



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

OTOMOBİL KABİNLERİ İÇERİSİNDE ISIL KONFOR KONUSUNDAKİ GELİŞMELER

**M. ÖZGÜN KORUKÇU
MUHSİN KILIÇ
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**



OTOMOBİL KABİNLERİ İÇERİSİNDE ISIL KONFOR KONUSUNDAKİ GELİŞMELER

Advances in Thermal Comfort in Automobile Cabins

M. Özgün KORUKÇU
Muhsin KILIÇ

ÖZET

Otomotiv sektöründe bir otomobilin satışında motor gücü ve yakıt tüketimi gibi mekanik faktörlerin yanı sıra yolculuk sırasında kabin içerisindeki ısı koşullarının istenilen düzeyde olması da önemlidir. Otomobil kabini gibi küçük hacimlere sahip ortamlarda iç ortam koşulları çok hızlı bir şekilde değişmekte ve bu koşulları kontrol altına almak ise oldukça zordur. Çalışmada otomobil kabinleri içerisindeki ısı konfor koşulları hakkında son yıllarda yapılmış deneysel, teorik ve simülasyon çalışmaları derlenerek bu konudaki gelişmeler açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ısı konfor, otomobil kabini, ısı transferi, hesaplamalı akışkanlar mekaniği.

ABSTRACT

Besides mechanical factors such as engine power and fuel consumption in automotive industry, desired thermal conditions in automobile cabin during travel is also important of automobile sale. Ambient conditions are rapidly change in small volumes such as automobile cabins and to control these are difficult. In the study, recent experimental, theoretical and simulation studies of thermal comfort conditions in automobile cabins are reviewed and advances about the issue are tried to be explained.

Keywords: thermal comfort, automobile cabin, heat transfer, computational fluid mechanics

1. GİRİŞ

İnsanoğlu varolduğundan beri gereksinimleri yada merakı için bulunduğu bölgeden uzak yerlere gitme isteğindedir. Çağlar içerisinde kara üzerinde başlayan bu seyahatler yürüyüş, koşu, binek hayvan, binek hayvanların çektikleri yada insanın kas gücüyle hareket ettirdiği tekerlekli araç kronolojisi ile birlikte en son belirli bir yakıt ile herhangi bir kas gücüne gerek duymayan kendi kendine giden “otomobil” adı verilen araçlar yardımıyla yapılmaya başlanmıştır. Teknolojideki gelişmeler ve ekonomik alım gücünün artması ile birlikte ilk başta az sayıda ve pahalı üretilen otomobillere sahip olmak günümüzde hiç de zor değildir.

Bir otomobil alınırken motor gücü, yakıt tüketimi, görüntüsü, dayanıklılık ve güvenli sürüş ekipmanı gibi temel etkenlerin yanı sıra otomobil kabini içerisindeki ısı konfor koşullarının kontrolü de otomobil satışlarında oldukça etken bir faktördür.

Otomobil kabinleri ofis, sinema/tiyatro salonu ve binalarda yer alan diğer iç hacimlere göre oldukça küçüktür ve hareket halinde olan bir araç ve içerideki yolcularında etkisi ile kabin içerisindeki iç ortam koşulları oldukça değişken olabilmektedir. Her türlü dış ortam koşulunda konforlu bir yolculuk



yapılabilmesi için öncelikle sürücünün daha sonra ise yolcuların ısı koşullardan hoşnut olacağı bir iç ortam sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada otomobil kabinleri içerisinde gerçekleştirilmiş olan ısı konfor konusundaki gelişmeler üç ana başlık altında incelenmiştir. Bu başlıklar; otomobil kabinlerinde ısı konfor konusunda yürütülmüş deneysel, teorik ve simülasyon çalışmalarını içermektedir. Çalışmalar incelenerek konu hakkındaki son yıllarda yapılmış gelişmelerin aktarılması amaçlanmıştır.

