

## Experimental and Numerical Investigation of Innovative Air Duct Seat Design in Automobiles

Halil BAYRAM<sup>1,\*</sup>  Gökhan SEVİLGİN<sup>2</sup>  Ahmet İBİŞ<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Amasya University, Faculty of Engineering Architecture, Department of Mechanical Engineering, 05100, AMASYA

<sup>2</sup>Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, 16059, Nilüfer/BURSA

<sup>3</sup>Martur Fompak International, BURSA

### Graphical/Tabular Abstract

#### Article Info:

Research article

Received: 8.11.2021

Revision: 10.01.2022

Accepted: 18.01.2022

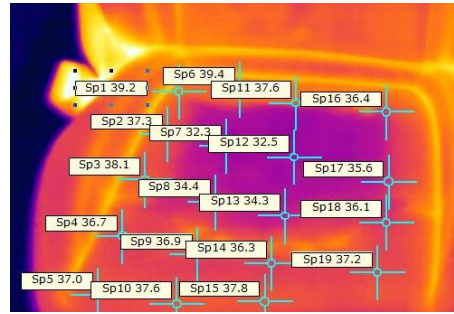
#### Highlights

- Seat cooling.
- Automobile seat.
- Ansys-Fluent.
- CFD.

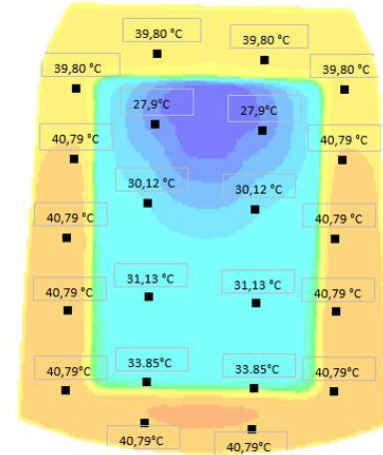
#### Keywords

Seat heating  
Seat cooling  
Thermal comfort  
CFD

In this study, a new active cooling system was designed and prototyped for automobiles. In order to examine the results obtained from the experimental and numerical studies in more detail, points were defined in the seating area and the temperature values at these points were examined.



(a)



(b)

**Figure A.** The temperature values of the points defined in the seating area in the 180<sup>th</sup> second of the (a) experimental (b) numerical study

**Purpose:** The main purpose of this study is to provide the desired thermal comfort conditions at the hot seating area, especially in summer conditions by using the designed and prototyped active cooling system.

**Theory and Methods:** The study consists of two main parts, experimental and numerical. In the experimental study, after the seat was heated up to 60°C in a climatic cabin, temperature measurements were made from the defined points on the seat with the help of a thermal camera when the seat cooling system was active. In the numerical study, only the sitting area of the seat was modeled, and CFD analyzes were performed under similar conditions of the experimental study when the seat cooling system was both active and passive.

**Results:** When the temperature distribution of the seat removed from the cabin is examined, it can be seen that almost all surfaces are at a temperature of 56.5°C. In the process of time, it was observed that the surface temperature value approached the ambient temperature value. However, there were faster decreases in the blowing areas due to the air blown to the surface by the fan. The porous structure of the seat surface decreased to 25°C in the 60<sup>th</sup> second and the other surfaces were around 50°C. Although there were areas on the seat that did not cool down until the 180<sup>th</sup> second, after this time the almost entire seat surface was nearly 25°C. In the CFD analysis, the air flow provided by the fan entered the seat model with a velocity of about 2 m/s and increased up to 4.5 m/s in the porous region.

**Conclusion:** In this study, a new active cooling system for automobiles was designed and prototyped to quickly cool the overheated seat surfaces in hot summer conditions. This system uses the indoor air conditioned by the vehicle air conditioning (AC) system and can provide more effective cooling with an additional cooling unit if desired. In the numerical study, the porous structure area added to the seat surface to obtain a homogeneous air distribution. When the results of the analysis, in which the fan effect is disabled and only natural convection cooling is realized, are compared with the results of the systems with fans, it is seen that at 60<sup>th</sup> seconds, the average seat surface temperature decreased to 49°C with only natural convection. On the other hand, this value is approximately 43 and 42°C for the experimental and numerical study, respectively, when the fan is activated. At the end of the experiment, these values are approximately 39°C for the natural convection model, while they are approximately 34°C for the fanned models. In addition, the experimental and numerical study results are in good agreement.

GU J Sci, Part C, 9(2): 171-181 (2021)



Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>



## Experimental and Numerical Investigation of Innovative Air Duct Seat Design in Automobiles

Halil BAYRAM<sup>1,\*</sup> Gökhan SEVİLGİN<sup>2</sup> Ahmet İBİŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Amasya University, Faculty of Engineering Architecture, Department of Mechanical Engineering, 05100, AMASYA, 0000-0002-4664-3883

<sup>2</sup>Bursa Uludağ University, Faculty of Engineering, Department of Automotive Engineering, 16059, Nilüfer/BURSA, 0000-0002-7746-2014

<sup>3</sup>Martur Fompak International, BURSA, 0000-0002-6607-4614

### Abstract

Increasing technology in the automotive sector offers users more advanced comfort conditions. While the desired levels of thermal comfort in automobile seats are provided by seat heating systems in winter conditions, it is achieved by cooling the hot seat surfaces by using seat cooling systems in summer conditions. In this study, a new active cooling system was designed and prototyped for automobiles. This system uses the indoor air conditioned by the vehicle air conditioning (AC) system and can provide more effective cooling with an additional cooling unit if desired. The seating area of this developed seat design is modelled for three-dimensional (3D) Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis. Experimental and numerical studies were carried out with the seats produced and modelled under conditions that would comply with both the automotive manufacturer's standards and the studies in the literature. The porous structure area added to the seat surface for a homogeneous air distribution decreased to 25°C in the 60th second and the other surfaces were around 50°C. In the CFD analysis, the air flow provided by the fan entered the seat model with a velocity of about 2 m/s and increased up to 4.5 m/s in the porous region. The experimental and numerical study results are in good agreement. When the results of the analysis, in which the fan effect is disabled and only natural convection cooling is realized, are compared with the results of the systems with fans, it is seen that lower values of up to 8°C are obtained on the seat surface with the active seat cooling system. It is thought that this developed system will contribute to the provision of thermal comfort conditions, especially in hot summer conditions.

