

OTOMOBİL KABİNİNDE ISITMA SÜRECİNDE ISI TRANSFER KARAKTERİSTİKLERİNİN FARKLI IŞINIM MODELLERİ KULLANILARAK SAYISAL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

*Gökhan SEVİLGEN**
*Muhsin KILIÇ***

Özet: Bu çalışmada, ısıtma sürecinde geçici rejimde farklı ışınlam modelleri kullanılarak üç boyutlu otomobil kabini modeline ait ısı transfer karakteristiklerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda, insan vücudunun kabin iç ortamı ile ısı etkileşimlerini tahmin edebilmek amacıyla otomobil kabine gerçek vücut ölçüleri ve şekline sahip üç boyutlu sanal insan modeli ilave edilmiştir. Kabin yüzeyleri ve insan vücudu arasında gerçekleşen ışınlam ile ısı transferi hesaplamaları için iki farklı ışınlam modeli kullanılmıştır. Bu modeller ayrık ordinat(DO) ve görüş faktörlerini hesaplanmasını içeren S2S ışınlam modelleridir. Çözümlemeler sonucunda her iki ışınlam modelinin de otomobil kabinde insan vücudu ısı karakteristiklerinin hesaplamaları için kullanılabilceği ancak hesaplama zamanları açısından farklılıklar gösterdiği sonucuna varılmıştır. Sayısal çözümler sonucunda elde edilen veriler, sayısal çözümlerle eş zamanlı yürütülen deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle uyum içindedir.

Anahtar Kelimeler: Otomobil kabini, ısı karakteristikler, ışınlam modelleri, HAD

Numerical Comparison of the Heat Transfer Characteristics in an Automobile Cabin During Heating Period by Using Different Radiation Models

Abstract: In this study, comparisons of the heat transfer characteristics in an automobile cabin with different radiation models were performed during transient heating period. In numerical simulations, a virtual manikin with real dimensions and physiological shape was added to the model of the automobile cabin to predict the heat interactions between human body and cabin interior surfaces. Radiation heat transfer characteristics among the interior surfaces of the cabin were computed by using two different radiation models. These models are called DO (Discrete ordinate) radiation model and S2S (Surface-to-surface) radiation model. As a result of these computations, we conclude that both Discrete and Surface-to-surface models can be used for calculation of the heat transfer characteristics of the human body in the automobile cabin but these models show difference in terms of computing times. Numerical results were compared to the experimental data and the results of the numerical calculations were in good agreement with the experimental data.

Key Words: Automobile cabin, heat transfer characteristics, radiation models, CFD

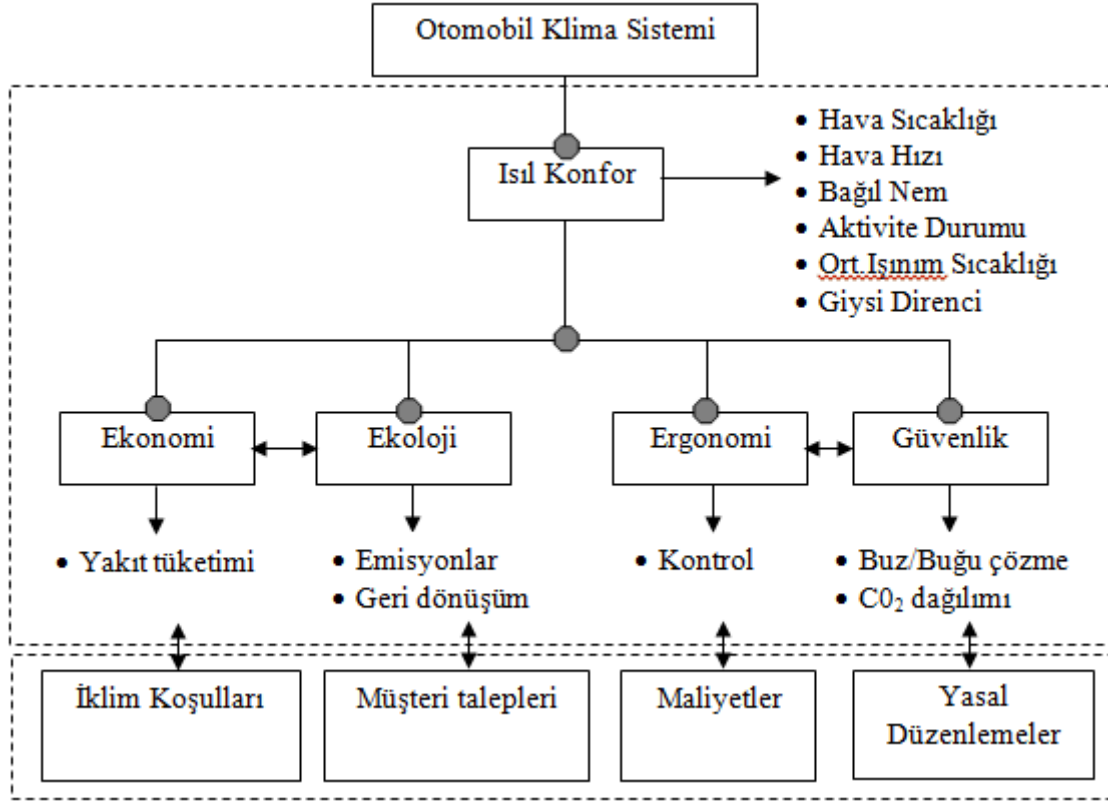
1. GİRİŞ

Otomobil klima sistemlerinin temel amacı otomobildeki her bir bireyin ısı konfor koşullarını ve bu koşulların sürekliliğini sağlamaktır. Ancak tek başına otomobil klima sistemi bu amacı gerçekleştirmek için yeterli olmayabilir. Otomobil içinde yer alan sürücü ve yolcuların konforu, kabin içindeki havanın kalitesine ve sıcaklığına kısmen bağlıdır (Kaynaklı ve Kılıç, 2005). Klima menfezlerinin şekli, insan vücudu etrafındaki hava akışı, cam yüzeylerin kabin dış yüzeylerine oranı vs. otomobil kabinde yer alan bireylerin ısı konforu üzerinde önemli etkiye sahiptir (Kılıç ve Sevilgen, 2009). Otomobildeki tüm bireylerin konfor koşullarını sağlamak için araç kabine ait geometrinin ve belirli sınır şartlarının dikkate alındığı daha detaylı araştırmaların yapılması gereklidir (Ambs, 2002). Diğer

* Uludağ Üniversitesi, Orhangazi Meslek Yüksekokulu Makine Programı, 16800 Orhangazi, Bursa.

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

tarafından konfor koşullarının iyileştirilmesi gerekliliği sadece ısı konfor açısından değil yolcuların güvenliği açısından da önemlidir (Aroussi ve Aghil, 2000). Ekonomiklik açısından bakıldığında, otomobil iç ortamındaki ısı konfor şartlarının sağlanması minimum enerji tüketimi ile gerçekleştirilmelidir. Bu problemi tam olarak çözebilmek için farklı alanlar birlikte değerlendirilerek optimizasyon yöntemleriyle en uygun tasarım değişkenlerini belirleme yoluna gidilebilir. Bu alanlar ve birbirileri ile olan temel ilişkiler Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1:
Isıl konfor ve etkileşimde bulunduğu diğer alanlar