2. OTOMOBİL KABİNLERİ İÇERİSİNDEKİ ISIL KONFOR PARAMETRELERİ İÇİN YÜRÜTÜLEN TEORİK ÇALIŞMALAR

Konu hakkındaki teorik çalışmalardan önce ısı konfor tanımının kavranması gerekmektedir. Isıl konforun farklı birkaç tanımı vardır. Anonim [1], ısı çevreden hoşnut olunan düşünce durumu; Anonim[2], iç vücut sıcaklığının düzenlenmesi için minimum fizyolojik çabaya gerek duyulması durumu; Anonim [3], ısı çevreden tatmin olunan koşulları, ısı konfor olarak nitelendirmektedir. Isıl konfor, çevresel ve kişisel faktörlere bağlıdır. Çevresel faktörler ölçülebilen parametreler iken kişisel faktörler ise ölçülemeyen parametreler olarak adlandırılmaktadır.

Çevresel faktörler

- Hava sıcaklığı
- Hava hızı
- Havanın nemi
- Ortalama ışınım sıcaklığı

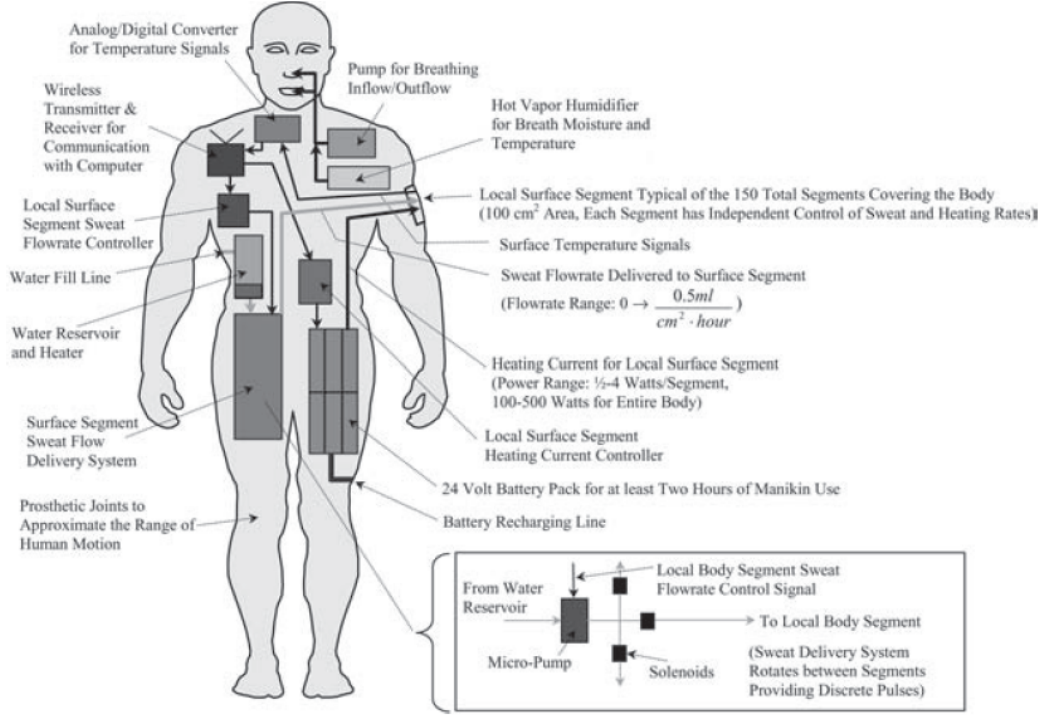
Kişisel faktörler

- Yapılan aktivite
- Giysi

Bir ortam içerisinde bulunan insan ve ortam arasındaki ısı-kütle geçişi bağıntılarından yararlanılarak birçok ısı konfor modeli geliştirilmiştir. Otomobil kabinleri içerisindeki koşullar için özel olarak bir ısı konfor modeli bulunmadığından mevcut ısı konfor modellerinden yararlanılmaktadır. Bilinen ilk ısı konfor modeli Fanger [4] tarafından geliştirilmiştir ancak geliştirdiği model sürekli rejimde geçerlidir. Vücut ile çevre arasındaki ısı etkileşimde yaygın olarak kullanılan diğer model ise, *İki Bölmeli Anlık Enerji Dengesi Modeli*dir [5]. Bu model, vücudu iç içe iki silindir olarak kabul eder ve iç silindir iç organları, kasları ve kemikleri, dış silindir ise deri ve ona bağlı dokuları simgeler. Stolwijk [6] vücudu altı ana parçaya ayırıp her parça içerisinde iç bölme, kas, yağ ve deriden birde merkezi kan tabakası olmak üzere toplam 25 bölmeli bir model geliştirmiştir. Fiala ve diğ. [7-8] insan termoregülasyonunu simgeleyen geçici rejimde sayısal bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Pasif kısım deri ve kıyafetten olan taşınım, yöne bağlı ışınım, buharlaşma ve nem transferini içerirken aktif kısım ise vücudun termoregülasyon cevaplarını simüle etmektedir. Stolwijk modeli üzerine bir kıyafet katmanının daha eklendiği Berkeley modelinde [9] ayrıca vücudun katı yüzeyler ile temasından kaynaklanan