### Makale Bilgisi

Araştırma makalesi  
Başvuru: 8.11.2021  
Düzeltilme: 10.01.2022  
Kabul: 18.01.2022

### Keywords

Seat heating  
Seat cooling  
Thermal comfort  
CFD

### Anahtar Kelimeler

Koltuk ısıtma  
Koltuk soğutma  
Isıl konfor  
HAD

## Otomobillerde Yenilikçi Hava Kanallı Koltuk Tasarımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi

### Öz

Otomotiv sektöründe artan teknoloji kullanıcılara daha gelişmiş konfor koşulları sunmaktadır. Otomobil koltuklarında ısı konfor açısından arzu edilen seviyeler kış koşullarında koltuk ısıtma sistemleriyle sağlanırken yaz koşullarında koltuk soğutma sistemleri kullanılarak sıcak koltuk

yüzeylerinin soğutulmasıyla sağlanır. Bu çalışmada otomobiller için yeni bir koltuk soğutma sistemi tasarımı yapılmış ve prototipi üretilmiştir. Geliştirilen bu aktif havalandırılmalı koltuk sistemi taşıt iklimlendirme sistemi tarafından şartlandırılan iç ortam havasını kullanıyor olup istenildiğinde ilave bir soğutucu ünite ile daha etkin bir soğutma da sağlayabilir. Ayrıca geliştirilen bu koltuk tasarımının oturma bölgesi üç-boyutlu 3D Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri yapılmak üzere modellenmiştir. Üretilen ve modellenen koltuklarla hem otomotiv üretici standartlarına hem de literatürde yer alan çalışmalara uygun olacak koşullar altında deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Koltuk yüzeyine homojen bir hava dağılımı için eklenen gözenekli yapı bölgesinin sıcaklığı 60. saniyede 25°C'ye düştüğü ve diğer yüzeylerin 50°C civarında olduğu görülmüştür. HAD analiz sonuçları incelendiğinde ise fan vasıtasıyla sağlanan hava akımı yaklaşık 2 m/s hızla koltuk modeline girmiş ve gözenekli bölgede 4.5 m/s'ye kadar yükselmiştir. Deneysel ve sayısal çalışma sonuçlarının uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Fan etkisinin devre dışı bırakıldığı ve sadece doğal taşınım ile soğumanın gerçekleştiği analiz sonuçları fanlı sistemlerin sonuçları ile karşılaştırıldığında ise aktif koltuk soğutma sistemiyle koltuk yüzeyinde yaklaşık 8°C'ye kadar daha düşük değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Geliştirilen bu sisteminin özellikle sıcak yaz koşullarında ısı konfor şartlarının sağlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günlük hayatımızda yaygın bir şekilde kullandığımız taşıtların performanslarıyla birlikte konfor koşulları da artmaktadır. Otomobillerde bulunan özelliklerin kullanıcı tarafından arzu edilen seviyelere getirilebilmesi konforun en önemli faktörlerindedir. Taşıt konfor parametrelerinin başında gelen ısı konfor temel olarak ortamdan duyulan ısı memnuniyeti olarak tanımlanabilir [1]. Isı konfor kişinin metabolik aktivite düzeyi ve giyinmeden oluşan kişisel faktörler ve ortam sıcaklığı, ortam hava hızı ve ortalama ışınım sıcaklığından oluşan çevresel faktörler olmak üzere iki temel faktörden oluşmaktadır [2-5]. Otomobillerin diğer taşıtlara göre daha sınırlı bir hacme sahip olmasından dolayı içerisindeki hava hızı ve sıcaklık dağılımları değişkenlik göstermekte ve dolayısıyla taşıt içerisinde bulunanların ısı konforu etkilenmektedir. Diğer yandan ısı konfor özellikle uzun mesafeli yolculuklarda güvenli bir sürüş içinde önemli faktörlerdendir [6].

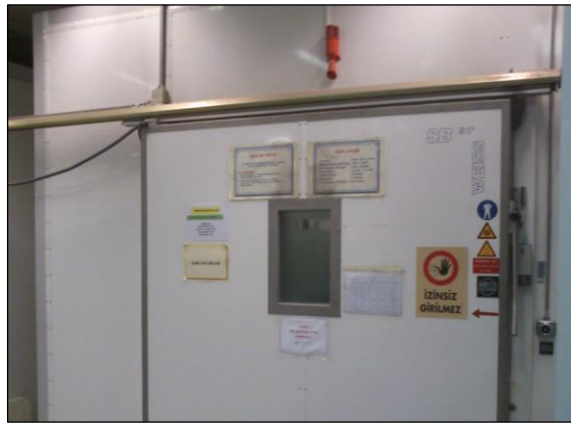
Taşıt iklimlendirme sistemleriyle taşıt içerisinde havanın sıcaklık, nem ve hızı kontrol altında tutularak ısı konfor şartları elde edilebilmektedir. Ancak soğuk kış aylarında ya da sıcak yaz aylarında taşıt içerisinde yer alan oturma alanlarının sıcaklıkları da ısı konforu etkileyen parametrelerdendir. Rusya, Danimarka gibi soğuk iklim ülkelerinde standart haline gelmiş olan koltuk ısıtma sistemleri ülkemiz gibi daha ılıman iklimlere sahip ülkelerde ise kullanıcı tercihine bırakılmıştır [6]. Koltuk ısıtma işlemi ise genel olarak taşıt Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) sisteminden faydalanılarak ya da termoelektrikli cihazlar (TED) yardımıyla gerçekleştirilmekte olup ikinci seçeneğin hem taşıt ısıtma sisteminin kararlı hale gelmesinin süre alması hem daha basit uygulanabilirliğe sahip olması hem de mali açıdan daha uygun olması daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır [7]. Termoelektrikli sistem alternatif sistemine göre daha hafif olmasından dolayı taşıt emisyonuna da katkıda bulunmaktadır [6]. Koltuk soğutma işlemi incelendiğindeyse yine ısıtma sistemlerinde olduğu gibi taşıt iklimlendirme sistemine bağlı bir şekilde çalışabilen sistemler ve TED koltuk havalandırma sistemleri mevcuttur. İkinci sistemde koltuğa yerleştirilen fanın çıkan havanın koltuk ön yüzeyinde belirlenen noktalardan çıkmasıyla koltuk soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu sistem hem daha hafif yapısı hem de daha az maliyetli olması dolayısıyla daha çok tercih edilmektedir [7]. Karimi ve ark. ise TED koltuk soğutma sisteminin insanlar üstündeki konfor parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada farklı boy, kilo ve yaş grubuna ait 26 kişi (13 erkek ve 13 kadın) yer almış olup her bir kişinin vücudunda gerçekleşen sıcaklık değişimleri vücudun farklı noktalarındaki 10 adet ısı çifti ile gözlenmiştir [8]. Su ve ark. ise taşıt HVAC sistemiyle entegre çalışan koltuk soğutma sisteminin taşıt performansına ve yakıt tüketimine olan etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir [9]. Lee ve Lee bu her iki sistemi de kullanarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 50°C'ye kadar ısıtılan koltuğun üzerinde belirlenen 6 noktada gerçekleşen sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak ise her iki sistemin de benzer soğutma performansları gösterdiğini ancak taşıt HVAC sistemiyle entegre çalışan koltuk soğutma sisteminin taşıt sürüş performansını da etkilediğini gözlemlemişlerdir. Taşıt sürüş performansında görülen bu değişimden dolayı TED koltuk soğutma sisteminin kullanımını önermişlerdir [7].

Bu çalışmada ise yukarıda bahsedilen koltuk soğutma sistemlerinden farklı olarak fan ve gözenekli yapının giriş kesitinde taşıt iklimlendirme sistemi tarafından şartlandırılan iç ortam havasının kullanıldığı dolayısıyla ilave bir soğutma sisteminden faydalanılmadığı ancak arzu edildiğinde ilave bir soğutucu ünite ile daha etkin bir soğutmanın sağlanabileceği aktif havalandırılmalı koltuk sistemi tasarlanmış, prototip imalatı gerçekleştirilmiş ve hem otomotiv üretici standartlarına hem de literatürde yer alan çalışmalara uygun olacak koşullar altında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretilen koltuğun sayısal olarak da incelenebilmesi için 3D modellenerek deneylerle benzer koşullar altında analizleri gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan koltuk soğutma metotlarından farklı olarak direk taşıt iç ortam havasından faydalanılarak daha düşük maliyetli bir sistem tasarımı önerilmiş olup yaz aylarında özellikle güneş ışınlarına doğrudan maruz kalmış koltuk yüzeylerinde sürücü ve yolcular için daha iyi ısıl konfor şartlarının sağlanabilmesi hedeflenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

### 2.1. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler yaz koşullarında güneş altında kalmış bir taşıt koltuğu için benzer ortam şartları elde edilerek gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda taşıt koltuğu Şekil 1'de görülen iklimatik kabin içerisine yerleştirilmiş olup bu kabinin iç ortam sıcaklığı 60°C'ye kadar yükseltilmiştir. Bu kabinin teknik özellikleri Tablo 1'de sunulmuş olup kabin iç yüzeyleri yalıtımlıdır. Kabin iç ortam başlangıç sıcaklığının 60°C olarak belirlenmesinde otomotiv üretici standartları göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda başlangıç anında 60°C olan koltuk yüzey sıcaklığının 5 dakika sonrasında 40°C sıcaklık değerinin altına düşmesi beklenmektedir [6]. Ayrıca literatürde yer alan güneş ışınımıyla ilgili çalışmalar incelendiğinde güneş ışınları altında kalmış olan taşıt koltuk oturma yüzey sıcaklık değerlerinin 60-70°C mertebelerine kadar yükseldiği, taşıt kabin iç ortam sıcaklığının 30-35°C değerlerinde olduğu gözlenmiş ve çalışmada belirlenen sınır şartlarının literatürle de uyumlu olduğu görülmüştür [10]. Koltuk, kabin içerisinde 10 dk bekletilip üzerinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edildikten sonra ortam sıcaklığına çıkartılmış, oturma ve sırt kısımlarına yerleştirilmiş olan küçük salyangoz fanlar çalıştırılarak sünger içerisine konulan difüzör yardımıyla koltuk soğutma işlemine başlanmıştır. Bu esnada koltuk üzerinde gerçekleşen sıcaklık değişimleri ise 640\*480 çözünürlüğe sahip -20 ile 600 °C arasında 0.02°C hassasiyetle sıcaklık ölçebilen Flir marka termal kamera ile gözlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. Deneylerde kullanılan (a) iklimatik kabin ve (b) kontrol paneli

**Tablo 1.** Klimatik kabin teknik özellikleri

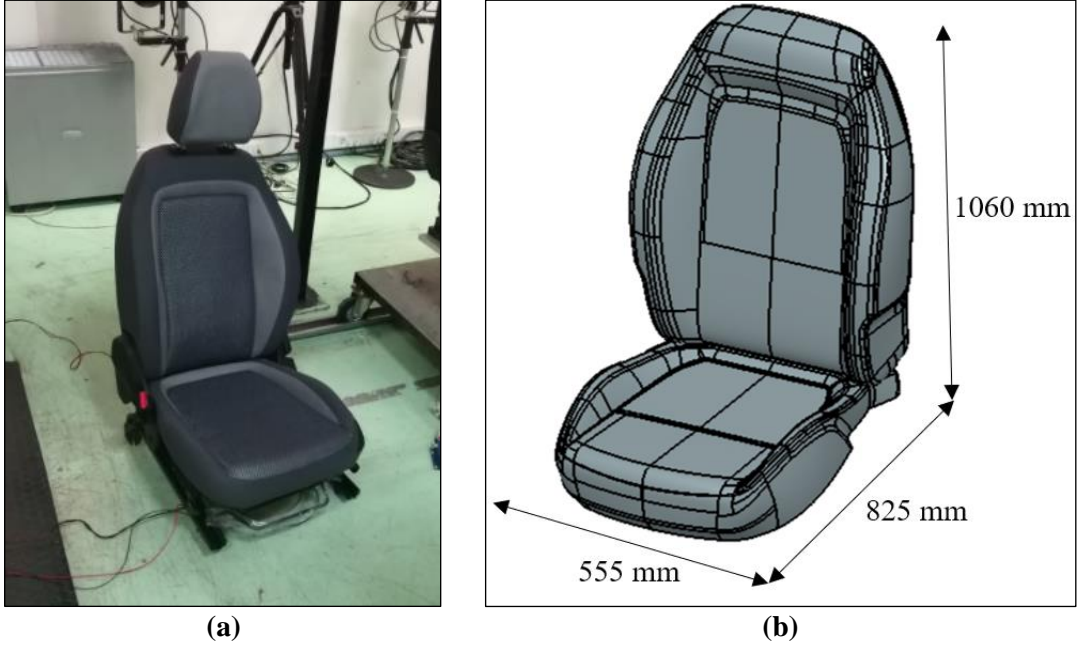
|                        |  |
|------------------------|--|
| Sıcaklık ölçüm aralığı | -40°C...+120°C ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) |
| Genişlik               | 2.6 m                                      |
| Derinlik               | 2 m  |
| Yükseklik              | 2 m  |
| Hacim                  | 10.4 m <sup>3</sup>                        |

Deneylerde kullanılan koltuk üzerine kanal açılarak yerleştirilen salyangoz fan Şekil 2’de görülmektedir. Kullanılan fan 8.6 gr ağırlığında olup 12V ile çalıştırılmaktadır ve teknik özellikleri Tablo 2’ de sunulmuştur.

**Şekil 2.** Deneysel çalışmada koltuğa yerleştirilen salyangoz fan**Tablo 2.** Salyangoz fan teknik özellikleri

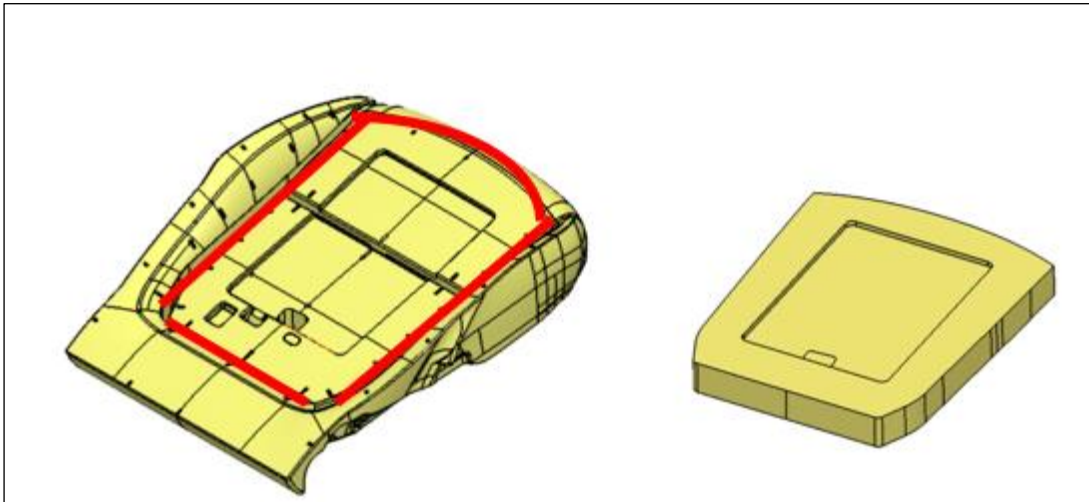
|                          |              |
|--------------------------|--------------|
| Boyut                    | 30x30x10 mm  |
| Hava akış hızı           | 5.5 CFM      |
| Ağırlık                  | 8.6 g        |
| Devir                    | 9500 rpm     |
| Çalışma sıcaklık aralığı | -10 - +70 °C |
| Ses seviyesi             | 23 dB        |

Deneysel çalışmada kullanılan koltuk Şekil 3 (a)’da görülebilmektedir. Bu koltuğun sayısal çalışmada kullanılabilmesi için modellenmiş hali ise Şekil 3 (b)’de görülebilmektedir.



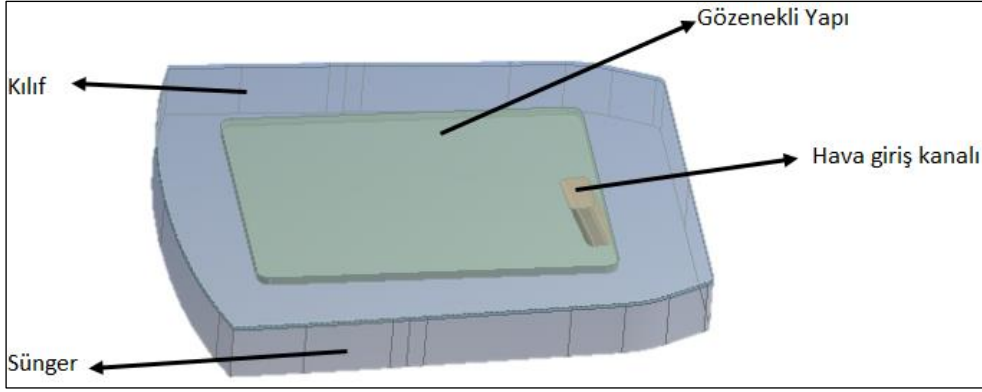
**Şekil 3.** (a) Deneysel çalışmada kullanılan koltuk (b) havalandırma sistemi eklenmemiş koltuk CAD modeli

Koltuğun oturma kısmında havanın daha efektif bir şekilde yayılabilmesi için oturma bölgesinde ağırlığın geldiği alan seçilerek koltuk süngeri tasarımı yapılmıştır. Dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de koltuk süngeri üzerinde yapılacak olan işlemlerden sonra koltuğun konfor noktası olarak bilinen koltuk ve araç tasarımında özellikle dikkat edilen H noktasının değişmemesidir. H noktası koltuk üzerine oturan yolcu ya da sürücünün kalça, üst bacak ve gövdenin birleştiği yer olarak tanımlanmaktadır [6]. Koltukta bu konum sabit tutularak üzerinde gerekli tasarım çalışmaları yapılmaktadır. Bu noktanın ölçümü, yapılan insan modeli tasarımları ile ölçülmektedir. Oturma süngeri 60 [gr/dm<sup>3</sup>] yoğunluktadır. Ayrıca oturma ve sırt süngerlerine delik açıldıktan sonra fan çalıştırıldığında homojen bir şekilde dağılım sağlanması için ön yüzeylere difüzör eklenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan koltuk geometrisinde bazı sadeleştirmelere gidilerek sayısal çalışmada kullanılacak olan koltuk modeli oluşturulmuştur (Şekil 4).



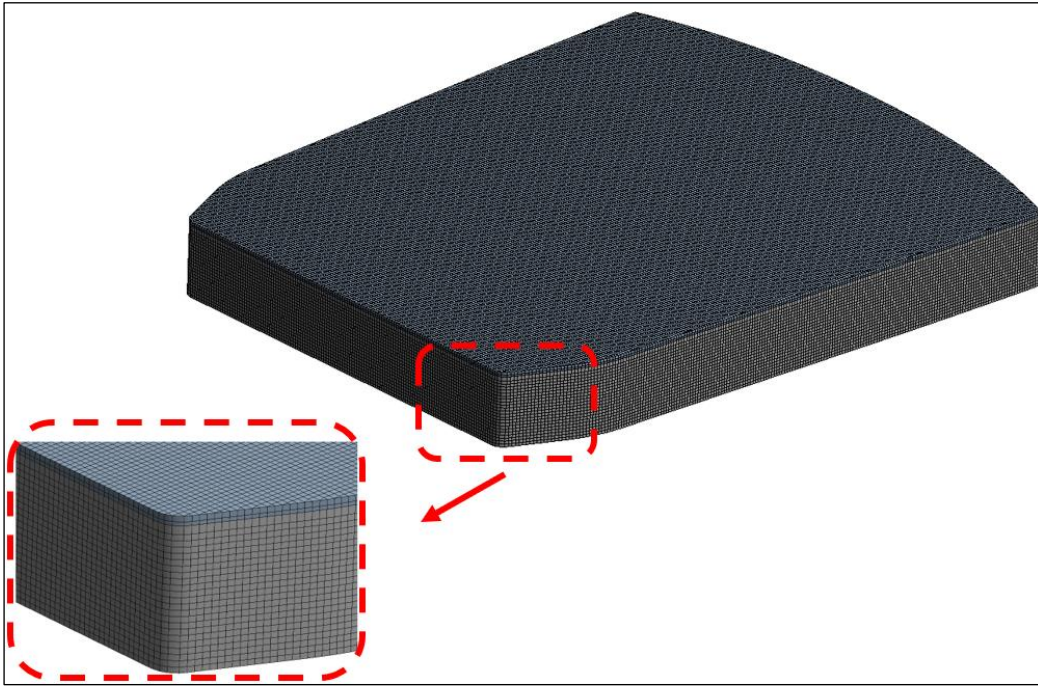
**Şekil 4.** Sayısal çalışma için koltuk modelinin sadeleştirilmesi

Şekil 4’te sadece koltuk sünger yapısı yer almaktadır. Şekil 5’te ise bu koltuk tasarıma ilave olarak oturma yüzeyinde boşluk görünen yapıya gözenekli bir yapı eklenmiş hali de görülebilmektedir. Bu eklentinin amacı ise hem koltuk stil yüzeyinin bozulmaması hem de sürücü veya yolcu oturduğunda mevcut boşluğu hissetmemesi amaçlanmıştır. Ayrıca en dış yüzeye ise 3 mm kalınlığında bir kumaş eklenerek gerçek koltuk yüzeyi modellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 5. Sadeleştirilmiş koltuk modelinde oturma yüzeyi ürün ağacı

Sayısal çalışmada kullanılacak koltuk süngeri, koltuk kılıfı, gözenekli yapı ve havanın gireceği hava kanalından oluşan koltuk oturma modelinin CutCell kullanılarak oluşturulmuş 950000 elemandan oluşan ağ yapısı Şekil 6’da görülebilmektedir. Sayısal çalışmada kullanılan diğer sınır şartları ise Tablo 3’te sunulmuştur.



Şekil 6. Oturma yüzeyi ağ yapısı tasarımı

**Tablo 3.** Sayısal çalışmada kullanılan sınır şartları

|   |   |
|---|---|
| Oturma bölgesi yüzey sıcaklığı              | 60 °C                                     |
| Dış ortam sıcaklığı                         | 25 °C                                     |
| Giriş menfez sıcaklığı                      | 25 °C                                     |
| Giriş menfez hızı                           | 2.88 m/s                                  |
| Oturma bölgesi dış yüzeyler                 | Oda sıcaklığına bağlı taşınım sınır şartı |
| Yakınsama kriteri                           | 10 <sup>-6</sup>                          |
| Basınç-Hız ilişkilendirilmesi               | SIMPLE                                    |
| Ayrıklaştırma metodu (Basınç)               | Standart                                  |
| Ayrıklaştırma metodu (Akış, enerji ve diğ.) | 2.dereceden Upwind yöntemi                |

Gözenekli yüzey olarak modellenen kılıfın akış yönleri, direnç katsayıları ve geçirgenlik katsayısı tanımlanmıştır. Daha sonra ise içerisinde bulunan direnç katsayıları ise aşağıdaki formüller yardımıyla bulunmuştur [11]. Burada yer alan gözenekli yüzey hava geçirgenlik katsayısı ( $\epsilon$ ) ve gözenekli yapı ölçü ( $D_p$ ) değerleri sırasıyla 0.95 ve 0.001 m alınmıştır. Bu değerlerin belirlenmesinde ise deneysel çalışmada kullanılan koltuk malzemesinin özellikleri göz önünde bulundurulmuştur.

Viskoz direnci;

$$\alpha = \frac{D_p^2}{150} \frac{\epsilon^3}{(1 - \epsilon)^2} \quad 1$$

Atalet direnci;

$$c_2 = \frac{3,5 (1 - \epsilon)}{D_p \epsilon^3} \quad 2$$

Sayısal çalışmalarda kullanılan korunum denklemleri ise aşağıda verilmiştir [12].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{V}) = S_m \quad 3$$

Bu denklemde yer alan  $S_m$  kaynak terim şeklinde ifade edilir. Sisteme eklenen kütleyle ifade eder. Örneğin faz değişimi sırasında buharlaşma sonucunda eklenen kütle miktarını gösterir. Momentum ve enerji denklemleri ise aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \nabla(\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \nabla(\mu \nabla v) + S_{M_x} \quad 4$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} = \nabla(\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \nabla(\mu \nabla v) + S_{M_y} \quad 5$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} = \nabla(\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \nabla(\mu \nabla w) + S_{M_z} \quad 6$$

$$\frac{\partial(\rho e)}{\partial t} = \nabla(\rho e \vec{V}) = -p \nabla \vec{V} + \nabla(k \nabla T) + \Phi + S_e \quad 7$$

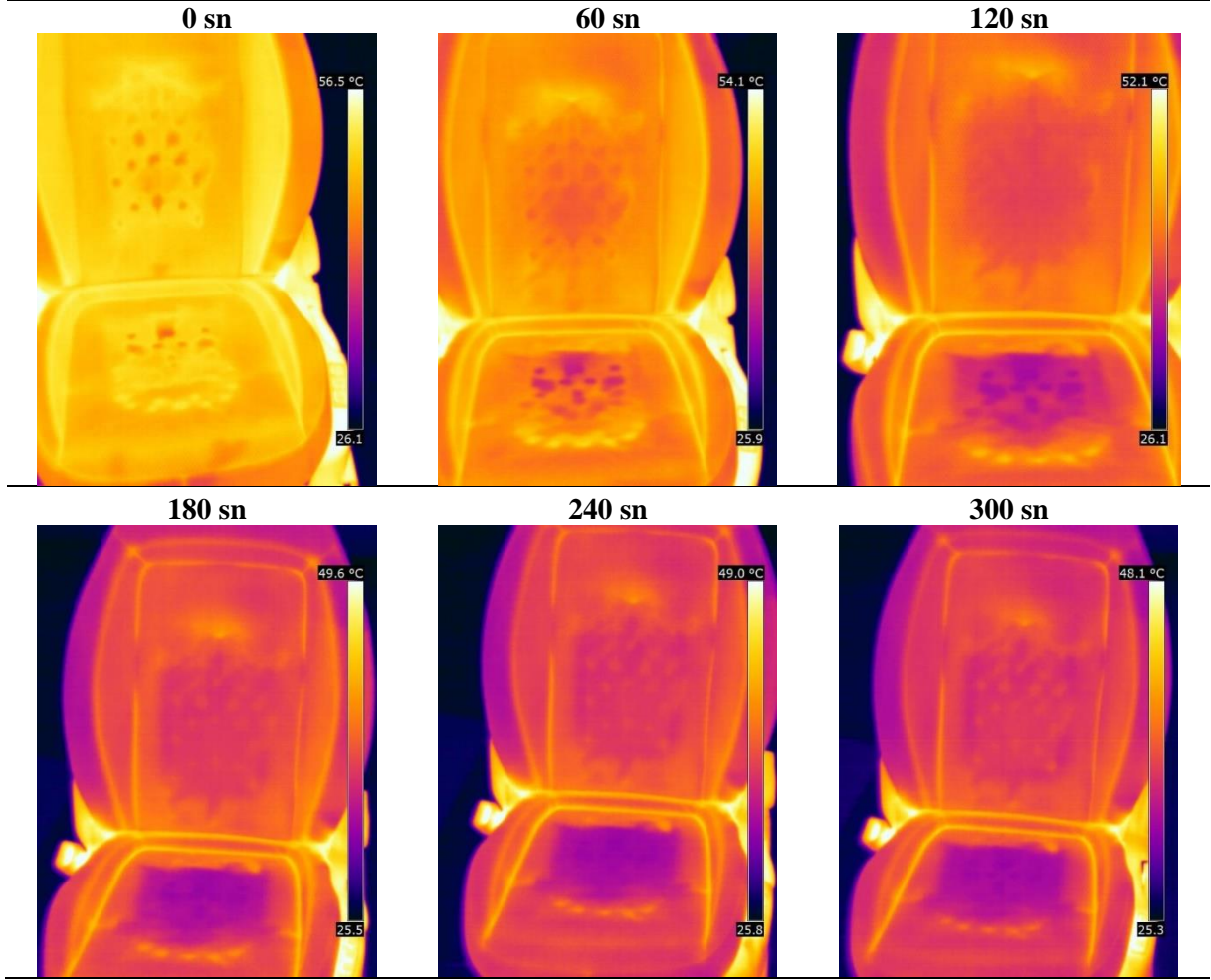


Kartezyen koordinat sisteminde ifade edilen denklemlerde;  $\rho$  yoğunluğu,  $\vec{V}$  hız vektörünü,  $u$ ,  $v$  ve  $w$  hız vektörlerinin sırasıyla  $x$ ,  $y$  ve  $z$  bileşenlerini,  $S_m$  kütle kaynak terimini,  $S_M$  momentum kaynak terimini,  $p$  basıncı,  $S_e$  enerji kaynak terimini,  $\Phi$  ise disipasyon (yayınım) terimini temsil etmektedir. Buradaki disipasyon terimi enerji kaybını ifade etmektedir. Ayrıca sayısal hesaplamalarda literatürde yer alan benzer sayısal çalışma sonuçlarının kararlılığı göz önünde bulundurularak standart  $k-\epsilon$  türbülans modeli tercih edilmiştir [12].

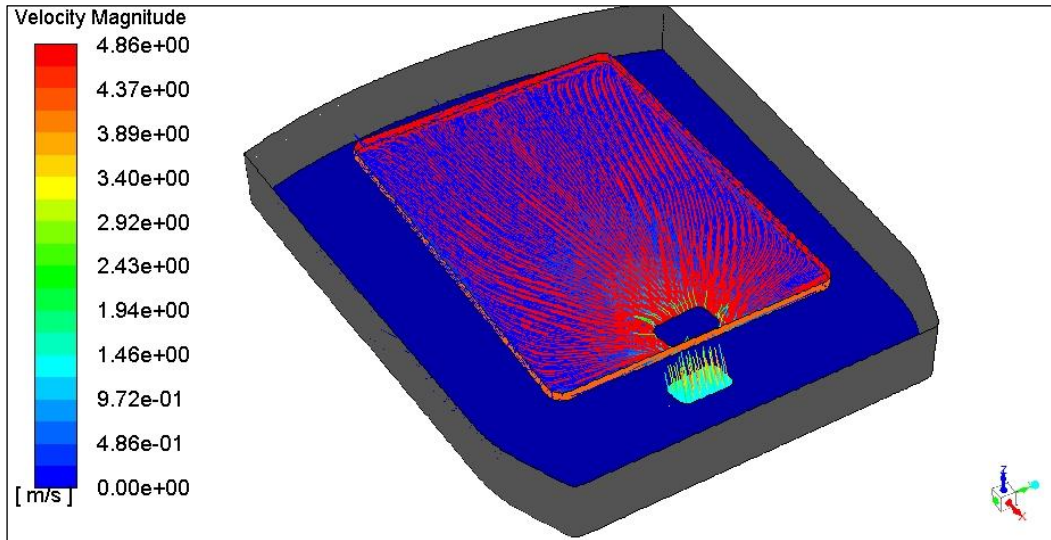
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Klimatik kabin içerisine konumlandırılan koltuk, kabin içerisinde 10 dk bekletildikten sonra dış ortama alınmış ve termal kamerayla koltuğun soğuma işlemi incelenmiştir. Koltuk yüzey sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 7'de sunulmuştur. Kabin içerisinden çıkarılan koltuğun ilk andaki sıcaklık dağılımına bakıldığında neredeyse tüm yüzeylerin  $56.5^\circ\text{C}$  sıcaklık değerinde olduğu görülebilmektedir. Bu esnada sadece koltuğun sırt ve oturma bölgelerine yerleştirilen ve içerisinde hava bulunan gözenekli yapının bulunduğu alanlarda küçük lokal bölgelerin sıcaklığının bir miktar düşük olduğu gözlenmiştir. Geçen zamanla birlikte koltuk yüzey sıcaklık değerinin ortam sıcaklık değerine doğru yaklaştığı ancak fan vasıtasıyla yüzeye üflenen hava sayesinde üfleme alanlarında daha hızlı düşüşler olduğu da rahatlıkla görülebilmektedir. Özellikle 60 saniye geçtiği halde koltuk yüzeyinin büyük bir çoğunluğunun  $50^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde olmasına rağmen ortam havasının üflendiği gözenekli bölge sıcaklığının yaklaşık  $25^\circ\text{C}$ 'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Bunun dışında 120. saniyede ise koltuk yüzey sıcaklığında düşüşler gözlenmesine rağmen  $50^\circ\text{C}$  mertebesinde alanların olduğu, hava üflenen bölgedeki düşük sıcaklıklı alanda hissedilir artış olduğu görülebilmektedir. 180. ve 300. saniyeler arasında ise koltuk yüzey sıcaklık mertebeleri neredeyse eşit olmakla beraber gözenekli yapının bulunduğu alanın yaklaşık tamamı  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık mertebesine erişmiştir.

Sayısal çalışmalardan elde edilen hız dağılım sonuçları incelendiğinde gözenekli yapı bölgesinde fanın yaklaşık  $2\text{ m/s}$  hızla çıkan hava gözenekli yapı bölgesinde yaklaşık  $4.5\text{ m/s}$  hız mertebelerine kadar yükselmiştir. Fan üfleme alanında en yüksek hız değerinde olup bu bölgeden uzaklaştıkça yüksek hızlı alanın azaldığı görülebilmektedir (Şekil 8).



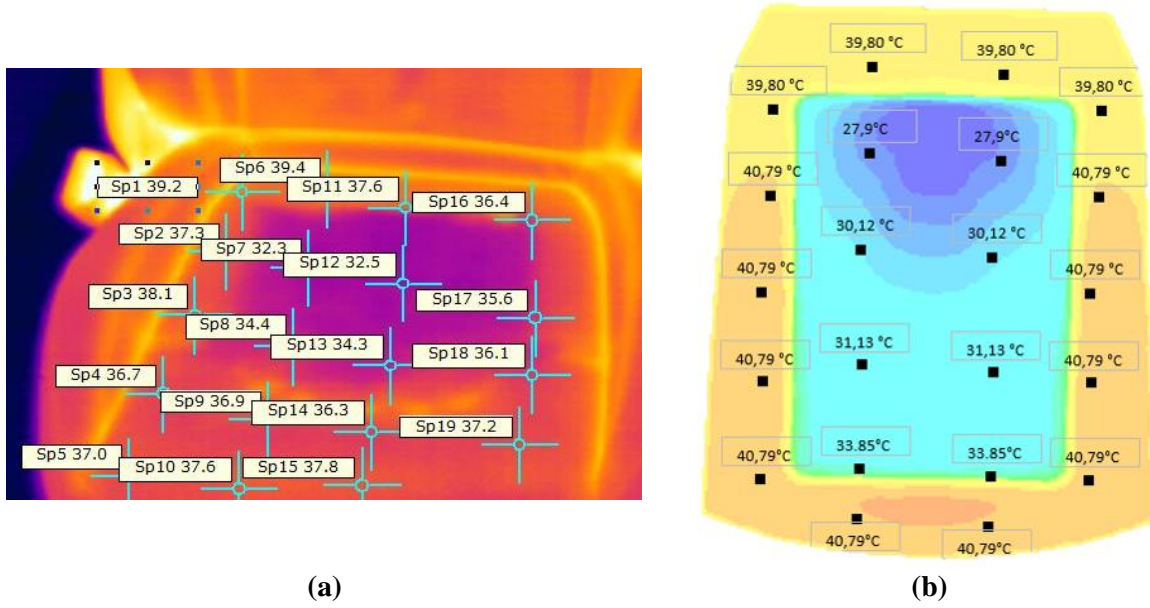
Şekil 7. Termal kamera ile ölçülmüş koltuk yüzey sıcaklık dağılımları



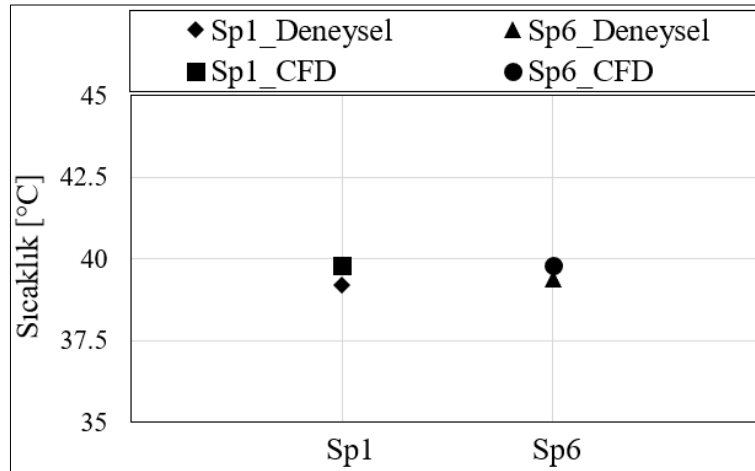
Şekil 8. Koltuk oturma bölgesinde gözenekli yapı içinde havanın hız (m/s) dağılımı

DeneySEL ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçları daha detaylı bir şekilde inceleyebilmek adına koltuk oturma bölgesine noktalar tanımlanmış ve bu noktalardaki sıcaklık değerleri incelenmiştir (Şekil 9). Bu

noktalardan Sp1 ve Sp6'nın 180. saniye için karşılaştırılması ise Şekil 10'da verilmiş olup bu noktalardaki sıcaklık değerlerinin oldukça uyumlu çıktığı görülmüştür.

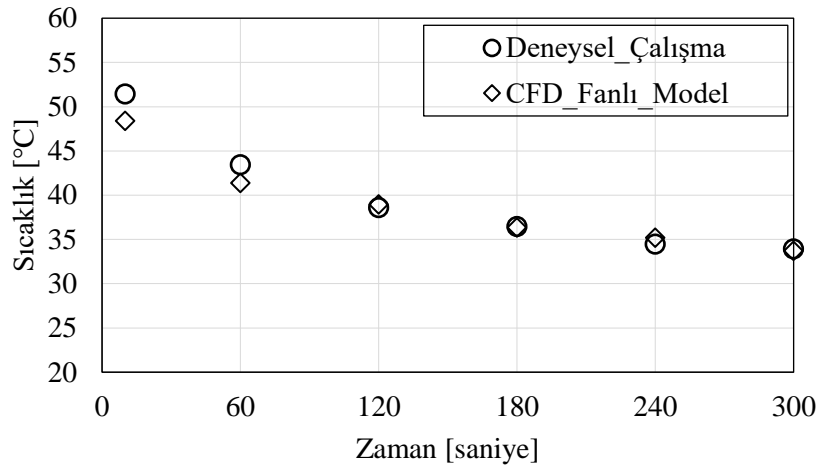


Şekil 9. 180. saniyede (a) deneysel (b) sayısal çalışmada yer alan koltuk oturma bölgesine tanımlanmış noktaların sıcaklık değerleri



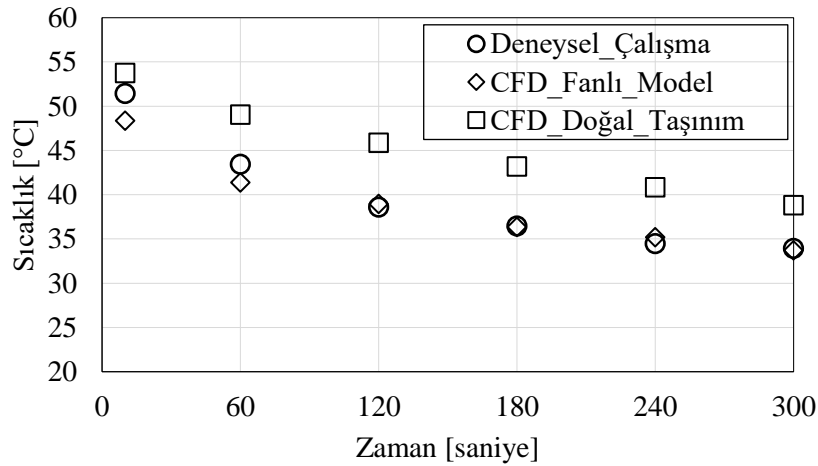
Şekil 10. 180. saniyede Sp1 ve Sp6 noktaları sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Tanımlanan bu noktalardaki sıcaklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak farklı zaman adımlarında deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 11). İlk 60 saniye deneysel çalışmadan elde edilen ortalama sıcaklık değerleri daha yüksek gelmiştir. Geçen zamanla birlikte aradaki farkın azaldığı ve 120. saniyeden sonra neredeyse eşit değerler aldığı görülmektedir. Genel olarak grafikte yer alan sonuçlar incelendiğinde ise deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçlarının uyum içerisinde olduğu rahatlıkla söylenebilir.



**Şekil 11.** Koltuk oturma bölgesinde zorlanmış taşınım etkisinde olan noktalarda sayısal ve deneysel elde edilen ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Koltuk yapısına eklenen salyangoz fanın soğutma işlemine etkisini gözlemleyebilmek için oluşturulan koltuk modeli fan üflemesinin aktif olmadığı durumda sadece doğal taşınım ile soğutulmaya bırakılmıştır. Bu sayısal çalışma esnasında diğer tüm sınır şartları fanlı model ile aynı olacak şekilde seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise 60 saniye geçtiğinde sadece doğal taşınım ile ortalama koltuk yüzey sıcaklığının ancak 49°C'ye kadar düştüğü, fanlı modellerde ise deneysel ve sayısal çalışmalarda sırasıyla yaklaşık 43 ve 42°C'ye kadar düştüğü gözlenmiştir (Şekil 12). Bu değerler çalışmanın sonunda ise sadece doğal taşınımlı model için yaklaşık 39°C iken fanlı modeller için yaklaşık 34°C'dir. Koltukta yer alan salyangoz fan ile gerçekleştirilen soğutma işlemi sayesinde koltuk yüzeyi ortalama sıcaklık değerlerinin yaklaşık 6°C daha düşük olduğu gözlenmiştir.



**Şekil 12.** Koltuk oturma bölgesinde zorlanmış ve doğal taşınım etkisinde olan noktalarda sayısal ve deneysel elde edilen ortalama sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada otomobiller için mevcut literatürde yer alan koltuk soğutma sistemlerinden farklı olarak, koltuk soğutma sistemi kapsamında koltuğa eklenen fan ve gözenekli yapının giriş kesitinde ilave bir soğutma sisteminden faydalanılmaksızın direk taşıt iklimlendirme sistemi tarafından şartlandırılan iç ortam havasının kullanıldığı ancak arzu edildiğinde ilave bir soğutucu ünite ile daha etkin bir soğutmanın sağlanabileceği aktif havalandırılmalı koltuk sistemi tasarımı yapılarak prototipi üretilmiş ve bu koltuğun

oturma bölgesinin 1:1 ölçekta 3D HAD modeli sadeleştirmelere gidilerek oluşturulmuştur. Üretilen ve modellenen koltuklar ile hem otomotiv üretici standartlarına hem de literatürde yer alan çalışmalara uygun olacak koşullar altında deneysel ve sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada koltuk önce 60°C iklimatik kabin içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilebilmesi için 10 dk boyunca bekletilmiş sonrasında ise ortam sıcaklığında koltuk içerisine yerleştirilen fan yardımıyla soğutulmuştur. Bu esnada koltuk yüzey sıcaklık değişimleri termal kamerayla incelenmiştir. Soğutma işleminde fandan gelen havanın koltuk ara yüzeyinde homojen bir şekilde dağılabilmesini sağlamak için gözenekli yapı kullanılmıştır. Koltuk oturma bölgesi üzerinde noktalar tanımlanarak bu noktalardaki sıcaklık değerleri ile deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde ise genel olarak fan yardımıyla soğutulan gözenekli yapının bulunduğu alanlarda diğer koltuk yüzeylerine göre daha hızlı bir soğuma olduğu görülmüştür. Deneye başladıktan 60 saniye sonrasında koltuğun gözenekli bölgesinin sıcaklığı yaklaşık 25°C'ye kadar düşerken diğer yüzeylerin sıcaklık değerleri 50°C mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. 180 saniye ve sonrasında ise koltuk yüzey sıcaklıklarında çok büyük değişimler gözlenmemiş ve fan yardımıyla havanın dolaştığı gözenekli bölgenin neredeyse tamamı 25°C değerlerine ulaşmıştır. HAD analiz sonuçları incelendiğinde ise fan vasıtasıyla sağlanan hava akımı, koltuk modeline yaklaşık 2 m/s bir hızla girmiş ve gözenekli yapı içerisinde yaklaşık 4.5 m/s değerlerine kadar yükselmiştir. Koltuk yüzeyine tanımlanan noktaların deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında ilk 60 saniyede düşük mertebede farklılıklar görülmekle birlikte 120 saniye ve sonrasında neredeyse eşit sonuçların elde edildiği, her iki çalışmanın sonuçlarının da uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Koltuk yüzeyinin fan etkisiyle soğutulmasının etkisini görebilmek amacıyla HAD modeli ile fan etkisinin devre dışı bırakıldığı ve sadece doğal taşınım ile soğumanın gerçekleştiği analizler gerçekleştirilmiştir. 60. saniyede sadece doğal taşınım ile koltuk yüzeyinin ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 49°C'ye kadar düşerken fan etkisinin devrede olduğu deneysel ve sayısal çalışmalarda sırasıyla 43 ve 42°C'ye kadar düşmüştür. Bu değerler çalışmanın sonunda fan etkisinin olmadığı durumda yaklaşık 39°C iken fan devreye alındığında gerçekleştirilen çalışmalarda yaklaşık 34°C olarak gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, kabin iç ortam havasından faydalanılarak koltuk yüzeyini soğutabilmek için geliştirilen aktif koltuk soğutma sistemiyle koltuk yüzeyinde yaklaşık 6°C daha düşük sıcaklık değerlerinin elde edildiği, bu değerlerin bazı alanlarda yaklaşık 8°C'ye kadar yükseldiği görülmüştür. Ayrıca geliştirilen bu aktif koltuk soğutma sisteminin özellikle sıcak yaz dönemlerinde yolcu ya da sürücüler için ısı konfor şartlarının sağlanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Martur Fompak International'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR (NOMENCLATURE)

| <i>Semboller</i> | <i>Açıklama</i>                                   |       |
|------------------|---|-------|
| $p$              | <i>basınç</i>                                     | [Pa]  |
| $\Delta$         | <i>delta operator</i>                             | -     |
| $Se$             | <i>enerji kaynak terimi</i>                       | -     |
| $\mu$            | <i>dinamik viskozite</i>                          | [Pas] |
| $\Phi$           | <i>disipasyon (yayınım terimi)</i>                | -     |
| $c_2$            | <i>gözenekli yapı atalet direnci</i>              | [1/m] |
| $Dp$             | <i>gözenekli yapı ölçüsü</i>                      | [m]   |
| $\epsilon$       | <i>gözenekli yüzey hava geçirgenlik katsayısı</i> | -     |
| $V$              | <i>hız</i>  | [m/s] |
| $u, v, w$        | <i>hız vektörleri</i>                             | -     |
| $Sm$             | <i>kütle kaynak terimi</i>                        | -     |
| $\nabla$         | <i>Laplacian operatörü</i>                        | -     |
| $SM$             | <i>momentum kaynak terimi</i>                     | -     |

|          |                |            |
|----------|----------------|------------|
| $\alpha$ | viskoz direnci | $[1/m^2]$  |
| $\rho$   | yoğunluk       | $[kg/m^3]$ |
| $x,y,z$  | yön vektörleri | -          |

### **Kısaltmalar Açıklama**

|        |  |
|--------|--|
| AC     | Air Conditioning                                   |
| CFD    | Computational Fluid Dynamics                       |
| HVAC   | Heating, Ventilation And Air Conditioning          |
| HAD    | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği                    |
| SIMPLE | Semi-Implicit Method For Pressure Linked Equations |
| TED    | Termoelektrikli Cihazlar                           |
| 3D     | Üç Boyutlu   |

### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] ASHRAE handbook – Fundamentals, chapter 8., Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, (1993).
- [2] Fanger, P.(1970). Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering, New York: McGraw-Hill.
- [3] Parsons, K. (2014). Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance, CRC Press.
- [4] Sevilgen, G. (2010). Otomobil kabininde hız ve sıcaklık dağılımının üç boyutlu sayısal analizi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, Türkiye.
- [5] Yiğit, A. ve Atmaca, İ. Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 543, (2011).
- [6] İbiş, A. (2020). Otomobiller için yenilikçi hava kanallı koltuk tasarımı ve prototip imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bursa, Türkiye.
- [7] Lee, D. ve Lee, E. Cooling and heating performance improvement of enhanced climate control seats, International Journal of Automotive Technology, cilt 19, sayı 5, sayfa 795–800, (2018).
- [8] Karimi, G., Chan, C. ve Culham, J. R. Experimental study and thermal modeling of an automobile driver with a heated and ventilated seat, SAE International, sayfa 682-692, (2003).
- [9] Su, C., Dong, W., Deng, Y., Wang, Y. ve Liu, X. Numerical and experimental investigation on the performance of a thermoelectric cooling automotive seat, Journal of Electronic Materials, cilt 47, sayı 6, (2018).
- [10] Sevilgen, G.ve Kilic, M. Investigation of transient cooling of an automobile cabin with a virtual manikin under solar radiation, Thermal science, cilt 17, no 2, sayfa 397-406, (2013).
- [11] ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide - 7.2.3 Porous Media, (2009).
- [12] Sevilgen, G. ve Kılıç, M. Numerical analysis of air flow, heat transfer, moisture transport and thermal comfort in a room heated by two-panel radiators, Energy and Buildings, cilt 43, sayı 1, sayfa 137–146, (2011).