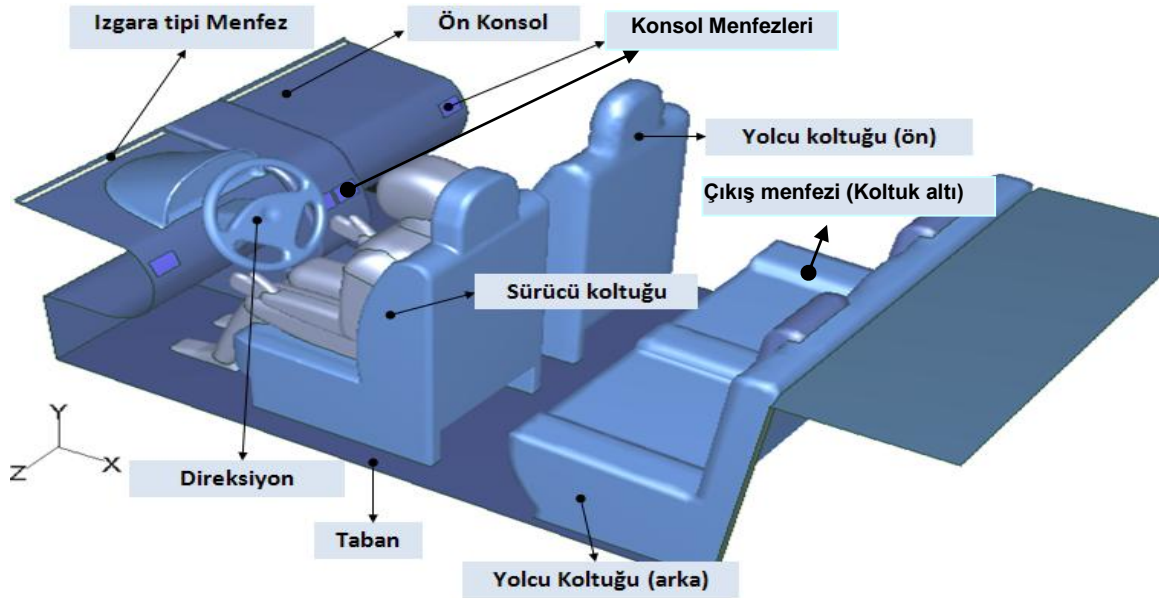
Isıl konfor ve etkileşimde bulunduğu alanlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilecek olan optimizasyonlar için öncelikle kabin içerisinde farklı koşullarda hız ve sıcaklık dağılımlarının sayısal olarak hesaplandığı ve bu dağılımların deneysel verilerle karşılaştırıldığı birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Otomobillerde ısı konfor üzerine gerçekleştirilen çalışmalar genel olarak Deneysel çalışmalar (Isıl manken ve insanlar üzerindeki çalışmalar), teorik termoregülasyon modelleri (Fizyolojik modeller) ile gerçekleştirilen çalışmalar ve bilgisayar simülasyonları (HAD: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği) ile gerçekleştirilen çalışmalar olmak üzere üç ana grupta toplanabilir (Sevilgen, 2010). Literatürde daha önceki çalışmalarda deneysel ve fizyolojik modeller üzerine gerçekleştirilen çalışmalar olsa da artan bilgisayar teknolojisi ve hesaplama zamanlarındaki iyileştirmeler HAD yaklaşımı tabanlı araştırmaları daha cazip hale getirmektedir (Kılıç ve Sevilgen, 2009). Günümüzde HAD yaklaşımli modellerin fizyolojik modellerle birlikte değerlendirildiği bütünlük çalışmaları mevcuttur (Rugh, 2002; Kılıç ve Sevilgen, 2008; Sevilgen ve Kılıç, 2011). HAD yaklaşımı, akışkan hareket analizlerinin yapıldığı mühendislik sistemlerinin modellenmesi ve sayısal çözüm yöntemlerinin simülasyonu olarak tanımlanabilir. HAD yöntemine dayalı sayısal analizlerde sınır şartlarının doğru tanımlanabilmesi ve sayısal sonuçların doğrulanması süreci için deneysel ve sayısal çalışmalar birlikte değerlendirilmelidir. HAD yöntemiyle gerçekleştirilen sayısal analizler, deneysel verileri destekleyici niteliktedirler. Otomobil kabininin, insanların günlük yaşamlarını sürdürdükleri diğer kapalı ortamlara göre daha küçük ve karmaşık bir akış hacmine sahip olması, bu hacimde hem ısı hem de kütle transferinin eş zamanlı meydana gelmesi, karmaşık insan vücudu şekli ve fizyolojisi gibi bazı faktörlerin bu tür sayısal analiz-

leri gerçekleştirme sürecinde karşılaşılan temel zorluklar arasında yer aldığı ifade edilebilir. Kabin içinde baş ve ayak seviyesi arasında yüksek sıcaklık ve hız gradyanlarının oluşması, ısıtma ve soğutma periyodundaki koşulların oldukça hızlı değişmesi, cam yüzey alanının toplam yüzey alanına kullanım oranının artması sonucunda güneş ışınımı etkisinin klima sisteminin yükünü artırması, otomobillerde ısı ortam koşullarını kontrol etmeyi ve değerlendirmeyi daha zor hale getirmektedir. Bu çalışmada ise HAD metodu tabanlı Fluent yazılımı kullanılarak ısıtma süreci için otomobil kabininde ısı karakteristikler, farklı ışınım modelleri kullanılarak geçici rejimde hareket halinde olmayan bir otomobil için belirlenmeye çalışılmış ve elde edilen sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL SİMÜLASYON MODELİ VE METOT

2.1 Otomobil kabini ve sanal insan modeli

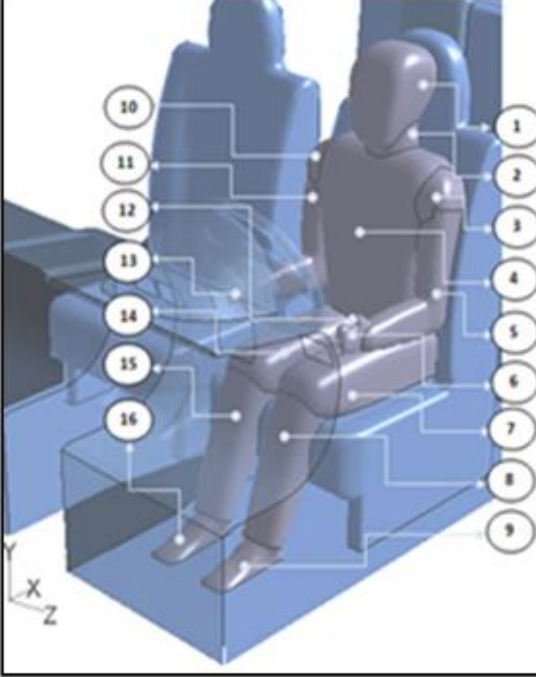
HAD hesaplamalarında kullanılan kabin, FIAT Albea 2005 marka otomobile (Şekil 2) ait kabin ana ölçüleri referans alınarak üç boyutlu tasarım teknikleri yardımıyla modellenmiştir.



Şekil 2:
Otomobil kabini CAD modeli

Oluşturulan insan modeline ait yüzeyler ve Fluent yazılımında hesaplatılan yüzey alanları Şekil 3'te yer almaktadır.

Hesaplamalarda sanal bir insan modeli kullanılarak vücut yüzeylerinde ısı karakteristiklerinin lokal değişimi incelenmiş ve sonuçlar farklı ışınım modelleri kullanılarak karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Ayrıca otomobil kabinine ait direksiyon, koltuklar, ön konsol, kadran, taban ve tavan yüzeyleri gibi karakteristik yüzeyler tanımlanmış ve bu yüzeylerde sıcaklık dağılımları sayısal olarak elde edilmiştir.

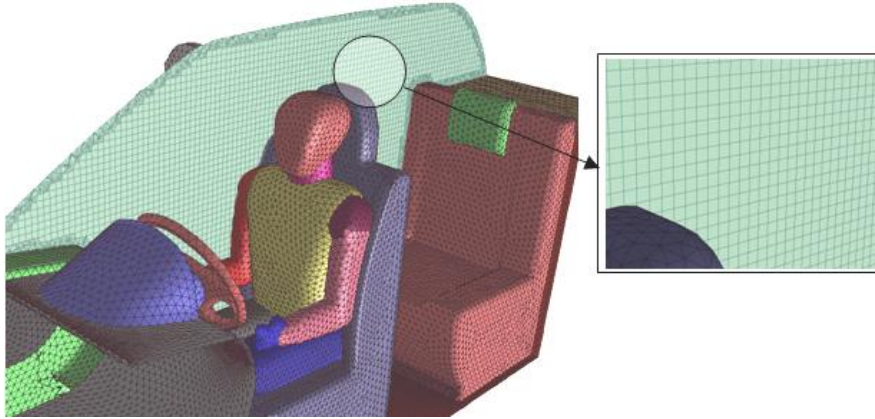


Numara	Yüzey Adı	Yüzey alanı (m ²)
1	Baş	0.119
2	Boyun	0.020
3	Sol omuz	0.016
4	Gövde	0.237
5	Sol kol	0.113
6	Sol el	0.018
7	Sol baldır	0.096
8	Sol bacak	0.139
9	Sol ayak	0.027
10	Sağ omuz	0.016
11	Sağ kol	0.113
12	Kasık	0.005
13	Sağ el	0.018
14	Sağ baldır	0.096
15	Sağ bacak	0.139
16	Sağ ayak	0.027
Toplam yüzey alanı (m ²)		1.20

Şekil 3:
Hesaplamalarda kullanılan sanal insan modeli

2.2 Çözüm ağı yapısı

Hesaplama zamanları ve elde edilen sonuçların doğruluğu ve hassasiyeti açısından probleme ait çözüm ağı yapısının elde edilmesi, HAD metodunda en önemli aşamalardan biridir.