ısı kayıpları da eklenmiştir. Modelde ek olarak bireylerin kişisel fizyolojik farklılıkları da göz önüne alınmıştır. Stolwijk modelinin geliştirilmesinden ortaya çıkan başka bir ısı konfor modeli ise Tanebe [10] tarafından geliştirilmiş olan 65 noktalı modeldir. Bu modelde vücut 16 ana parçaya ayrılmış, her parça yine dört bölmeye ayrılmış ve birde merkezi kan akış sistemi olmak üzere toplam 65 bölme yer almaktadır.

3. OTOMOBİL KABINLERİ İÇERİSİNDEKİ ISIL KONFOR PARAMETRELERİ İÇİN YÜRÜTÜLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kabin içerisinde gerçek denekler kullanmak yerine gerçek insan boyutlarında ısıl mankenler kullanılmaktadır. Isıl mankenler gerçek bir insan gibi soluma ve terleme mekanizmaları ile donatılmışlardır. Walter su pompaları ile kumaşı ıslatan ve terlemeye benzeten bir yapıya sahipti [11]. TOM (Thermal Observation Manikin) ise kabin içerisindeki ısı kaynaklarından gelen ısı miktarını ölçebiliyordu [12]. ADAM (Advanced Automotive Manikin) ise 126 parçadan oluşan ve kompozit malzemeden yapılmıştı. Bu parçalar aracılığıyla sıcaklık, nem ve ısı geçişi bağımsız olarak kablolu ya da kablosuz biçimde kontrol edilebiliyordu. Ağız kısmında yer alan bir fan ile gerçekçi bir soluma yapılabiliyordu [13]. ADAM mankeninin özellikleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. ADAM termal mankeninin şematik gösterimi [13].

Kabin içerisindeki deneysel çalışmalar ya iklimlendirme yapılan ve bir laboratuvar içine yerleştirilmiş bir otomobil kabininde ya da gerçek otomobiller içerisinde yapılmaktadır. Kore'de yapılmış bir çalışmada otomobil klima sistemi ile donatılmış bir kabin iklimlendirme odası içine yerleştirilmiştir. Kabin içerisinde bir sürüş simülatörü yer almaktadır. Sıcaklıkları T tipi ısı-çiftler ile ölçerken deneklerin beyin fonksiyonlarını ölçebilmek için EEG (Elektroensafalogram) cihazı kullanılmıştır. Kabin sıcaklığının denek üzerindeki etkisi incelenmiştir [14].

Kore'de yapılan bir başka çalışmada ise kabin içerisinde farklı pozisyonlarda yerleştirilen fanlar yardımıyla soğutma performansının daha az güç gerektiren bir iklimlendirme sistemi ile gerçekleştirilebileceği bulunmuştur [15].

