0.291	0.056	0.480
Sağ Ayak	2	0.291	0.056	0.480
Sol Baldır	3	0.151	0.112	3.343
Sağ Baldır	4	0.151	0.112	3.343
Sol Uyluk	5	0.151	0.209	7.013
Sağ Uyluk	6	0.151	0.209	7.013
Pelvis	7	0.617	0.221	17.54
Baş	8	0	0.140	4.020
Sol El	9	0	0.050	0.335
Sağ El	10	0	0.050	0.335
Sol Ön Kol	11	0.454	0.063	1.373
Sağ Ön Kol	12	0.454	0.063	1.373
Sol Üst Kol	13	0.454	0.096	2.163
Sağ Üst Kol	14	0.454	0.096	2.163
Göğüs	15	0.601	0.175	12.40
Sırt	16	0.601	0.161	11.03
Tüm Vücut		0.167	1.87	74