Şekil 4:
Çözüm ağı yapısı kesit görünümü

Aroussi ve Aghil (2000), çalışmalarının simülasyon kısmında otomobil hacmi için 260.000 hücre elemanından oluşan tetrahedral çözüm ağı kullanmışlardır. Daha önceki çalışmalarda kabin yüzeylerinde üçgen elemanlardan kabin iç hacminde tetrahedron ve hexahedron elemanlardan oluşan çözüm ağı yapısı ile sayısal simülasyonlar gerçekleştirilerek sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Kılıç ve Sevilgen, 2009; Sevilgen ve Kılıç, 2010). Johnson (2007), güneş ışınımının da dikkate alındığı kabin içinde soğutma sürecinde gerçekleştirdiği sayısal çalışmasında, kabin iç ortamı için tetrahedron elemanlardan oluşan yaklaşık 1.800.000 hücre kullanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan ağ yapısının kesit görünümü Şekil 4'te ve ağ yapısının özellikleri ise Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de yer alan değerler ağ yapısından bağımsızlık ile ilgili çalışmaların sonucunda elde edilen sayısal değerlerdir.

Tablo 1. Hex Core çözüm ağına ilişkin detaylı bilgiler

Ağ yapısı	Hex Core
Yaklaşık Hacim eleman sayısı	1.000.000
Yaklaşık düğüm noktası sayısı	374.000
Yüzey ağ yapısı	Üçgen eleman
Yaklaşık yüzey sayısı	2.000.000

Kabin içinde hız ve sıcaklık değişim hızının yüksek olduğu bölgelerde daha sık ağ yapısı kullanılarak çözümün hassasiyetinin artırılması amaçlanmıştır. Bu tür bir ağ yapısı çözüm sonuçlarının doğruluğu için son derece önemlidir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise Hex-Core adı verilen ve hacimde hexahedron elemanlardan oluşan bir mesh yapısı kullanılmıştır. Bu ağ yapısına ilişkin detay bilgileri FLUENT 6 User's guide (2006) kaynağından elde edilebilir.

2.3 Başlangıç koşulları, sınır şartları ve simülasyon metodu

Geçici rejim analizlerinde kabin iç ortam başlangıç koşulları sonuçların doğruluğu açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada kabin iç ortamında ve yüzeylerinde başlangıç sıcaklığı 8.7°C alınmıştır. Bu değer eş zamanlı gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Başlangıç koşullarına ilişkin temel bilgiler Tablo II'de yer almaktadır.

Tablo 2. Başlangıç koşulları, zaman adımı ve yakınsama kriteri

Kabin iç ortam başlangıç sıcaklığı	8.7°C
Otomobil klima modu	Standart mod
Simülasyon zamanı	30 dakika
Zaman adımı	1 saniye
Yakınsama kriteri	Normalize edilmiş RMS değerleri şu şekildedir:
Süreklilik, momentum, enerji	10^{-4} / 10^{-4} / 10^{-6}

Otomobil kabini için yapılan HAD analizlerinde farklı türde sınır şartları belirlenebilir. Mankenli otomobil kabine ait yüzeyleri sınır şartları açısından genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

Menfezler(Giriş/Çıkış)

Sanal insan modeline ait yüzeyler

Dış ortam ile temasta olan yüzeyler(Cam yüzeyleri ve diğer yüzeyler)

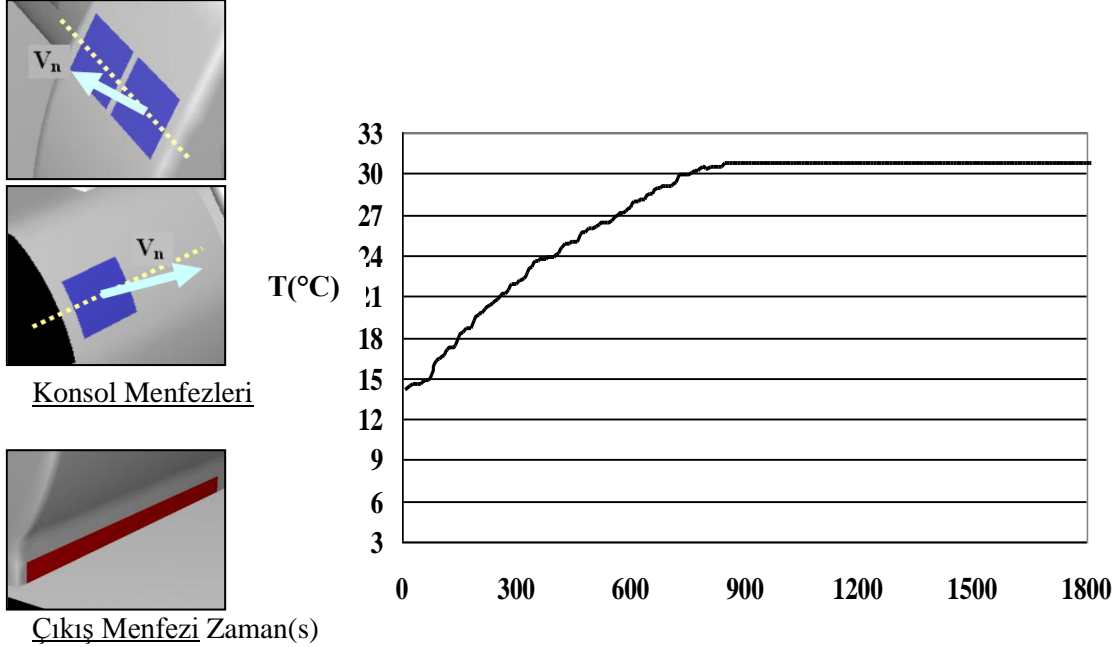
Diğer yüzeyler(Ön konsol, direksiyon, kadran vb.)

Sınır şartlarının belirlenmesi süreci HAD yöntemlerinde önemli bir yer teşkil eder. Sevilgen ve Kılıç (2010), sayısal hesaplamalarda deneysel hesaplamalara yaklaşık sonuçlar elde etmenin başlıca iki ana faktöre bağlı olduğunu belirterek, bu faktörlerin çözüm ağı yapısının doğruluğu ve sınır şartları olduğunu ifade etmişlerdir. Kabin içinde hesaplamalar için tanımlanan sınır şartları Tablo III'te yer almaktadır.

Tablo 3. Kabin içinde yüzeylerde tanımlanan sınır şartları

Kabin ve sanal insan modeli yüzeylerinde tanımlanan sınır şartları	
Çözüm metodu ve şekli	Sonlu hacimler metodu ve Paralel çözümleme şekli
Sanal insan modeli yüzeyleri	Sabit ısı akısı(60W/m ²)
Giriş menfezleri(Sıcaklık)	Değişken sıcaklık ($T(t)$) sınır şartı (Şekil 5)
Giriş menfezleri(Hız)	Hız kademesine bağlı sabit hız değeri (2.5 m/s)
Çıkış menfezleri	Pressure outlet çıkış sınır şartı
Kabin dış yüzeyleri	Rüzgar hızına bağlı taşınım sınır şartı
Kabin iç yüzeyleri	Isıl adyabatik sınır şartı

Konsol menfezlerinde deneylerde yapılan sıcaklık ve hız ölçümleri dikkate alınarak değişken sıcaklık sınır şartı ve sabit hız (2.5 m/s) sınır şartı kullanılmıştır. Menfezlerde gerçekleştirilen ölçümler sonucunda elde edilen sıcaklık eğrisi Şekil-5'te yer almaktadır. Geçici rejim koşullarında zamana bağlı olarak elde edilen sıcaklık eğrisi temel alınarak veriler, Fluent programında kullanıcı tanımlı fonksiyonlar (UDF) ve tablolar kullanılarak HAD hesaplamalarına dâhil edilmiştir.