Polonya'da yapılan bir çalışmada ise gerçek bir kabin içerisine yerleştirilmiş ısı-çiftler yardımıyla geçici rejimdeki soğutma süreci için kabin iç ortam koşulları belirlenmiştir. Kabin ve dış ortam havası arasındaki enerji dengesi tabanlı simülasyon sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır [16].

Isıtma sürecinin ilk anlarında ısıtılmalı koltukların kabin içi ısıl konfor üzerine yapılan bir çalışmada 8 denek üzerinden yapılan deneyler sonucunda 15°C altındaki sıcaklıklar için ısıtılmalı koltuğun devreye girmesi durumunda kabin içerisinde daha iyi ısıl konfor koşulları elde edilmiştir [17].

İklimlendirme laboratuvarına yerleştirilmiş bir araba içerisinde gerçekleştirilen ısıl konfor deneylerinde ise -40 85°C sıcaklıklar ve %15-%95 nem aralığında çalıştırılabilen bir ortam oluşturulmuştur. Farklı sıcaklık ve soğutma hızları altında termal kamera çekimleri yapılmıştır. Ayrıca araç içerisindeki PMV ve PPD indeksleri belirlenmiştir [18]. Deneylerde kullanılan iklimlendirme odası Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. İklimlendirme odasına yerleştirilmiş deney arabası [18].

Kızılötesi ısıtıcıların kabin iç ortamındaki ısı konfor koşullarına olan etkisini incelemek için sürücü tarafına yerleştirilen kızılötesi ısıtıcılar ile 2 dakikada 1°C sıcaklık artımı sağlanarak kabin içi 5°C değerinden 25°C değerine kadar yükseltilmiştir. Sağlıklı sekiz denek yedi ölçekli ısı konfor anketine cevap vermiştir. Vücudun farklı bölgelerindeki sıcaklık kaynaklı konforsuzluklar belirlenmiştir [19].

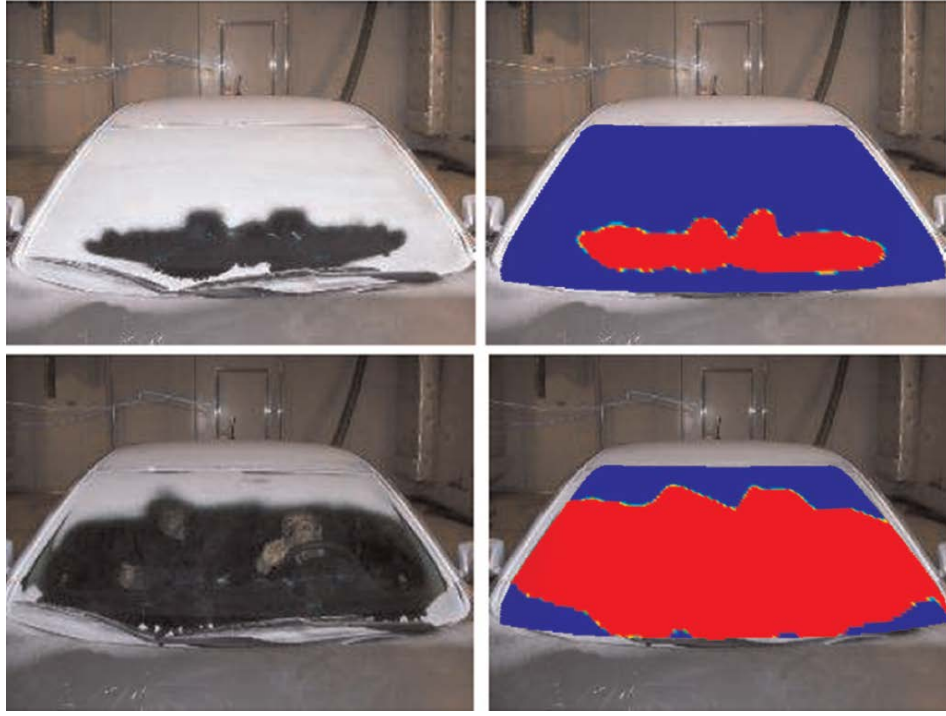
Mikro-elektromekanik sistemlerin (MEMS) kullanımı ile küçük boyutta, yüksek hassasiyette ve düşük enerji tüketimine sahip sensörler üretilip kabin iç ortamındaki hava koşullarının kontrol edilebileceği belirtilmiştir. Yalnızca sıcaklığı değil bağıl nem ve hava hızını da ölçebilen bu sistemlerin geleceğin arabalarında varsayılan donanımların içerisinde olacağı tahmin edilmektedir [20].

3. OTOMOBİL KABINLERİ İÇERİSİNDEKİ ISIL KONFOR PARAMETRELERİ İÇİN YÜRÜTÜLEN SAYISAL ÇALIŞMALAR

Pahalı laboratuvar ortamları, termal mankenler ya da gerçek denekler kullanımının başka bir alternatifi de kabin iç ortamını sanal olarak modelleyip akışkan hareketlerini Sayısal Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (SHAD) modelleri kullanarak sonuca ulaşmaktır. Son yıllarda bilgisayar ve elektronik teknolojisinin gelişmesi ile birlikte daha hızlı çözümlere ulaşılabilen SHAD'de unutulmaması gereken bir nokta ise hesaplama sonuçlarını gerçek deneyler ile uyumluluğunun kontrol edilmesidir.

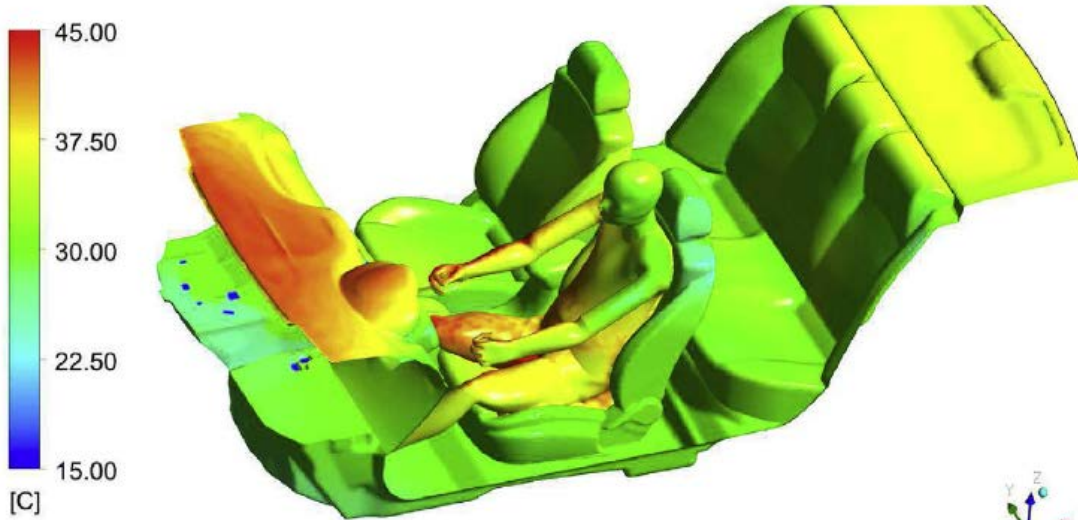
Elektrikli bir araç kabini içerisindeki ısı koşullarının sayısal simülasyonu THESEUS-FE ve açık kaynaklı bir yazılım olan OPENFOAM kullanarak gerçekleştirilmiştir. Sanal olarak farklı güçteki kızıl ötesi lambalar araç kabini üzerinde konumlandırılmış ve güneş ışınımı modellenmiştir. Araç içerisindeki farklı bölgelerdeki sıcaklık ve hava hızı dağılımları elde edilmiştir [21].