Şekil 5:

Giriş menfezlerinde ısıtma periyodunda sıcaklığın zamana bağlı değişim grafiği

Otomobil içerisinde sürüş esnasında sürücünün ürettiği metabolik ısı miktarı 60–115 W/m² arasında değişmektedir (ASHRAE 1992, 1997). Hesaplamalarda insan vücudunun kabin yüzeyleri ile temasta olan yüzeylerinde iletim ile olan ısı transferi hesaplamaları için ısıl adyabatik yüzey sınır şartı kullanılmıştır. Hesaplamalarda solunum yoluyla gerçekleşen ısı geçişi ihmal edilmiştir. Dolayısıyla gerçekleştirilen analizlerde deriden ortama taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşen duyulur ısı geçişi dikkate alınarak insan vücut yüzeylerine ait ısıl karakteristiklerle ilgili hesaplamalar lokal ve tüm vücut için ortalama değerler cinsinden gerçekleştirilmiştir. Deriden ortama taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşen ısı akılarının ve diğer ısıl karakteristiklerin hesaplanmasında izlenen yöntem ise aşağıda açıklanmıştır.

Gerçekleştirilen sayısal simülasyonlarda kabin içinde ışınım ile ısı transferi hesaplamaları için kullanılan S2S ve DO olarak adlandırılan ışınım modelleri Hex Core çözüm ağı ile birlikte kullanılmış ve ısıtma sürecinde elde edilen sonuçlar iki farklı model için karşılaştırılmıştır. Diğer taraftan vücut yüzeylerinde ısıl karakteristiklerin lokal değerlerinin hesaplanmasında, sabit ısı akısı sınır şartı kullanılarak vücut yüzeylerinde lokal sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Sayısal çalışmalarda kabin iç ortamındaki yüzeyler arasında ışınım ile olan ısı transfer hesaplamaları için görüş faktörlerinin dikkate alındığı S2S modeli ve diğer bir yöntem olan ayırık ordinat (DO) modeli kullanılmıştır. Vücuttan ortama gerçekleşen duyulur toplam ısı akısı taşınım ve ışınım ile olan ısı akılarının toplamına (2.3.1) eşittir. Işınım ile vücuttan ortama gerçekleşen ısı akısı, S2S modeli ya da DO modeli kullanılarak Fluent paket programından elde edildikten sonra (2.3.1), (2.3.2) ve (2.3.3) ifadelerinden taşınım ile olan ısı akısı ve ısı transfer katsayıları hesaplanabilir.

$$q_t = q_c + q_r \quad 2.3.1$$

$$q_c = q_t - q_r = h_c (T_s - T_o) \quad 2.3.2$$

$$q_r = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_r^4) = h_r (T_s - T_r) \quad 2.3.3$$

Burada, q_t vücuttan ortama gerçekleşen toplam ısı akısını, q_c ve q_r vücutla ortam arasındaki sırasıyla taşınım ve ışınım ile gerçekleşen ısı akılarını, T_s vücut yüzey sıcaklığını, T_o ortam sıcaklığını, ε yüzey neşretme katsayısını, σ Stefan-Boltzmann sabitini, T_r ışınım sıcaklığını, h_c ve h_r sırasıyla ısı taşınım katsayısını ve ışınım ısı transfer katsayısını belirtmektedir. Gerçekleştirilen hesaplamalarda insan vücudu yüzeylerinde sabit ısı akısı sınır şartı kullanılmıştır. Literatürde sabit ısı akısı ve sabit yüzey sıcaklığı sınır şartlarının ayrı ayrı kullanıldığı çalışmalar mevcut olup Kılıç ve Sevilgen (2009), her iki sınır şartının kullanıldığı ve sayısal sonuçların kendi içinde ve deneysel verilerle karşılaştırıldığı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada sabit ısı akısı sınır şartı kullanılmıştır. Hesaplamalarda kabin ve insan vücudu yüzeyleri için kullanılan ışınım modellerine ilişkin temel bilgiler aşağıda ifade edilmiştir. S2S modelinde görüş faktörlerinin hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Görüş faktörleri dikkate alınarak gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar sonucunda sanal insan modeline ait lokal bölgeler ve ortalama vücut için elde edilen ışınım akıları ve görüş faktörleri; Fluent yazılımından direkt olarak alınabilmektedir. Ayrık ordinat metodunda ise ısı transfer denklemi, genel kartezyen koordinat sisteminde sabit bir vektörle ifade edilen sonlu sayıda ayrık açı için çözülmektedir. DO yönteminde kullanılan çözüm metodu Fluent'in akış ve enerji denklemleri için kullandığı çözüm metodu ile benzerdir. Yukarıda açıklanan ışınım modelleri ile ilgili detaylı bilgi, kaynaklar kısmında yer alan çalışmalardan elde edilebilir. (Murthy J. Y. and Mathur S.R. 1998; FLUENT 6, 2006).

Otomobil kabini için gerçekleştirilen simülasyonlarda kullanılan çözüm metodu ve türbülans modeli Tablo 4'te yer almaktadır. Gerçekleştirilen sayısal hesaplamalar yüksek hız kapasitesine sahip bilgisayarda ve paralel çözüm şekli kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede çözümleme zamanlarında iyileştirmeler sağlanmıştır. Hesaplama işlemleri için zaman adımı başlangıçta 0.001s seçilmiş ve daha sonra sonuçların yakınsama durumuna göre, 1s zaman adımını aşmayacak şekilde çözümler iteratif olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Fluent 6 paket yazılımı kullanılmıştır. Yazılım üç boyutlu süreklilik, momentum, enerji ve transport denklemlerini sonlu hacimler tabanlı bir çözüm algoritması ile sayısal çözümler yapmaktadır. Çözümlerde taşınım terimleri için ikinci derece ayrıklaştırma yöntemi ve hız-basınç ilişkilendirilmesinde SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Hesaplamalarda RNG $k-\varepsilon$ türbülans modeli genel olarak literatürde yer alan benzer hesaplamalarda kararlılığı ve sonuçların hassasiyeti açısından tercih edilmiştir (Costa ve diğ., 1999). Fluent yazılımında türbülans modeline ait varsayılan katsayılar kullanılmıştır. Bu katsayılar ve RNG türbülans modeli ve korunum denklemlerinin çözümüne ilişkin detaylı bilgi kaynaklar kısmında yer alan çalışmalardan elde edilebilir (Choudhury, D. 1993; Chen, Q. 1999; Fluent 6, 2006).

Tablo 4. Çözüm metodu ve türbülans modeli

Workstation	2xQuad-Core Intel Xeon processor	
Toplam hesaplama zamanı	10-15 gün (DO metodu ile)	8-10 gün (S2S metodu ile)
Isıtma Süresi	30 dak.	
Zaman	Geçici Rejim	
Denklemler	Akış, türbülans ve enerji denklemlerinin birlikte çözümü	
Türbülans Modeli	RNG $k-\varepsilon$ (Enhanced Wall Treatment seçeneği ile)	
Basınç-hız ilişkilendirilmesi	SIMPLE	
Ayrıklaştırma metodu	2.dereceden Upwind yöntemi	
Işınım modeli	Ayrık ordinat(DO) ve Surface-to-surface (S2S)	

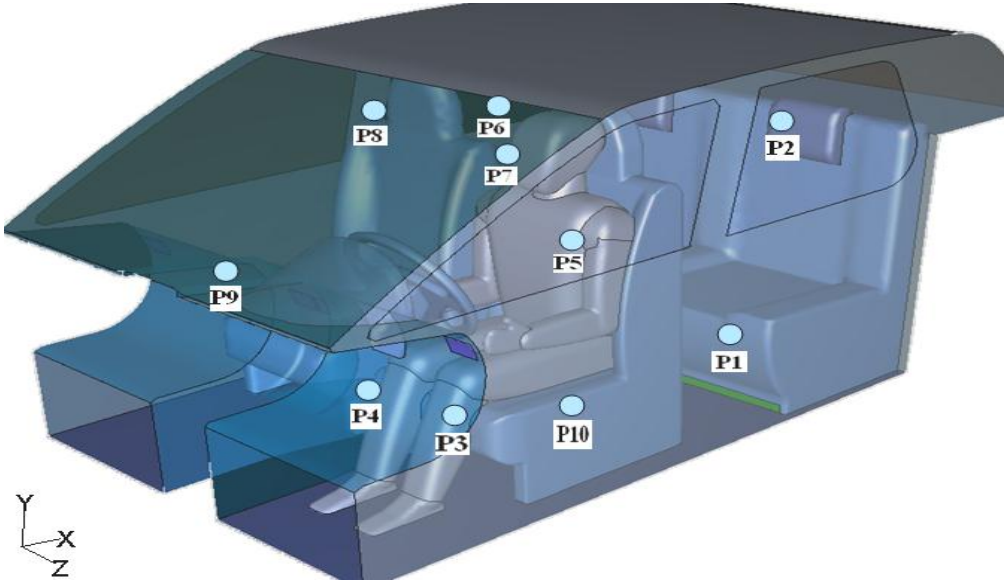
2.4 Simülasyon sonuçlarının görüntülenmesi

Isıtma periyodunda geçici rejim analizleri sonucunda elde edilen sayısal sonuçları değerlendirebilmek amacıyla kabin içerisinde ölçüm noktaları tanımlanmıştır. Şekil 6'da deneysel ölçüm noktaları ile aynı koordinatlara sahip noktalar ve konumları yer almaktadır.

Sayısal simülasyonlarla eş zamanlı olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kabin içinde belirlenen kritik noktalarda, kabin yüzeylerinde, insan vücut yüzeylerinde ve menfezlerde, ısıtma ve soğutma sürecinde farklı dış ve iç ortam koşullarında sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca menfez çıkışlarında otomobil klimasına ait farklı hız kademeleri için hız ölçümleri de yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bazı ölçüm cihazları ve bu cihazlara ilişkin ölçüm aralığı ve öngörülen tolerans değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. Ölçüm cihazları, ölçüm aralığı ve öngörülen tolerans değerleri

Ölçülen değişken	Ölçüm cihazı ve ölçüm aralığı	Öngörülen tolerans
Sıcaklık (°C)	Cole Palmer Digi-Sense sıcaklık ölçüm cihazı Sıcaklık probu -200.....+300°C	± % 0.1
Hız (m/s)	Testo 454 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı Hız probu 0.....10 m/s	± % 0.02 m/s
Bağıl Nem(%)	Üçlü prob 0.....%100	± % 2



Noktalar	Konum	Noktalar	Konum
P1	Sol arka koltuk diz seviyesi	P6	İki koltuk arası baş seviyesi
P2	Sol arka koltuk baş seviyesi	P7	Sol ön koltuk baş seviyesi
P3	Sol ön koltuk diz seviyesi	P8	Sağ ön koltuk baş seviyesi
P4	Sağ ön koltuk diz seviyesi	P9	Orta torpido yüzeyi
P5	Sol ön koltuk omuz seviyesi	P10	Sol kapı döşemesi yüzeyi

Şekil 6:

Sanal otomobil kabini içinde tanımlanan deneysel ölçüm noktaları

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Isıtma periyodu süresince farklı ışınlam modelleri kullanılarak vücuda ait lokal yüzeylerde elde edilen ısı karakteristlikler Tablo 6–Tablo-10’da yer almaktadır. Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde, sanal insan modeli yüzey sıcaklıkları zamana bağlı olarak her iki ışınlam modelinde de giderek artmaktadır. Başlangıçta vücut yüzeyleri ile kabin iç ortamı arasında gerçekleşen ısı transferi incelendiğinde taşınım ile olan ortalama ısı akısı, ışınlam ile olan ortalama ısı akısına göre daha büyüktür. Dolayısıyla başlangıçta taşınım ile olan ısı transfer mekanizması vücut ile kabin iç ortamı arasında gerçekleşen ısı transferinde ışınlam ile olan ısı transfer mekanizmasına göre daha etkilidir denilebilir. Ancak artan zamanla birlikte kabin iç ortam sıcaklığının ve vücut yüzey sıcaklıklarının artışına paralel olarak ortalama ışınlam sıcaklığında ve ışınlam akısında artış gözlemlenmektedir. Isıtma periyodu süresince taşınım ve ışınlam ile olan ısı akılarının, vücuttan kabin iç ortamına olan toplam ısı transferi üzerindeki etki oranları ile ilgili detaylı bilgi, Kılıç ve Sevilgen (2009), kaynağından elde edilebilir. Kabin iç ortam sıcaklığı 30 dakikalık ısıtma periyodu sonucunda 8.7°C’den 20°C ‘ye ulaşmış ve yaklaşık 11°C’lik bir sıcaklık artışı hesaplanmıştır. Isıtma periyodu süresince konsol menfezine daha yakın olan omuz, gövde gibi vücut bölgelerinde yüzey sıcaklık değeri, ayak, baldır vb. yüzeylerde hesaplanan sıcaklık değerlerine göre nispeten daha yüksek değerdedir. Her iki model kullanılarak elde edilen ısı karakteristlikler karşılaştırıldığında benzer bir dağılım gösterdikleri söylenebilir. 20. ve 30. dakikalarda

hesaplanan karakteristikler arasındaki fark incelendiğinde 30 dakikalık ısıtma periyodu için kabin iç ortamının sürekli rejim koşullarına yaklaştığı ifade edilebilir.

Tablo 6. $t=60s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S ışınım modeli, (b) DO ışınım modeli

(a) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=60s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	35.1	24.9	15.8	11.0	10.7
Boyun	32.4	27.6	19.2	14.1	
Gövde	31.6	28.4	24.8	19.9	
Kasık	38.4	21.6	29.7	26.2	
Sağ ayak	38.0	22.0	15.7	11.5	
Sağ bacak	36.0	24.0	20.4	16.0	
Sağ baldır	30.2	29.8	17.9	12.3	
Sağ el	29.3	30.7	18.1	12.3	
Sağ kol	32.4	27.6	22.7	17.8	
Sağ omuz	32.8	27.2	15.9	10.7	
Sol ayak	36.8	23.2	15.6	11.1	
Sol bacak	34.6	25.4	20.3	15.7	
Sol baldır	28.5	31.5	17.7	11.8	
Sol el	33.3	26.7	17.4	12.4	
Sol kol	33.4	26.6	21.3	16.5	
Sol omuz	24.3	35.7	17.4	10.6	
Ort. Değer	32.9	27.1	20.3	15.4	

(b) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=60s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	32.2	27.8	16.1	10.8	10.9
Boyun	30.6	29.4	19.6	14.1	
Gövde	30.4	29.6	25.0	19.9	
Kasık	38.4	21.6	29.9	26.3	
Sağ ayak	36.5	23.5	15.6	11.1	
Sağ bacak	36.6	23.4	20.3	16.1	
Sağ baldır	29.1	30.9	18.0	12.2	
Sağ el	26.9	33.1	18.5	12.3	
Sağ kol	32.5	27.5	23.0	18.1	
Sağ omuz	30.8	29.2	16.2	10.6	
Sol ayak	35.5	24.5	15.4	10.7	
Sol bacak	34.8	25.2	20.1	15.5	
Sol baldır	27.9	32.1	17.6	11.6	
Sol el	33.3	26.7	17.3	12.2	
Sol kol	33.7	26.3	20.8	16.1	
Sol omuz	26.3	33.7	16.8	10.4	
Ort. Değer	32.2	27.8	20.4	15.3	

Tablo 7. $t=300s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S ışınım modeli , (b) DO ışınım modeli

(a) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Baş	29.1	30.9	19.3	13.6	13.6
Boyun	28.3	31.7	23.2	17.6	
Gövde	27.8	32.2	27.1	21.6	
Kasık	39.1	20.9	30.9	27.5	
Sağ ayak	38.0	22.0	16.7	12.5	
Sağ bacak	35.8	24.2	22.2	17.9	
Sağ baldır	29.2	30.8	19.2	13.5	
Sağ el	27.6	32.4	20.2	14.3	
Sağ kol	29.9	30.1	24.8	19.5	
Sağ omuz	20.9	39.1	20.5	13.3	
Sol ayak	37.1	22.9	16.4	12.1	
Sol bacak	34.7	25.3	22.0	17.4	
Sol baldır	27.2	32.8	19.0	12.9	
Sol el	30.1	29.9	19.7	14.2	
Sol kol	31.6	28.4	23.1	18.1	
Sol omuz	24.2	35.8	19.8	13.2	
Ort. Değer	30.7	29.3	22.4	17.1	

(b) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=300s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Baş	27.6	32.4	19.4	13.3	13.8
Boyun	27.4	32.6	23.2	17.4	
Gövde	27.5	32.5	27.3	21.7	
Kasık	39.2	20.8	31.0	27.6	
Sağ ayak	36.5	23.5	16.5	12.0	
Sağ bacak	35.6	24.4	22.3	17.9	
Sağ baldır	28.3	31.7	19.1	13.2	
Sağ el	27.8	32.2	20.2	14.3	
Sağ_kol	30.0	30.0	25.0	19.8	
Sağ omuz	20.4	39.6	20.5	13.2	
Sol ayak	35.7	24.3	16.2	11.6	
Sol bacak	34.3	25.7	21.9	17.3	
Sol baldır	26.5	33.5	18.8	12.6	
Sol el	29.2	30.8	19.8	14.1	
Sol kol	30.8	29.2	23.1	17.9	
Sol omuz	22.3	37.7	19.8	12.8	
Ort. Değer	30.1	29.9	22.4	17.0	

Tablo 8. t=600s için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S ışınım modeli , (b) DO ışınım modeli

(a) Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	26.7	33.3	22.1	16.1	16.5
Boyun	25.6	34.4	26.8	20.9	
Gövde	24.4	35.6	30.7	24.8	
Kasık	40.3	19.7	32.9	29.8	
Sağ ayak	38.9	21.1	17.9	14.0	
Sağ bacak	33.3	26.7	25.4	20.7	
Sağ baldır	27.6	32.4	21.3	15.4	
Sağ el	23.5	36.5	23.4	16.9	
Sağ_kol	26.2	33.8	28.5	22.8	
Sağ omuz	17.8	42.2	23.6	16.0	
Sol ayak	37.9	22.1	17.7	13.6	
Sol bacak	32.1	27.9	24.8	19.9	
Sol baldır	26.1	33.9	20.8	14.6	
Sol el	25.7	34.3	22.6	16.5	
Sol kol	28.2	31.8	26.2	20.7	
Sol omuz	18.6	41.4	23.1	15.7	
Ort. Değer	28.0	32.0	25.3	19.7	

(b) Isı Transfer Karakteristikleri (t=600s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	25.0	35.0	22.2	15.9	16.7
Boyun	24.7	35.3	26.6	20.5	
Gövde	24.9	35.1	30.5	24.7	
Kasık	40.2	19.8	33.2	30.1	
Sağ ayak	37.5	22.5	17.8	13.5	
Sağ bacak	32.5	27.5	25.7	20.9	
Sağ baldır	27.3	32.7	21.2	15.2	
Sağ el	23.4	36.6	23.5	17.0	
sag_kol	26.1	33.9	28.6	22.9	
Sağ omuz	17.3	42.7	23.6	16.0	
Sol ayak	36.5	23.5	17.5	13.1	
Sol bacak	31.5	28.5	24.8	19.9	
Sol baldır	25.4	34.6	20.7	14.4	
Sol el	24.1	35.9	22.7	16.3	
Sol kol	27.4	32.6	26.0	20.4	
Sol omuz	16.6	43.4	23.1	15.3	
Ort. Değer	27.5	32.5	25.3	19.6	

Tablo 9. $t=1200s$ için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S ışınım modeli , (b) DO ışınım modeli

(a) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Baş	24.5	35.5	25.2	19.0	19.4
Boyun	24.9	35.1	29.7	23.8	
Gövde	24.6	35.4	33.4	27.7	
Kasık	39.5	20.5	35.3	32.1	
Sağ ayak	38.6	21.4	19.8	15.9	
Sağ bacak	32.5	27.5	27.9	23.3	
Sağ baldır	25.6	34.4	23.6	17.5	
Sağ el	22.0	38.0	26.1	19.5	
Sağ_kol	25.7	34.3	31.1	25.5	
Sağ omuz	18.1	41.9	26.2	18.9	
Sol ayak	37.4	22.6	19.5	15.4	
Sol bacak	32.0	28.0	27.2	22.4	
Sol baldır	23.8	36.2	23.0	16.6	
Sol el	25.3	34.7	25.0	18.9	
Sol kol	26.7	33.3	29.0	23.4	
Sol omuz	18.2	41.8	25.7	18.4	
Ort. Değer	27.2	32.8	27.9	22.3	

(b) Isı Transfer Karakteristikleri ($t=1200s$)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m^2)	q_r (W/m^2)	T_s ($^{\circ}C$)	T_r ($^{\circ}C$)	T_{ortam} ($^{\circ}C$)
Baş	22.9	37.1	25.2	18.7	19.5
Boyun	23.8	36.2	29.6	23.5	
Gövde	24.2	35.8	33.5	27.7	
Kasık	39.6	20.4	35.5	32.3	
Sağ ayak	37.2	22.8	19.6	15.5	
Sağ bacak	32.5	27.5	28.0	23.4	
Sağ baldır	24.9	35.1	23.5	17.3	
Sağ el	22.2	37.8	26.1	19.6	
Sağ kol	25.7	34.3	31.2	25.5	
Sağ omuz	17.1	42.9	26.2	18.8	
Sol ayak	36.1	23.9	19.4	15.0	
Sol bacak	31.7	28.3	27.2	22.3	
Sol baldır	23.0	37.0	22.9	16.3	
Sol el	24.5	35.5	24.9	18.7	
Sol kol	25.8	34.2	29.0	23.3	
Sol omuz	16.3	43.7	25.7	18.0	
Ort. Değer	26.5	33.5	27.9	22.2	

Tablo 10. t=1800s için vücut yüzeylerinde elde edilen ısı transfer karakteristikleri, (a) S2S ışınım modeli , (b) DO ışınım modeli

(a) Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	24.1	35.9	26.1	19.9	20.2
Boyun	24.7	35.3	30.3	24.5	
Gövde	24.5	35.5	34.4	28.8	
Kasık	39.2	20.8	36.5	33.3	
Sağ ayak	38.7	21.3	20.7	16.9	
Sağ bacak	32.7	27.3	28.8	24.3	
Sağ baldır	25.4	34.6	24.5	18.4	
Sağ el	22.1	37.9	27.0	20.4	
Sağ kol	25.6	34.4	32.1	26.5	
Sağ omuz	19.0	41.0	26.8	19.7	
Sol ayak	37.5	22.5	20.4	16.3	
Sol bacak	31.6	28.4	28.3	23.5	
Sol baldır	23.4	36.6	24.0	17.6	
Sol el	24.9	35.1	26.1	20.0	
Sol kol	26.3	33.7	30.1	24.5	
Sol omuz	17.3	42.7	26.8	19.4	
Ort. Değer	27.0	33.0	28.9	23.3	

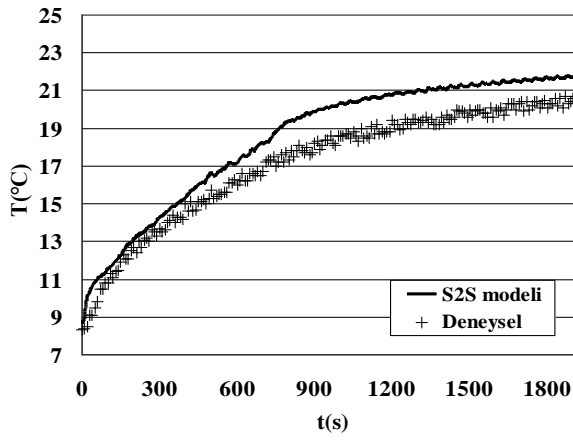
(b) Isı Transfer Karakteristikleri (t=1800s)					
Vücut Yüzeyleri	q_c (W/m ²)	q_r (W/m ²)	T_s (°C)	T_r (°C)	T_{ortam} (°C)
Baş	22.8	37.2	26.0	19.5	20.3
Boyun	24.5	35.5	30.0	24.1	
Gövde	24.2	35.8	34.3	28.6	
Kasık	39.2	20.8	36.6	33.4	
Sağ ayak	37.1	22.9	20.5	16.3	
Sağ bacak	32.7	27.3	28.9	24.3	
Sağ baldır	25.0	35.0	24.3	18.1	
Sağ el	22.0	38.0	27.0	20.4	
Sağ_kol	25.5	34.5	32.0	26.4	
Sağ omuz	18.0	42.0	26.8	19.6	
Sol ayak	36.1	23.9	20.2	15.9	
Sol bacak	31.5	28.5	28.1	23.3	
Sol baldır	22.8	37.2	23.8	17.2	
Sol el	24.8	35.2	25.8	19.7	
Sol kol	26.1	33.9	29.8	24.1	
Sol omuz	16.7	43.3	26.3	18.8	
Ort. Değer	26.6	33.4	28.7	23.1	

Tablo 11. Isıtma periyodu için kabin yüzeylerinde elde edilen sıcaklık($^{\circ}\text{C}$) değerleri, (a) S2S ışınım modeli , (b) DO ışınım modeli

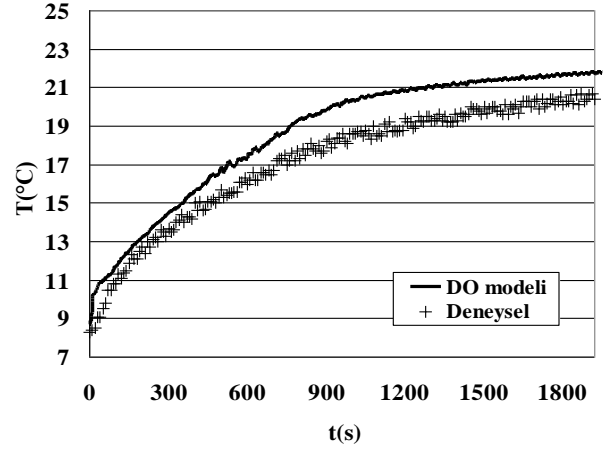
Kabin Yüzeyleri	(a) T($^{\circ}\text{C}$)						
	t=60s	t=180s	t=300s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	8.9	9.6	10.3	12.2	14.0	15.1	16.1
Ön cam	8.9	9.4	10.1	12.0	13.8	14.9	15.9
Sağ arka cam	9.1	9.8	10.5	12.5	14.2	15.1	16.0
Sağ ön cam	9.0	9.5	10.1	11.8	13.3	14.2	15.1
Sol arka cam	9.3	10.2	11.1	13.0	14.8	15.9	16.8
Sol ön cam	9.2	9.9	10.7	12.4	13.8	14.8	15.6
Arka koltuk	10.3	11.6	12.7	15.0	16.7	17.6	18.5
Direksiyon	11.6	13.2	14.2	16.5	17.6	19.1	20.0
Ön konsol	10.1	10.7	11.3	13.1	14.4	15.3	16.4
Kadran	9.7	10.4	11.0	12.0	13.4	14.6	15.7
Orta konsol	10.5	11.1	11.6	13.7	15.1	15.9	16.9
Sürücü koltuğu	11.7	13.0	14.0	16.1	17.8	18.7	19.5
Taban	9.4	9.8	10.1	10.9	11.6	12.1	12.8
Tavan	10.1	11.7	13.1	16.1	18.3	19.1	20.0
Yolcu koltuğu	10.4	11.3	12.4	14.8	16.3	17.1	17.9
Ortam Sıcaklığı	10.7	12.2	13.6	16.5	18.6	19.4	20.2

Tüm yüzeyler	(b) T($^{\circ}\text{C}$)						
	t=60s	t=180s	t=300s	t=600s	t=900s	t=1200s	t=1800s
Arka cam	9.1	9.8	10.6	12.5	14.1	15.2	16.2
Ön cam	9.0	9.6	10.3	12.3	14.1	15.1	16.0
Sağ arka cam	9.2	9.8	10.6	12.6	14.3	15.2	16.0
Sağ ön cam	9.1	9.6	10.3	12.0	13.5	14.4	15.2
Sol arka cam	9.4	10.3	11.3	13.2	15.0	16.0	16.9
Sol ön cam	9.3	10.0	10.8	12.5	14.0	14.9	15.7
Arka koltuk	10.4	11.8	12.8	15.1	16.9	17.5	18.4
Direksiyon	11.9	13.3	14.2	16.4	18.2	19.2	20.0
Ön konsol	10.1	10.7	11.2	13.2	14.6	15.3	16.3
Kadran	9.7	10.5	11.0	12.1	13.6	14.7	15.7
Orta konsol	10.5	11.2	11.6	13.8	15.1	15.8	16.9
Sürücü koltuğu	11.9	13.2	14.1	16.2	17.9	18.7	19.5
Taban	9.5	9.9	10.2	11.0	11.7	12.2	12.9
Tavan	10.5	12.0	13.3	16.3	18.4	19.2	20.1
Yolcu koltuğu	10.4	11.5	12.5	14.9	16.5	17.2	17.9
Ortam Sıcaklığı	10.9	12.4	13.8	16.7	18.8	19.5	20.3

Kabin ısıtma simülasyonları sonucunda elde edilen kabin yüzey sıcaklığı dağılımı Tablo-XI' de yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, taban ve tavan yüzeyleri arasında ısıtma sonucunda yüksek sıcaklık gradyeni olduğu ifade edilebilir. Kabinin dış ortam ile temasta olan cam yüzeylerinde diğer yüzeylere göre nispeten daha düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Hex Core ağ yapısı ile S2S ve DO ışınım modelleri kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda kabin içinde tanımlanan bazı noktalarda her iki modelin deneysel verilerle ve kendi içinde karşılaştırılması Şekil 7-10'da gösterilmiştir.



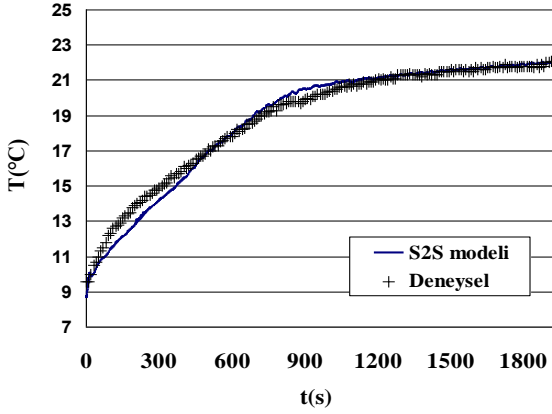
(a)



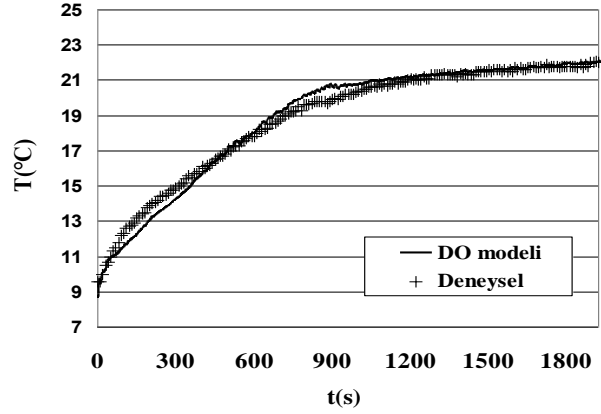
(b)

Şekil 7:

*Sol arka koltuk diz (P1) noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması,
(a) S2S (b) DO*



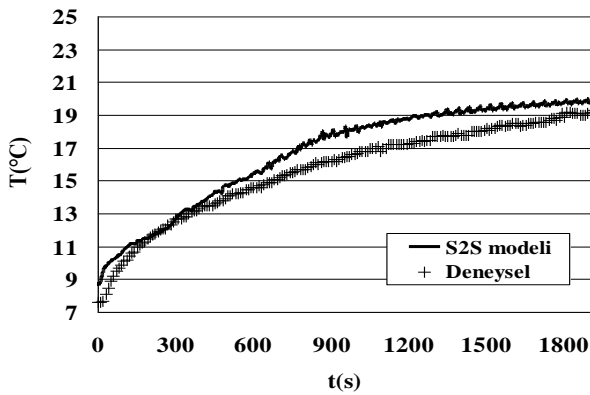
(a)



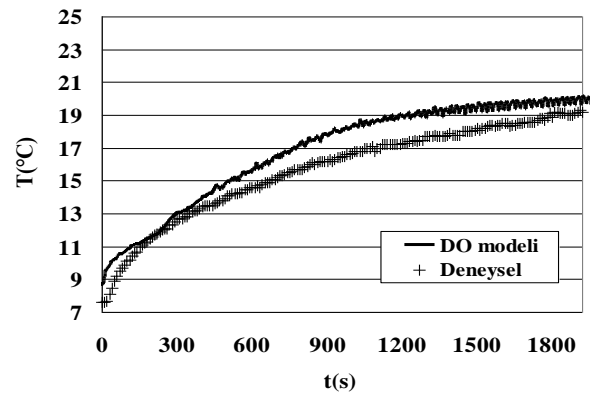
(b)

Şekil 8:

*Sol arka koltuk baş (P2) noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması,
(a) S2S (b) DO*



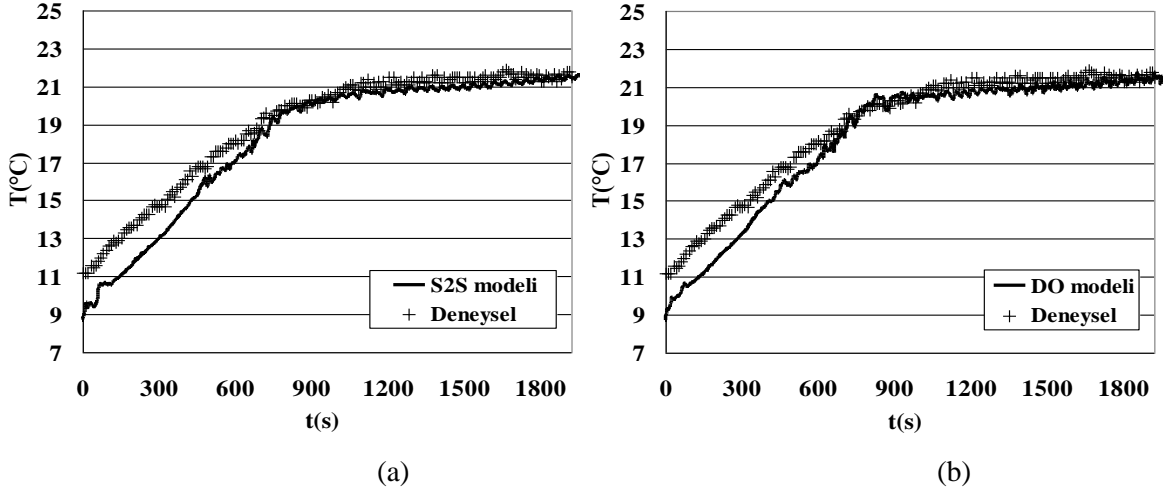
(a)



(b)

Şekil 9:

*Sağ ön koltuk diz (P4) noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması,
(a) S2S (b) DO*



Şekil 10:
Sağ ön koltuk baş (P8) noktasında elde edilen sonuçların karşılaştırılması,
(a) S2S (b) DO

Isıtma periyodu için her iki ışınım modeli kullanılarak kabin içinde yapılan sıcaklık tahminlerinin deneysel verilerle paralel değişim gösterdiği ifade edilebilir. Her iki durumda da deneysel verilerle elde edilen sıcaklık değerleri ile sayısal hesaplamalar sonucu elde edilen sıcaklık değerleri arasında yaklaşık 1–2°C'lik bir fark oluşmaktadır. İki ışınım modeli ile kabin içinde tanımlanan aynı noktalarda 30 dakikalık ısıtma periyodunda elde edilen sıcaklık eğrileri benzer eğilim göstermektedir. Sayısal hesaplamalar sonucunda ölçüm noktalarında hesaplanan sıcaklık değerleri ile deneysel çalışmalardan elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki fark özellikle menfezlere yakın kısımlarda ve yüzey sınırına yakın kısımlarda artmaktadır. Bu durumun temel nedeninin gerçek koşullarla ilgili sayısal süreçte tanımlanan sınır şartları arasındaki farklılık olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Her iki ışınım modeli kullanılarak elde edilen ısı karakteristیکler 30 dakikalık ısıtma periyodu süresince benzer davranış göstermektedir. Belirli bir zaman dilimi için aynı yüzeyde elde edilen sıcaklık değerleri arasında küçük farklılıklar gözlemlenmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen sayısal değerler birbirine yakındır. Dolayısıyla her iki ışınım modeli de insan vücudu ısı karakteristیکleri için kullanılabilir.

Hesaplama zamanları açısından değerlendirme yapıldığında DO modeli kullanılarak yapılan simülasyonlar, S2S modeli ile yapılan simülasyonlara göre daha uzun zaman almaktadır. Ancak S2S modeli ile gerçekleştirilen çözümlerinde sayısal simülasyon başlatılmadan önce Fluent yazılımında görüş faktörlerini içeren bir veri dosyası hazırlanması ağ yapısına bağlı olarak yaklaşık 2-3 gün süre almaktadır. Görüş faktörleri ile ilgili veriler çözüm işlemleri sırasında ilgili denklemlerde direkt kullanılmaktadır. Çözümler sırasında S2S modelinde görüş faktörleri doğrudan kullanıldığından hesaplama sürecinde iterasyon adımları daha hızlı ilerlemektedir. DO modelinde ise her iterasyon adımı için ayrı ışınım hesaplamaları söz konusu olduğundan dolayı hesaplama sürecinde iterasyon adımları S2S modeline göre nispeten daha yavaş ilerlemektedir. Diğer taraftan S2S modeli için hesaplanan görüş faktörleri kullanılarak otomobil kabininde ısıtma sürecinde literatürde belirtilen ampirik bağıntılar kullanılarak ışınım ile ısı transferi için daha detaylı hesaplamalar gerçekleştirilebilir.

Her iki durumda da deneysel verilerle elde edilen sıcaklık değerleri ile sayısal hesaplamalar sonucu elde edilen sıcaklık değerleri arasında yaklaşık 1–2°C'lik bir fark oluşmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Ambs, R. (2002) Improved Passenger Thermal Comfort Prediction in the Preprototype Phase by Transient Interior CFD Analysis Including Mannequins, SAE Technical Paper Series 2002-01-0514.
2. Aroussi, A. and Aghil. S. (2000) Characterisation of the flow field in a passenger car model, *Optical Diagnostics in Engineering*, 4 (1): 1-15.
3. ASHRAE (1992) Thermal environmental conditions for human occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-1992.
4. ASHRAE (1997) Handbook-Fundamentals, chapter 8, Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
5. Chen, Q. (1999) Comparison of different k-ε models for indoor airflow computations, Part B, *Fundamentals Numerical Heat Transfer* 28 (3) 353-369.
6. Choudhury, D. (1993) Introduction to the Renormalization Group Method and Turbulence Modelling, Fluent Inc. Technical Memorandum TM-107.
7. Costa, J. J. , Oliveira, L. A., ve Blay, D., (1999) Test of Several Versions for the k-ε Type Turbulence Modeling of Internal Mixed Convection Flows, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, vol. 42, no. 23, pp. 4391-4409.
8. FLUENT 6 (2006) User's guide, Lebanon, NH 03766, USA, Fluent Inc.
9. Jonsson, J. (2007) Including solar load in CFD analysis of temperature distribution in a car passenger compartment, Master's Thesis, 2007:128 CIV.
10. Kaynaklı, Ö. ve Kılıç, M. (2005) An Investigation of Thermal Comfort Inside an Automobile During the Heating Period, *Applied Ergonomics*, 36: 301-312.
11. Kılıç, M. ve Sevilgen, G. (2008) Modelling airflow, heat transfer and moisture transport around a standing human body by computational fluid dynamics, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(9):1159-1164.
12. Kılıç M., ve Sevilgen, G. (2009) Evaluation of Heat Transfer Characteristics in an Automobile Cabin with a Virtual Manikin During Heating Period, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 56: 515-539.
13. Kılıç M. ve Sevilgen G. (2011) The effects of using different type of inlet vents on the thermal characteristics of the automobile cabin and the human body during cooling period, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI 10.1007/s00170-011-3594-x.
14. Murthy J. Y. and Mathur S. R. (1998) A Finite Volume Method For Radiative Heat Transfer Using Unstructured Meshes. AIAA-98-0860, January.
15. Rugh, J. (2002) Integrated Numerical Modeling Process for Evaluating Automobile Climate Control Systems, SAE Technical Paper Series 2002-01-1956
16. Sevilgen, G. (2010) Otomobil Kabininde Hız ve Sıcaklık Dağılımının Üç Boyutlu Sayısal Analizi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Ana Bilim Dalı.
17. Sevilgen, G. ve Kılıç, M. (2010) Transient numerical analysis of airflow and heat transfer in a vehicle cabin during heating period, *International journal of vehicle design*, 52(1/2/3/4): 144-159.
18. Sevilgen, G. ve Kılıç, M. (2011) Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators, *Energy and Buildings*, vol. 43, no.1, January 2011, pp. 137-146.

Makale 28.09.2011 tarihinde alınmış, 23.12.2011 tarihinde düzeltilmiş, 23.12.2011 tarihinde kabul edilmiştir.
İletişim Yazarı: M.Kılıç (mkilic@uludag.edu.tr).