Araç kabinleri için gerçekleştirilen başka bir sayısal çalışmada ise kabin içerisindeki hava hareketi için ANSYS CFX 12 yazılımı kullanılmıştır. Geçici rejimde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerinin çözüldüğü yazılım sayesinde kabin sonlu hacimlere ayrılmış ve denklemler sayısal olarak çözülmüştür. Araç içerisindeki ısı konfor indekslerinin belirlenmesinin yanısıra buğu ve buz çözülmesi sırasındaki simülasyonlar gerçekleştirilmiş olup deneyler ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir [22]. Araç ön camındaki buz çözülmesinin deneysel ve sayısal simülasyon sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ön camdaki buz çözülmesi için gerçekleştirilen deney ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması [22].

Güneş ışınımının kabin içerisindeki ısı konforu üzerine olan etkisinin incelendiği sayısal bir çalışmada ANSYS 12 kullanılmıştır. Işınımı discrete ordinates (DO) yöntemi ile modelleyerek simülasyonlara dahil etmişlerdir. Simülasyonlarını deneyler ile doğrulamışlar ve kabin içerisindeki sıcaklık dağılımlarını elde etmişlerdir [23]. Gerçekleştirdikleri simülasyonlardan bir görüntü Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Kabin içerisindeki katı yüzeylerin sıcaklık dağılımı için elde edilen bir görüntü [23].

Kabin içerisindeki hava girişlerinin alternatif bir kullanımı olarak yerel havalandırma sağlanmasının sayısal simülasyonu üzerine dayanan başka bir çalışmada ise ANSYS FLUENT 14 yazılımı ve türbülans modeli olarak ise $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Çalışma sonunda yerel havalandırma yardımıyla araç iklimlendirme sisteminin enerji yükünün ön taraftaki menfezler ile %20.8, tavandaki menfezler ile %30.2 oranında azaltılabileceğini belirtmişlerdir [24].

SONUÇ

Bu çalışmada otomobil kabinleri içerisinde son yıllarda gerçekleştirilmiş olan ısı konfor çalışmaları derlenmiştir. Teorik, deneysel ve sayısal simülasyonlar başlıkları altında toplanan araştırmalar birbirlerini desteklemekte sürekli geliştirilmektedir. Öncelikle güvenli ve daha sonra konforlu bir sürüş ancak iyi tasarlanmış bir otomobil kabin koşullarının sağlanması ile mümkündür. Gelecekteki araçların daha az enerji tüketen, daha konforlu ve daha ucuz olabilmesi için teorik, deneysel ve sayısal çalışmaların anlaşılmasının yanı sıra iletilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ANONİM. 1993. “ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8”. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 29p.
- [2] ANONİM. 1993 (b). “ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 37”. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- [3] ANONİM. 1995. “ISO 7730, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort”. International Organization for Standardization, Geneva.
- [4] FANGER P. O. “Calculation of thermal comfort - introduction of a basic comfort equation. ASHRAE Trans., 1967, 73 (2), 111.4.1–111.4.20.
- [5] GAGGE P., STOLWIJK J. A.J., NISHI Y. “An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response”. ASHRAE Trans., 1970, 77 (1), 247–262.
- [6] STOLWIJK J. A. J. A mathematical model of physiological temperature regulation in man. NASA contractor report, NASA CR 1855, 1971, Washington, DC.
- [7] FIALA D., LOMAS K. J., STOHRER M. “A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system”. J. Appl. Physiol., 1999, 87 (5), 1957–1972.
- [8] FIALA D., LOMAS K. J., STOHRER M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. Int. J. Biometeorology, 2001, 45 (3), 143–159.
- [9] HUIZENGA C, HUI Z, ARENS E. A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. Build Environ 2001;36:691–9.
- [10] TANABE S. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics CFD. Energy Build 2002;34:637–46.
- [11] FAN J., New Functions and Applications of “Walter”-Sweating Fabric Manikin. In: International meeting on thermal manikins and modelling. Strasbourg, France; 2003.
- [12] LEBBIN P., HOSNİ , GİELDA T. Design and manufacturing of two thermal observation manikins for automobile applications. In: International meeting on thermal manikins and modelling. Strasbourg, France; 2003.
- [13] R., Burke, J. Rugh, R. Farrington ADAM—the advanced automotive manikin. In: International meeting on thermal manikins and modelling. Strasbourg, France; 2003.
- [14] SHIN, Yunchan, et al. Experimental study on the change in driver's physiological signals in automobile HVAC system under Full load condition. *Applied Thermal Engineering*, 2017, 112: 1213-1222.
- [15] LEE, D. W. Impact of a three-dimensional air-conditioning system on thermal comfort: An experimental study. *International Journal of Automotive Technology*, 2015, 16.3: 411-416.
- [16] ORZECOWSKI, Tadeusz; SKROBACKI, Zbigniew. Evaluation of thermal conditions inside a vehicle cabin. In: *EPJ Web of Conferences*. EDP Sciences, 2016. p. 02085.
- [17] OI, Hajime, et al. Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period. *Applied ergonomics*, 2012, 43.2: 360-367.
- [18] ALAHMER, Ali; ABDELHAMID, Mahmoud; OMAR, Mohammed. Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins. *Applied Thermal Engineering*, 2012, 36: 126-140.
- [19] COLLINS, David; REDNIC, Ramona; THAKE, C. Douglas. Infrared heating as an adjunct to achieve vehicle occupant thermal comfort. *Extreme Physiology & Medicine*, 2015, 4.1: 1.
- [20] LEE, S. J. MEMS for Passenger Comfort in Vehicles. *Mems for Automotive and Aerospace Applications*, 2013, 137.

- [21] PAULKE S., KÖSTER D., HASS R., BADER V., MENZEL S., GUBALKE A.: „Thermische Simulationen einer Volkswagen e-Golf-Fahrzeugkabine unter Einbezug von thermischen Menschmodellen“, SIMVEC, 17.Kongress, VDI-Berichten 2224, S.555-588 (2014)
- [22] JI, HoSeong, et al. Study of thermal phenomena in the cabin of a passenger vehicle using finite element analysis: human comfort and system performance. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2014, 0954407014532805.
- [23] MOON, Joo Hyun, et al. Thermal comfort analysis in a passenger compartment considering the solar radiation effect. *International Journal of Thermal Sciences*, 2016, 107: 77-88.
- [24] OH, Myoung Su, et al. Thermal comfort and energy saving in a vehicle compartment using a localized air-conditioning system. *Applied Energy*, 2014, 133: 14-21

ÖZGEÇMİŞ

M. Özgün KORUKÇU

1979 yılında Ankara’da doğdu. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü bitirmiştir. 2004 yılında aynı bölüme araştırma görevlisi olarak görevine başlamıştır. 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden yüksek lisans ve 2010 yılında ise doktor ünvanlarını almıştır. 2011-2012 yılları arasında YÖK bursu ile Danimarka Teknik Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Bölümü’nde doktora sonrası çalışmalarını tamamlamıştır. Korukçu, 2014 yılından itibaren Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde yardımcı doçent ünvanı ile görevine devam etmektedir.

Muhsin KILIÇ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden Makine Mühendisi olarak 1986 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nden, Doktora derecesini 1993 yılında İngiltere’de Bath Üniversitesi’nden almıştır. 1994 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent kadrosuna atanmıştır. Aynı bölümde 1996 yılında Doçent ve 2002 yılında Profesör ünvanlarını alarak atanmıştır. Halen aynı yerde Enerji Anabilim Dalında öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. CFD (Hesaplamalı Akışkan Dinamiği), Isı ve kütle transferi, Termik Turbo Makineler, Enerji, Isıl konfor, Otomotiv ve Yangın Güvenliği konularında çalışmaktadır. Çalışma konularında uluslararası ve ulusal dergilerde yayınlanmış ve konferanslarda sunulmuş çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır.