

**Standart Klima Sistemini Yeniden Dizayn Ederek Otomobil Koltuklarının Soğutulması**

Ali ATEŞ

How to cite: Ateş, A., (2024). Standart klima sistemini yeniden dizayn ederek otomobil koltuklarının soğutulması. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 351-368. <https://doi.org/10.33484/sinopfbd.1484733>

**Araştırma Makalesi****Sorumlu Yazar**Ali ATEŞ  
aates@sinop.edu.tr**Yazarlara ait ORCID**

A.A: 0000-0002-5506-8200

**Received:** 15.05.2024**Accepted:** 18.07.2024**Öz**

Güvenli bir yolculuk için araç güvenlik sistemleri kadar insan vücudunun ısı konforu da dikkate alınmalıdır. Seyahat esnasında yolcuların yanı sıra özellikle sürücünün araç kullanırken kendini rahat hissetmesi güvenlik açısından son derece önemlidir. Bu çalışmada insan vücudunun ısı konforu dikkate alınarak konvansiyonel bir araç kliması üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu sayede daha etkili bir iklimlendirme ile daha konforlu bir sürüş gerçekleştirilebileceği hesaplanmıştır. Bunun için bir otomobilin sürücü koltuğu yeniden dizayn edilerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonunda soğutma proseslerinde en iyi sonuçlar ortalama devirler için elde edilmiştir. Elde edilen bulgular grafik çıktılarla desteklenmiş ve yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otomobillerde ısı konfor, klima destekli otomobil koltuğu, otomobil koltuğunun soğutulması.

**Cooling Car Seats by Redesigning the Standard Air Conditioning System**

<sup>1</sup>Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sinop, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır

**Abstract**

For a safe journey, not only vehicle safety systems but also the thermal comfort of the human body should be considered. In addition to the passengers during the journey, it is extremely important for the driver to feel comfortable while driving. In this study, some modifications have been made to a conventional vehicle air conditioner by considering the thermal comfort of the human body. It has been calculated that a more comfortable driving experience can be achieved with a more effective air conditioning system. For this purpose, experimental studies were carried out by redesigning the driver's seat of a car. As a result of the studies, the best results in cooling processes were obtained for average revolutions. The obtained findings have been supported and interpreted with graphic outputs.

**Keywords:** Thermal comfort in automobiles, air-assisted car seat, cooling car seat.

**Giriş**

Otomobillerde ısı konfor, kişisel konfordan çok sürüş güvenliği açısından önem arz etmektedir. Yolculuk süresi arttıkça sürüş konforu ve sürüş güvenliği daha önemli bir hal alır. Özellikle sıcak yaz günlerinde terlemeye neden olan ortam sıcaklığını ve vücut sıcaklığını düşürmek için klima ile

soğutmaya daha çok başvurulur. Otomobil kabininin ısıtılması ya da soğutulması belli bir zaman alır. Bu zaman zarfında lokal soğutma yapılarak insan vücudu doğrudan etkilenebilir. Önden insan vücuduna doğru yüksek bir hızda üfürülen soğuk havanın sağlık açısından olumsuz etkileri olabilmektedir. Yaz aylarının sıcak günlerinde camları kapalı olarak park halinde duran bir otomobile binen bir kişi terli ise üflenen soğuk hava sağlık yönünden olumsuz etkiler meydana getirebilir. Eğer otomobil koltuğu klima sistemi ile ayrıca soğutuluyorsa baldırlar ve bel kısmı da gövdenin ön kısmı ile aynı anda soğuyacağından bir ısı denge oluşacaktır. Ayrıca her ne kadar giysilerin bir direnci olsa da koltuktan soğutma prosesinde temas yoluyla bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Konvansiyonel otomobil klimalarında insan vücudunun ısıl konforunu etkileyen parametreler dikkate alınarak otomobil koltuğu doğrudan soğutulursa daha etkili ve daha ekonomik bir ısıl konfor sağlanmış olacak ve klima sisteminin soğutma yükü azalacaktır. Bode ve ark. [1] elektrikli arabaların elektrik sarfiyatını azaltmak için insan vücudunun ısıl konforunu dikkate alan bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemde, insan vücudunun hassas noktaları dikkate alınarak eşit olmayan bir enerji dağılımı yapılmıştır. Bu sayede enerji kullanımı yarıya düşmesine rağmen standart araç koltuğunun konforunun yakalanabileceğini, buna karşılık araç menziline %1.2 - %1.5 arasında bir artış sağlanabileceğini göstermişlerdir. Kipp ve ark. [2] çalışmalarında koltuğun yan taraflarından hava kanalları açarak kabin içi iklimlendirme ve insan vücudunun ısıl konforu için etkili bir yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre bu değişikliğin soğutma için iyi sonuçlar verdiği ancak ısıtma için beklenen sonuçların alınmadığını vurgulamışlardır. Dehne ve ark. [3] çalışmalarında otomobil kabininin uçaklardakine benzer bir şekilde havalandırılması ve iklimlendirilmesi için bir sistem önermişlerdir. Bu sisteme göre otomobilin döşeme ve tavanından delik ya da kanallar açılarak kabin içi iklimlendirilmeye çalışılmıştır. Bunun için dört adet termal manken kullanmışlardır. Babalık ve Cengiz [4], dört denek ve iki farklı ortamda, dört ayrı klimalı otomobil sürücü koltuğu ile yaptıkları deneylerde ısıl konfor etkilerini objektif ölçümler ve subjektif sorgulamalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Babalık ve Cengiz [5] farklı bir çalışmada; dört denek ve iki ayrı ortam sıcaklığı için dört ayrı klima otomobil sürücü koltuğu ile yaptıkları konfor deneyinde sekiz ayrı noktada deri sıcaklığını, iki ayrı noktada vücut nemini ölçmüşler ve konfor değerlendirmesinde nemin deri sıcaklığına göre daha doğru bir ölçek olduğu sonucuna varmışlardır. Esen ve Hoşöz [6] çalışmalarında R12 ve R134a soğutucu akışkanları ile iklimlendirilen otomobil klimasında farklı kompresör devirleri ve ısı yükleri için karşılaştırmalı bir performans analizi yapmışlardır. Sonuç olarak aynı soğutma yükünde R134a'nın R12'ye oranla daha düşük soğutucu akışkan kütle debisi ile çalıştığını tespit etmişlerdir. Kılıç ve Akyol [7] otomobillerin ısıtma işlemi sürecinde farklı hava yönlendiricileri seçiminde sürekli değişen ve kabin içinde düzensiz bir dağılım gösteren ısıl konfor parametrelerinin değişimini deneysel olarak test etmişlerdir. Yiğit ve Atmaca [8], insan vücudu üzerinde ısı ve kütle transferi, denetim mekanizmaları ve çevre şartlarının modellerinin analitik ve sayısal çözümleri üzerinde çalışmışlardır. Solmaz ve Özgören [9] güneş enerjisi (PV) destekli çalışan taşıt klima sisteminin dinamik performansını deneysel olarak araştıran bir çalışma yapmışlardır.

Çalışmada Türkiye'nin güneş enerjisi yönünden zengin olan beş ayrı ili için klima sisteminin termodinamik bir analizi yapılmıştır. Ünal ve ark. [10] otobüslerde kullanılan buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin ejektörlü hale getirilmesi ile oluşturulan yeni bir sistemde, soğutma etkinliğinin kütleli debi oranı ile değişimini teorik olarak incelemiştir. Bu çalışmada konvansiyonel bir otomobil kliması üzerinde konstrüktif bazı değişiklikler yapılarak sürücü koltuğu klima sistemi ile soğutulmuştur. Koltuğun oturak ve sırt kısımlarına özel olarak yerleştirilen boru demetlerinin bir evaporatör görevi yapması sağlanmıştır. Çeşitli kompresör devirleri için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen bulgular grafik çıktılarıyla desteklenmiş ve yorumlanmıştır.

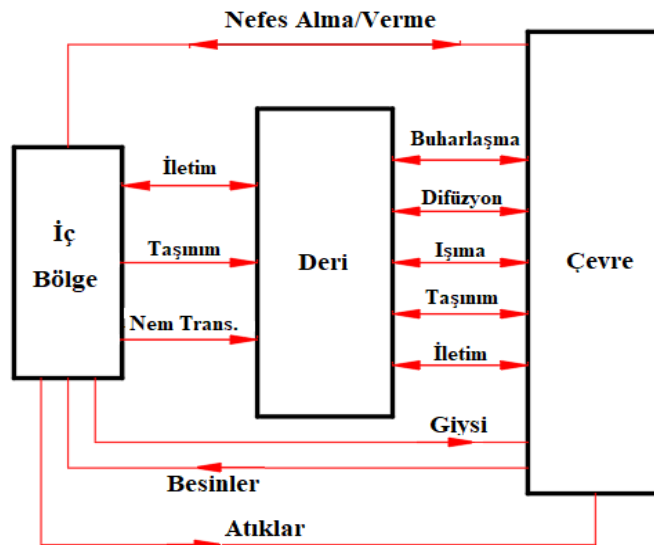
### İnsan Vücudunun Isıl Konforu ve Otomobillerde Isıl Konfor

Isıl konfor, kişinin ısı yünden kendini rahat hissetme duygusu olarak tanımlanabilir. Otomobillerde ısı konforu, kişisel konfordan çok sürüş güvenliği açısından önemlidir. Yolculuk süresi arttıkça sürüş konforu ve sürüş güvenliği daha önemli bir hal alır. Sürücü ve yolcuları terletmeyecek kadar soğutulabilen bir koltuk iyi bir ısı konfor sağlayacaktır. Fanger [11] tarafından geliştirilen sürekli rejim modelleri, vücudun ısı dengede olduğunu ve enerji depolamasının ihmal edilebileceğini kabul eder. Bu modelde vücut içi ve deri tek bir bölme olarak ele alınır. Bu nedenle titreme ve kan akışı ile ısı denetim göz önüne alınmaz ve sıcaklık zamana göre sabit kabul edilir. Buna göre sürekli rejimde üretilen ısı enerji, ısı kaybına eşit olur ve enerji dengesi:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir.

Bu bağıntıda;  $M$  metabolik ısı enerjisi üretimini,  $W$  yapılan mekanik işi,  $Q_{res}$  solunum yoluyla olan toplam ısı kaybını,  $Q_{sk}$  deriden olan toplam ısı kaybını,  $C_{res}$  solunumla olan taşınım ısı kaybını,  $E_{res}$  solunumla buharlaşma kaybını,  $C + R$  deriden olan duyulur ısı kaybını ve  $E_{sk}$  deriden toplam buharlaşma kaybını ifade ederler.



Şekil 1. İnsan vücudu ile çevre arasındaki ısı ilişkisi [8]

Giyinik bir vücuttan, taşınım  $C$  ve ışıyım  $R$  ile olan ısı kayıpları, bir ısı geçiş katsayısı ve giyinik vücutun ortalama dış sıcaklığı  $t_{cl}$  ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın çarpımı olarak;

$$C = f_{cl} h (t_{cl} - t_0) \quad (2)$$

$$R = f_{cl} - h_r (t_{cl} - t_r) \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir [12]

Burada,  $h_c$  taşınım katsayısı,  $h_r$  doğrusal ışıyım ile ısı transferi katsayısıdır.  $f_{cl}$  ise giysi alan çarpımıdır.

$$(C+R) = f_{cl} h (t_{cl} - t_0) \quad (4)$$

olarak yazılabilir. Burada,

$$t_0 = (h_r t^* r + h_c t_0) \text{ ve } h = h_r + h_c \quad (5)$$

şeklindedir.

Deriden buharlaşma yoluyla ısı kaybı  $E_{sk}$  için şu bağıntı yazılabilir [13].

$$E_{sk} = w (p_{sk,s} - p_a) / [R_{e,cl} + 1 (f_{cl} h_e)] \quad (6)$$

Bu bağıntıda;  $w$  deri ıslaklığı (boyutsuz),  $p_a$  çevre havanın su buharı basıncı,  $p_{sk,s}$  deri üzerinde su buharı basıncı,  $R_{e,cl}$  giysi tabakasının buharlaşma ile ısı geçiş direnci,  $h_e$  buharlaşma ile ısı transferi katsayısını temsil etmektedirler. Solunum sırasında, vücuda giren havaya taşınım ve buharlaşma yoluyla duyulur ve gizli ısı geçişi olur. Solunumla ilişkili duyulur ve gizli ısı kayıpları şöyle ifade edilebilirler; [13].

$$C_{res} = \dot{m}_{res} c_{p,a} (t_{ex} - t_a) / A_D \quad (7)$$

$$E_{res} = \dot{m}_{res} h_{fg} (W_{ex} - W_a) A_D \quad (8)$$

Bu denklemlerde;  $\dot{m}_{res}$  solunan hava debisi,  $W_{ex}$  vücuttan dışarı atılan havanın özgül nemi,  $t_{ex}$  dışarı atılan havanın sıcaklığı,  $W_a$  solunan (çevre) havanın özgül nemi,  $C_{p,a}$  çevre havanın özgül ısıdır. Bu denklemlerde  $A_D$  m<sup>2</sup> cinsinden çıplak vücut yüzey alanıdır ve hesaplama için DuBois tarafından şu bağıntı teklif edilmiştir:

$$A_D = 0,202 m^{0,425} l^{0,725} \quad (9)$$

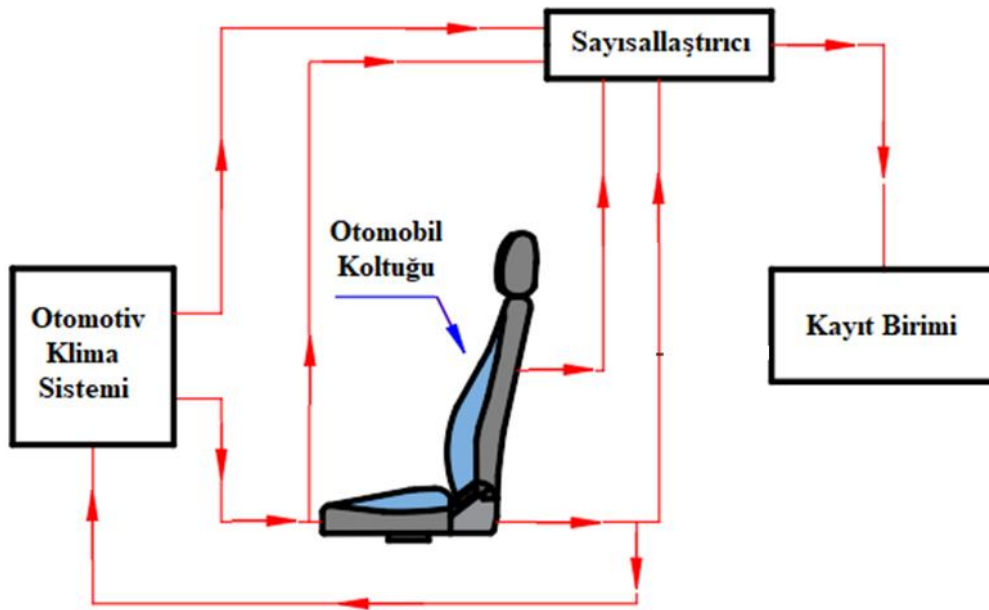
Bu bağıntıda  $m$  vücut kütlesi,  $l$  ise boydur. Isı dengesi tüm denklemlerde birim DuBois yüzey alanına göre ifade edilmiştir. Normal bir insan için DuBois alanı  $A_D = 1.8$  m<sup>2</sup> değerindedir. Bir DuBois alanı için metabolik hızı ifade eden birim **met** olup dinlenme halindeki bir insanın (oturur, sakin durumda) metabolik hızı olarak tanımlanmıştır. 1 **met** = 58.2 W/m<sup>2</sup> = 50 kcal/m<sup>2</sup>h dir. Ortalama sağlıklı bir erkeğin maksimum enerji kapasitesi 20 yaşında  $M_{act} = 12$  met olup, 70 yaşında 7 met değerine düşer. Araba kullanan bir kişinin ortalama metabolik ısı üretimi 60-115 W/m<sup>2</sup> olarak alınabilir. Bu da 1-2 **met**'e karşılık gelmektedir. İnsan vücudunun ürettiği ısı önemlidir ancak asıl önemli olan bir otomobilin ısı kazancıdır. Çünkü konfor için ısı fazlası klima yoluyla dışarı atılmalıdır. Bir otomobilin normal şartlarda ısı kazançları şu şekilde özetlenebilir [14]:

- Transmisyonla oluşan ısı kazancı,
- Cam ve opak yüzeylerden ışınlama olan ısı kazancı,
- İnsanlardan kaynaklanan ısı kazancı,
- Araç içinde çalışan cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı,
- Havalandırmadan kaynaklanan ısı kazancı

Isıl konfor hesaplamalarında bu ısıl kazançlar dikkate alınmalı ve gerektiği hallerde her biri için tek tek hesaplamalar yapılmalıdır.

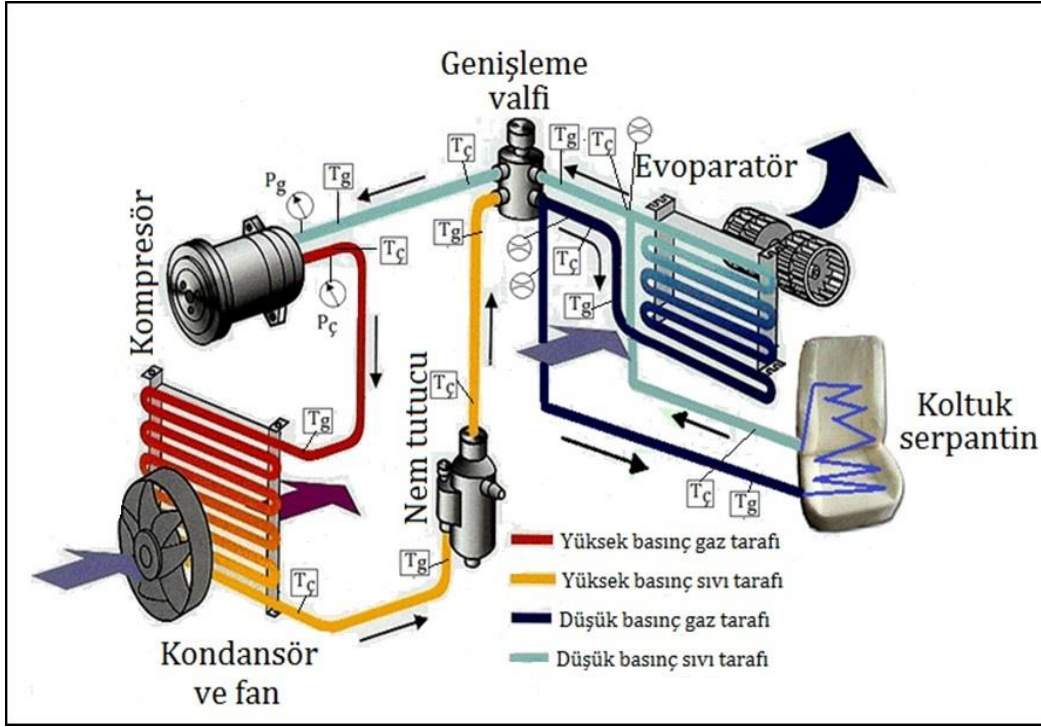
### DeneySEL Çalışma

Bu deneysel çalışmada Renault Toros SW marka bir araç kullanılmıştır. Araç üzerine standart bir otomobil kliması monte edilmiş ve otomobil sürücü koltuğu özel olarak modifiye edilmiştir. Koltuğun oturak ve sırt kısımlarına sürücüyü rahatsız etmeyecek şekilde ince borulardan oluşan soğutucu serpantinler yerleştirilmiştir. Otomobil klima sisteminden ayrılan bir boru ile bu serpantinlere soğutucu akışkan üflenmek suretiyle koltuk soğutulmuştur. Soğutucu serpantinlere bir kollektör aracılığı ile soğutkan (refrigerator) verilmekte ve toplayıcı başka bir kollektörden soğutkan çıkışı olmaktadır. Koltukta ayarlanabilen ısıtma-soğutma fonksiyonu bulunmamaktadır. Kademeler ancak kompresör devri ile yapılabilmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3’de deney ünitesinin bağlantı şeması ile deney düzeneğinin şematik görüntüsü verilmiştir. Koltuk sırt ve oturak kısımlarında 5’er adet ısıl çift aracılığı ile ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak sırt ve oturak kısımların sıcaklıkları tespit edilmiştir. Ayrıca koltuğa giriş ve çıkış sıcaklıkları, otomobil kliması evaporatörüne giriş ve çıkış sıcaklıkları, kompresör giriş ve çıkış sıcaklıkları gibi pek çok noktadan sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ortam sıcaklığını ölçen ısıl çift ile beraber toplam 22 noktada sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca kompresör giriş ve çıkış basınçları ile kompresör devirleri ayrı ayrı ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 2. Otomobil koltuğu kliması için deney ünitesi bağlantı şeması

Daha hassas ölçümler için kompresör, araç motoru yerine invertör aracılığı ile devirleri değiştirilebilen bir doğru akım elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Deneylerde canlı mankenler kullanılmıştır. Mankenlerin özellikle bel ve baldır sıcaklıkları ölçülerek ısıl konfor yönünden rahatlık hissi duyup duymadıkları araştırılmıştır.



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

### Deneyin Yapılışı

Her bir deneye başlamadan önce bazı ön hazırlıklar yapılmıştır. Her şeyden önce klima sistemindeki borularda gaz kaçağı olup olmadığı sık sık kontrol edildi. Her deneyden önce data logger'a bağlı ısıl çiftler için doğru ölçüm yapıp yapmadıkları kontrol edildi. Data logger beş saniyede bir ölçüm yapacak şekilde ayarlandı. Data logger ölçümlerin kayıt edileceği bilgisayara bağlandı. Sistem ilk beş dakika rölantide çalıştırıldı. Her bir devir adımındaki deneyler için ölçümler alınmadan önce sistemin sürekli rejime girmesi için on dakika beklendi. Her bir devir adımında on beş dakika süreyle veri alındı. Bu on beş dakikanın ilk beşinci dakikasından itibaren beş dakika boyunca koltuğa bir kişi oturtularak deneyler tekrarlandı. Koltuğa oturtulan kişiye ısıl yönden rahat olup olmadığına dair sorular soruldu. Her bir deney adımında elektrik motorunun volt ve amper değerleri ölçülerek kaydedildi. Ayrıca her bir deney adımında kompresör giriş ve çıkış basınçları ölçülerek kaydedildi. Deneyler 500 dev/dak dan 1600 dev/dak ya kadar 100 dev/dak lık adımlarla tekrarlandı. Şekil 4 ve Şekil 5'de deney setinin resmi gösterilmiş ve resim üzerinde ana elemanlar işaretlenmiştir. Bu deneyde soğutulan ortam koltuk olduğundan, evaporatör koltuk olacaktır. Kompresörden geçen akışkanın basıncı artarak kondansöre gelir. Gaz fazındaki akışkan kondansörde yoğunlaşarak ve ısını dışarıya vererek sıvı fazına geçer. Sıvı

fazdaki akışkan genişleme valfinden geçerek basıncı ve sıcaklığı düşer. Evaporatöre gelen sıvı akışkan koltuğu soğutur ve dışarıdan ısı alır. Çevrim bu şekilde sürekli tekrar eder.

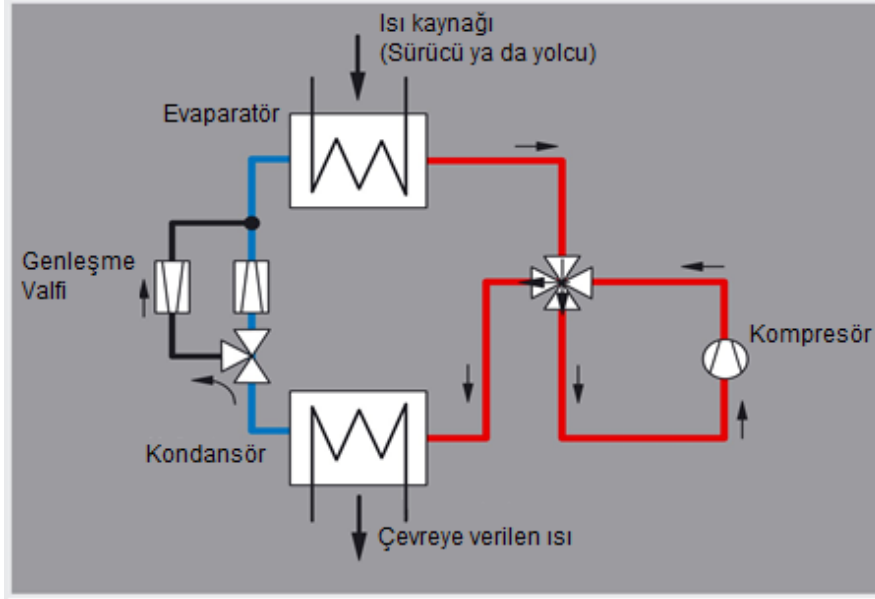


**Şekil 4.** Deney düzeneğinin önden görünüşü ve kontrol paneli **a.** Fan, **b.** İnvörtör, **c.** Elektrik açma kapama şartelleri, **d.** Ortam sıcaklığını ölçen termometre, **e.** Kompresör giriş ve çıkış basınçlarını ölçen manometre, **f.** Koltuk soğutmayı devreye sokan sivitç



**Şekil 5.** Deney düzeneğinin arkadan görünüşü **a.** Elektrik motoru, **b.** Kompresör, **c.** Kurutucu, **d.** Kondansör

Deney setinin soğutma çevrimi şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Deney sisteminin soğutma çevrimi şeması

## Hesaplamalar

Üç fazlı bir DC motor için birim zamandaki iş ifadesi şöyledir;

$$\dot{W}_{komp.} = V \cdot I \cdot \cos\phi \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_{el.} \quad (10)$$

Bu denklemde  $\cos\phi=0.82$  olarak motor etiketi üzerinden okunmuştur. Yine motor kataloğundan motor verimi  $\eta_{el.}=0.85$  olarak alınmıştır.

Ayrıca;

$$\dot{W}_{komp.} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (11)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_3) = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (12)$$

$$STK = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{komp.}} \quad (13)$$

yazılabilir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.



**Tablo 1.** Soğutma prosesinde tüm devirler için hesaplanan değerler

Devir (rpm)	$\dot{m}$ (g/s)	W (Watt)	V (Volt)	I (Amper)	Q <sub>L</sub> (Watt)	STK
500	15.39	585	169	2.86	2031	4.47
600	16.17	603	199	2.51	2150	4.56
700	16.69	667	227	2.42	2136	4.20
800	17.27	673	255	2.19	2193	4.26
900	18.16	708	282	2.11	2324	4.28
1000	18.10	724	306	1.97	2298	4.17
1100	18.44	774	341	1.89	2323	4.00
1200	18.63	782	371	1.76	2347	4.00
1300	18.79	795	397	1.66	2386	3.99
1400	18.92	794	409	1.61	2421	4.05
1500	18.39	775	413	1.56	2354	4.03
1600	18.05	741	415	1.48	2310	4.10

### Belirsizlik analizi

DeneySEL çalışmalarda elde edilen sonuçların güvenilir olduğunu göstermesi bakımından bir hata analizinin yapılması gerekir. Çeşitli hata analizi yöntemleri içerisinde en çok kullanılanı belirsizlik analizidir. Belirsizlik analizinde hesaplanması gereken büyüklük  $R$  ve buna bağlı bağımsız değişkenler de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  olsun. Matematiksel olarak  $R=R(x_1, x_2, \dots, x_n)$  şeklinde gösterilebilir. Her bir bağımsız değişkene ait hatalar  $w_1, w_2, \dots, w_n$  olsun.  $R$  bağımlı değişkeninin hata oranı da  $w_R$  olsun. Buna göre;

$$w_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

bağıntısı yazılabilir.

Yukarıda yazılan bağıntıların ilgili değişkenlere göre kısmi türevleri şöyle olur;

$$\dot{W}_{komp.} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (15)$$

$$\frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial \dot{m}} = h_2 - h_1 \quad (16)$$

$$\frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial h_2} = \dot{m} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial h_1} = -\dot{m} \quad (18)$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_3) = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (19)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial \dot{m}} = (h_1 - h_3) \quad (20)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial h_1} = \dot{m} \quad (21)$$

$$\frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial h_3} = -\dot{m} \quad (22)$$

$$STK = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{komp.}} \quad (23)$$

$$\frac{\partial STK}{\partial \dot{Q}_L} = \frac{1}{\dot{W}_{komp.}} \quad (24)$$

$$\frac{\partial STK}{\partial \dot{W}_{komp.}} = -\frac{\dot{Q}_L}{(\dot{W}_{komp.})^2} \quad (25)$$

$$\dot{\omega}_{\dot{W}_{komp.}} = \left[ \left( \frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial \dot{m}} \omega_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial h_2} \omega_{h_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{W}_{komp.}}{\partial h_1} \omega_{h_1} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (26)$$

$$\dot{\omega}_{\dot{Q}_L} = \left[ \left( \frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial \dot{m}} \omega_{\dot{m}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial h_1} \omega_{h_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{Q}_L}{\partial h_3} \omega_{h_3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

$$\dot{\omega}_{STK} = \left[ \left( \frac{\partial STK}{\partial \dot{Q}_L} \omega_{\dot{Q}_L} \right)^2 + \left( \frac{\partial STK}{\partial \dot{W}_{komp.}} \omega_{\dot{W}_{komp.}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

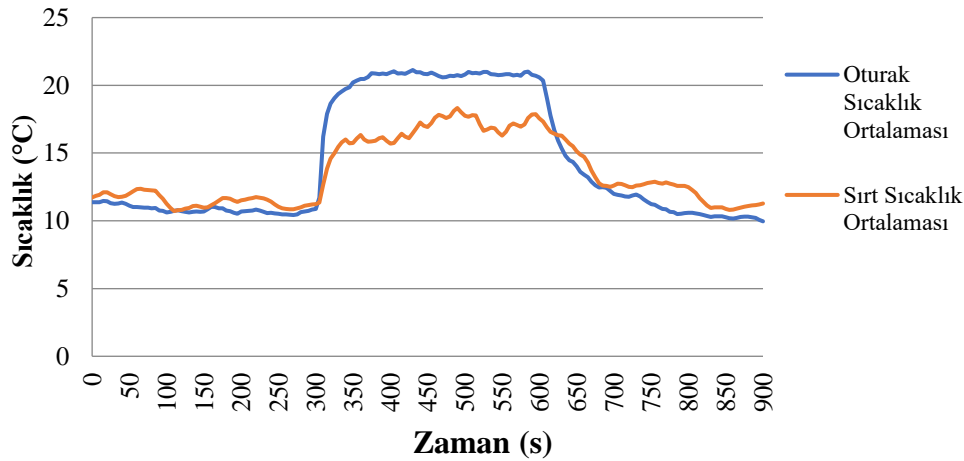
Yukarıda belirlenen bağıntılara göre hesaplanan belirsizlik analizi çıktıları her bir devir için Tablo 2'de topluca verilmiştir.

Tablo 2. Belirsizlik analizi yöntemine göre hesaplanan hata analizi sonuçları

Devir (rpm)	$\omega_{\text{Wkomp.}}$ (% hata)	$\omega_{\text{QL}}$ (%hata)	$\omega_{\text{STK}}$ (% hata)
500	3.812	1.524	0.391
600	3.734	1.543	0.359
700	3.813	1.530	0.389
800	3.732	1.529	0.375
900	3.651	1.515	0.355
1000	3.578	1.527	0.345
1100	3.503	1.523	0.335
1200	3.573	1.518	0.343
1300	3.574	1.517	0.343
1400	3.432	1.527	0.309
1500	3.368	1.528	0.300
1600	3.433	1.529	0.309

## Bulgular ve Tartışma

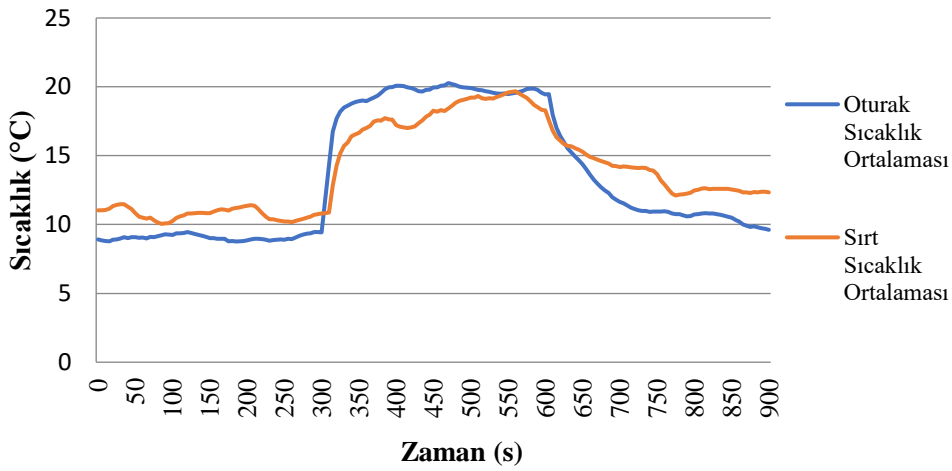
Bu çalışmada, sürücünün ısı konforu için otomobil sürücü koltuğunun soğutma deneyleri 500 dev/dak dan 1600 dev/dak' ya kadar her 100 dev/dak'lık kompresör devri artışları için ayrı ayrı yapılmış ve her deney standart olarak 15 dakika sürmüştür. Bu süre zarfında her 5 saniyede bir ölçümler data logger aracılığı ile kaydedilmiştir. Elde edilen verilerle çeşitli grafikler hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Tüm deneylerde ortam sıcaklığı ortalama 22 °C olarak ölçülmüştür.



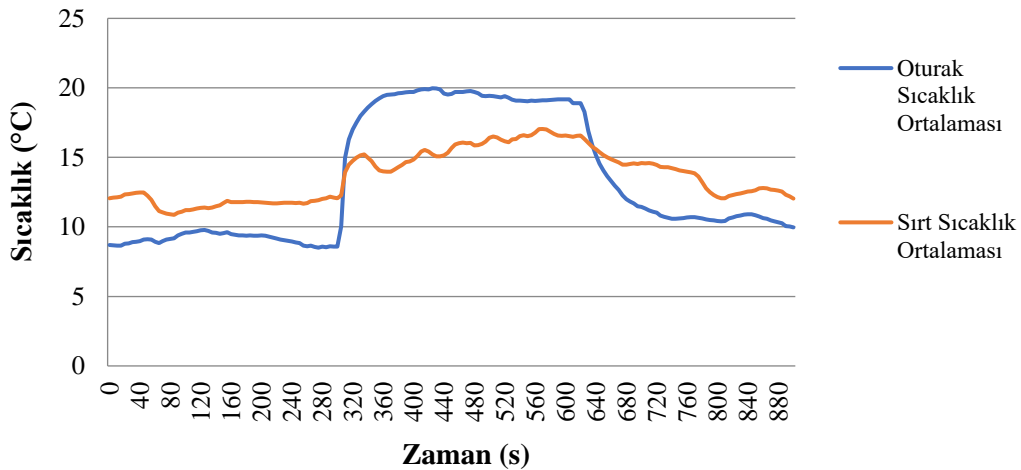
Şekil 8. 500 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

Şekil 8'de verilen 500 dev/dak için sıcaklık-zaman grafiğinde sıcaklıkların 12 °C ile 22 °C arasında değiştiği görülmektedir. Bu aralık ısı konfor açısından oldukça düşük bir değerdir. Sıcaklığın belli bir değer altına düştüğü durumlarda termostatik bir kesici ile prosesin durdurulması gerekir. Ancak bizim deney düzeneğimizde çeşitli nedenlerle bu gerçekleştirilememiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 300 saniye ile 600 saniye arasındaki aralıkta yani canlı mankenin koltuğa oturduğu zaman aralığında insan

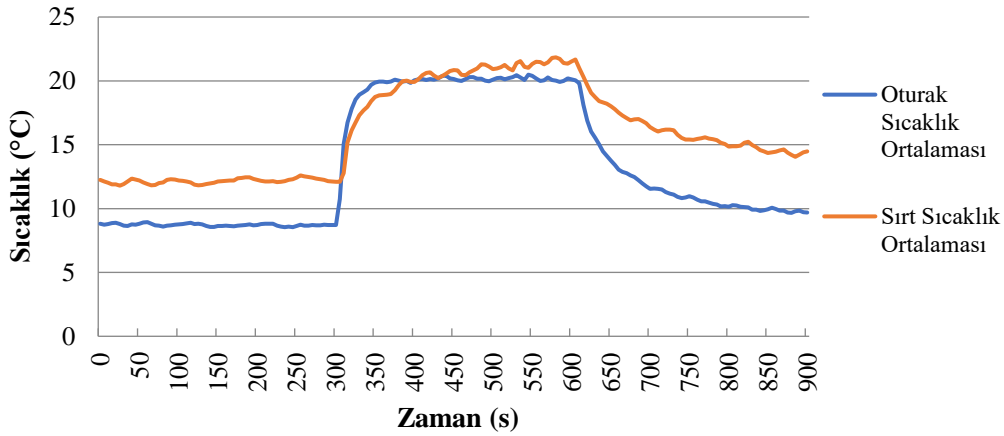
vücudundan gerçekleşen ısı transferinden dolayı sıcaklık değerleri yükselmektedir. Sıcaklıktaki yükselme sırt kısmına göre oturak kısmında daha fazla gözlenmektedir. Bu da insanın uyluklarından daha etkili bir iletimle ısı transferi gerçekleştiğinin göstergesidir. Çünkü uyluklar sırt kısmına göre daha mükemmel şekilde koltuğa yapışmaktadır. 600 dev/dak için verilen Şekil 9'daki grafikte evaporatör (sürücü koltuğu) sıcaklık değerlerinin 500 dev/dak'ya göre biraz daha düştüğü gözlenmektedir. 300 saniyeye kadar olan kısım ile 600 saniyeden sonraki kısımlarda koltuğun oturak kısmı sıcaklık değerlerinin sırt kısmı sıcaklık değerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da oturak kısmında daha etkili bir ısı transferinin gerçekleştiğinin göstergesidir. 300 saniye ile 600 saniye arasında oturak kısmı sıcaklık değerinin sırt kısmı sıcaklık değerinden daha yüksek olduğunun sebebi yukarıda izah edilmiştir.



Şekil 9. 600 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

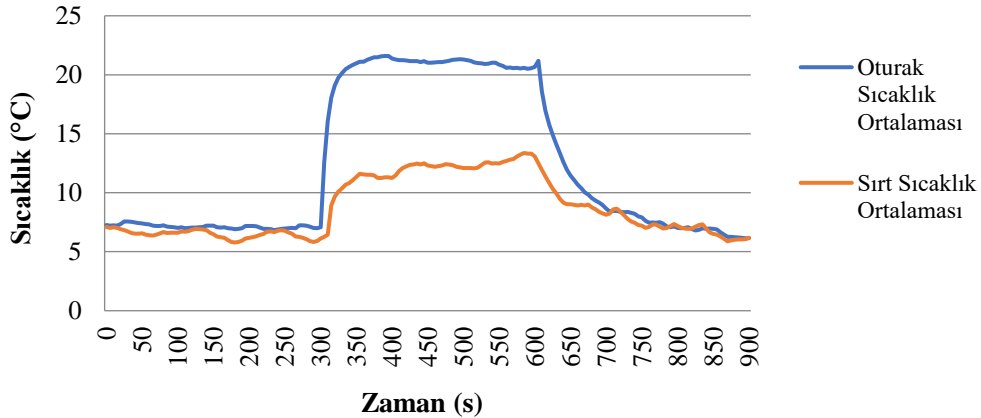


Şekil 10. 700 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

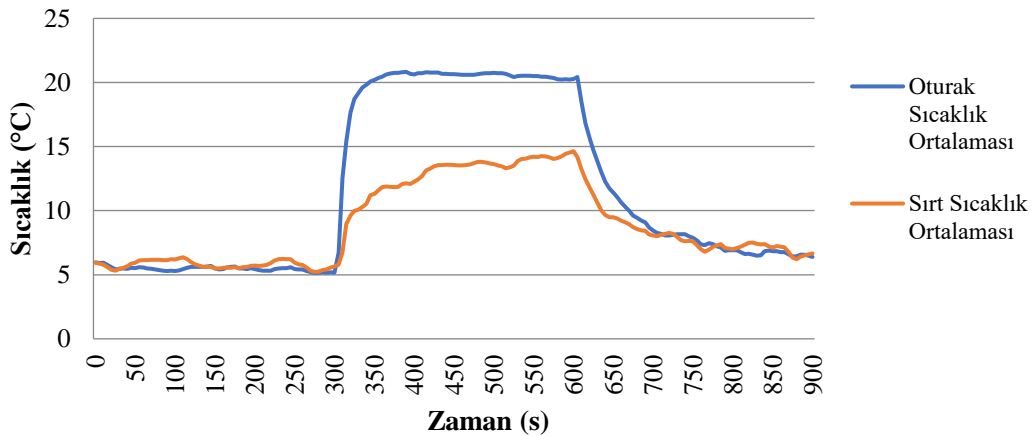


Şekil 11. 800 dev/dak için soğutma prosesi Sıcaklık-Zaman grafiği

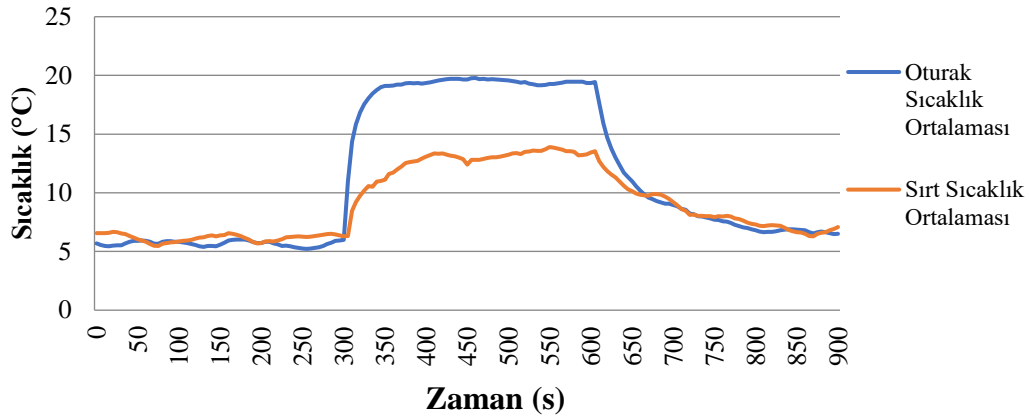
600 dev/dak ile 800 dev/dak arasındaki üç grafik (Şekil 9 – Şekil 11) birbirlerine benzerlik göstermektedirler. Her üç grafikte de başlangıçta oturak kısmı sıcaklığı 9 °C civarında iken sırt kısmı sıcaklığı 11 °C civarındadır. 300 saniye ile 600 saniye arasında doğal olarak her iki sıcaklık değeri de yükselmekte ancak oturak kısmı sıcaklığı sırt kısmı sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Yukarıda da izah edildiği gibi bunun sebebi baldırlardan olan iletimle ısı transferinin bel ya da sırt kısmına göre daha etkili olmasıdır.



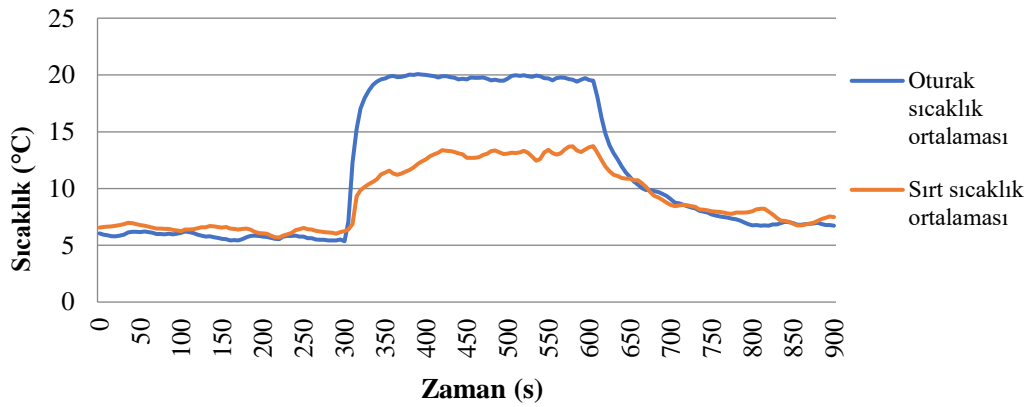
Şekil 12. 900 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 13. 1000 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

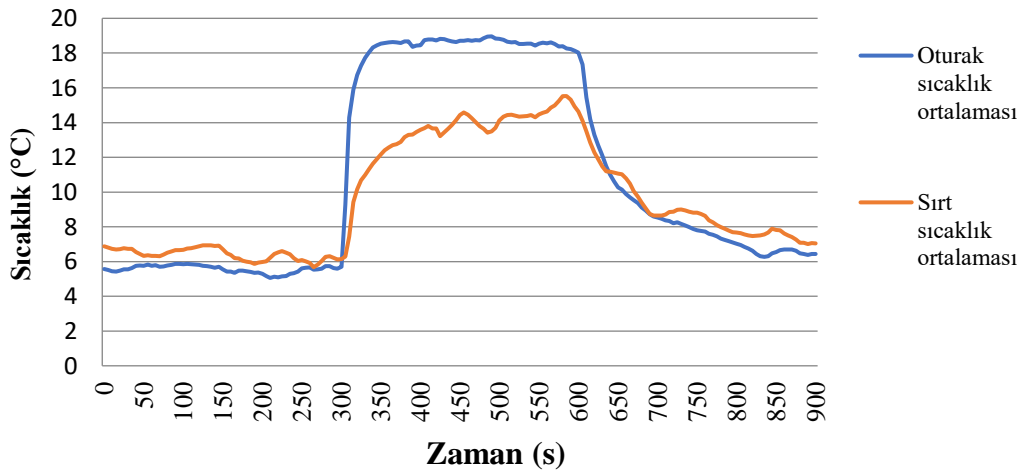


Şekil 14. 1100 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

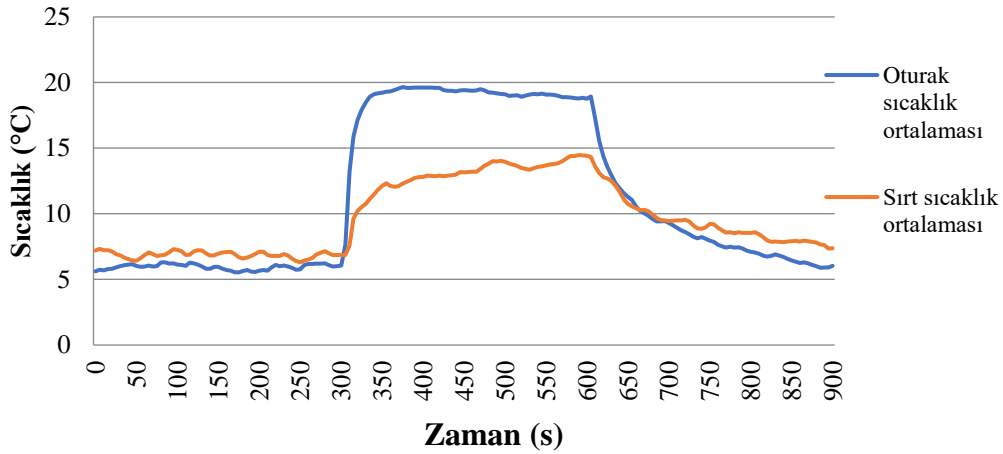


Şekil 15. 1200 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

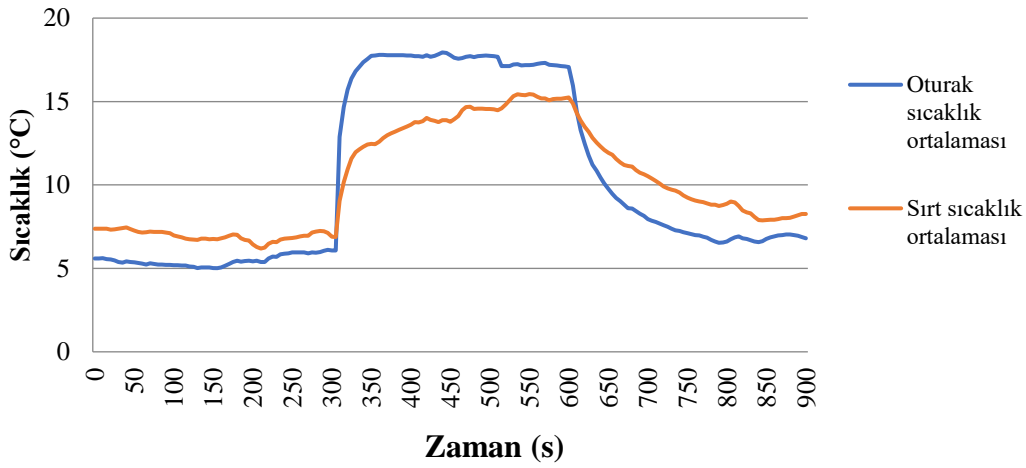
900 dev/dak ile 1200 dev/dak arasındaki dört grafik de (Şekil 12 - Şekil 15) aynı şekilde birbirlerine benzerlik göstermektedirler. Bu grafiklerde başlangıçta oturak ve sırt kısmı sıcaklıkları 6-7 °C civarında ve birbirlerine çok yakın değerdendirler. Aynı şekilde 600 saniyeden sonra sıcaklık değerleri tekrar 6-7 °C civarına inmektedir. Her dört grafikte de 300-600 saniye arasında sırt kısmı sıcaklığı 13-15 °C civarlarında iken oturak kısmı sıcaklıkları 20-22 °C civarlarında seyretmektedir.



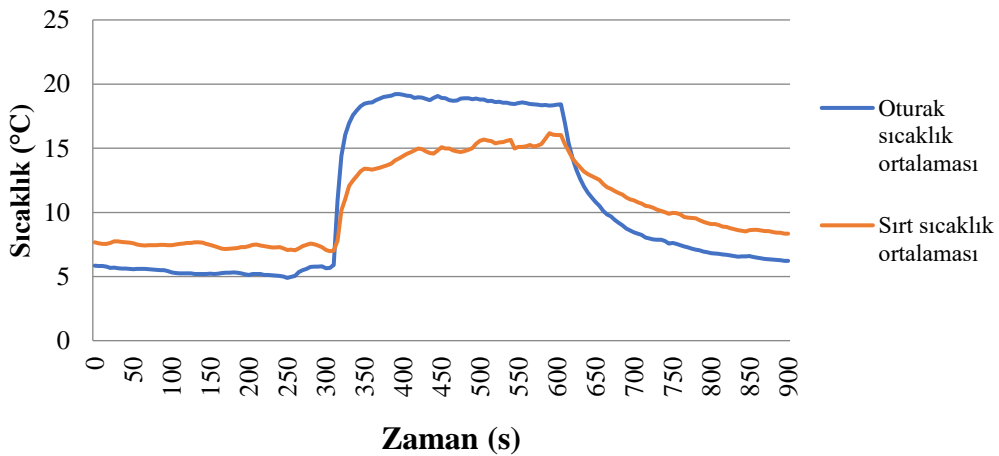
Şekil 16. 1300 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 17. 1400 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 18. 1500 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 19. 1600 dev/dak için soğutma prosesi sıcaklık-zaman grafiği

1300 dev/dak ile 1600 dev/dak arasındaki grafiklerde (Şekil 16 - Şekil 19) 300 saniyeye kadar olan kısımda oturma sıcaklıkları 5-6 °C civarında iken sırt kısmı sıcaklıkları 6-8 °C arasında seyretmektedir. 600 saniyeden sonra ise her iki kısmın sıcaklık değerlerinde başlangıca göre 1-2 °C'lik bir artış olduğu

gözlenmektedir. 300-600 saniyeler arasında ise sırt kısmı sıcaklığı ortalama olarak 15 °C civarında seyrederken oturak kısmı ortalama sıcaklığı biraz daha düşerek 18 °C civarına inmektedir. Buradan da devir sayısı arttıkça soğutma etkisinin daha çok arttığı sonucu çıkarılabilir. Koltuk kısmındaki oturak ve sırt kısmına ait evaporatörlerde sıcaklık değerlerinin bu denli düşmesi makul değildir. Bunun sebebi debisi daha yüksek soğutucu akışkanın daha kısa mesafeli serpantin borularını kat etmeleri ile izah edilebilir. Bu durumda soğutucu akışkan daha fazla buharlaşmaya fırsat bulamadan evaporatörü terk etmektedir. Ancak koltuk kısmına sevk edilen soğutucu akışkan debisinin düşürülmesiyle bu durum telafi edilebilir. Bizim deney düzeneğimizde ayar mekanizması olmadığı için bu yapılamamıştır. Diğer yandan 1400 dev/dak'dan sonra soğutucu akışkan debisinde kısmi bir azalma gözlenmektedir. Bunun sebebi yukarıda izah edildiği üzere kompresörün yüksek devrinden dolayı emme ve basma zamanlarının üst üste binmesi olarak yorumlanabilir. Her devir için ölçülen maksimum ve minimum oturak/sırt sıcaklık değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3.'de görüldüğü gibi oturak bölgesinde 900 dev/dk da en yüksek, 1600 dev/dk da en düşük sıcaklık ölçülmüştür. Sırt bölgesinde ise en yüksek sıcaklık 800 dev/dak için elde edilirken en düşük sıcaklık 1000 dev/dak 'da elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Her devir için ölçülen maksimum/minimum sıcaklıklar

Devir Sayısı (dev/dk)	OTURAK		SIRT	
	Ölçülen Maksimum Sıcaklık (°C)	Ölçülen Minimum Sıcaklık(°C)	Ölçülen Maksimum Sıcaklık (°C)	Ölçülen Minimum Sıcaklık(°C)
500	21.13	9.96	18.33	10.72
600	20.27	8.77	19.67	10.05
700	19.974	8.506	17.044	10.868
800	20.486	8.544	<b>21.84</b>	11.794
900	<b>21.59</b>	6.14	13.37	5.786
1000	20.828	5.136	14.636	<b>5.22</b>
1100	19.776	5.224	13.896	5.484
1200	20.076	5.354	13.734	5.688
1300	18.964	5.056	15.526	5.674
1400	19.656	5.538	14.476	6.308
1500	17.942	5.014	15.446	6.188
1600	19.22	<b>4.892</b>	16.174	6.976

## Sonuçlar

Soğutma prosesi grafiklerinde görüldüğü gibi koltuğa oturan kişi koltuğa kendi ısını vermektedir. Bu beklenen bir şeydir. Sağlıklı bir insan vücudunun sıcaklığı 35-37 °C arasında olduğundan oturma süresince gerçekleşen ısı transferi nedeniyle koltuğun sıcaklığı bir miktar artmaktadır. Verimi arttırmak için farklı özelliklerde soğutucu akışkan kullanılması düşünülebilir. Ancak bazı gazların tehlikeli yönleri



ya da yan etkileri olabileceği de göz ardı edilmemelidir. Deney ölçümlerinde, koltuğun oturak bölümünde en yüksek sıcaklık 900 dev/dk da ölçülürken en düşük oturak sıcaklığı 1600 dev/dak da ölçülmüştür. Koltuğun sırt bölümünde en yüksek sıcaklık değeri 800 dev/dak da ölçülmüş, en düşük sıcaklık değeri ise 1000 dev/dak da ölçülmüştür. Sıcaklığın çok fazla düşük olması ısıl konfor yönünden tercih edilmez. Çünkü insan vücudunun ısıl konforu belli bir sıcaklığın altında konforsuzluğa dönüşür. Ancak soğutucu akışkan debisi ayarlanarak bu problem ortadan kaldırılabilir. Bu çalışmada termostatik bir sıcaklık kontrol sistemi kullanılmadığından koltuk evaporatör kısmı sıcaklığı çok düşmüştür. Ancak bu durum, oturma süresi 5 dakika olan canlı mankeni ısıl konfor açısından aşırı etkilememiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa otomobil sürücü koltuğunun standart otomobil kliması ile soğutulmasının tatmin edici sonuçlar verdiği deneysel verilerden anlaşılmaktadır. Buna göre otomobil koltukları standart klima sistemiyle verimli ve ekonomik olarak soğutulabilir. Bu çalışma, deney düzeneği geliştirilerek daha ileri bir düzeye taşınabilir. Özellikle kütleli debi ve basınç düşüşü ölçümlerinde çok daha hassas cihazlar kullanılmalıdır. Ayrıca değişik soğutkanlar kullanılmak suretiyle değişik ve ilginç sonuçlar elde edilebilir. Örneğin hem soğutmanın hem de ısıtmanın etkili olabileceği yüksek ısı tutumu olan soğutucu akışkanlar denenebilir.

**Teşekkür -**

**Fon/Finansman Bilgileri** Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Fonu (BAP) tarafından desteklenmiştir. (Proje No.: 11401028)

**Etik Kurul Onayı ve İzinler** Çalışma, etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

**Çıkar Çatışmaları/Çatışan Çıkarlar -**

**Yazarların Katkısı** Yazar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

**Kaynaklar**

- [1] Bode, F., Burnete, N. V., Fehete Tutunaru, L., & Nastase, I. (2023). Improving electric vehicle range and thermal comfort through an innovative seat heating system. *Sustainability*, 15,(6) 5534. <https://doi.org/10.3390/su15065534>
- [2] Kipp, M., Rolle, A., & Bengler, K. (2021). An Innovative Seat Ventilation Concept: Does the Seat Provide Overall Thermal Comfort in Autonomous Vehicles? In: Black, N.L., Neumann, W.P., Noy, I. (eds) *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021), Lecture Notes in Networks and Systems*, 221, 701-709, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7\\_85](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_85)
- [3] Dehne, T., & Westhoff, A. (2020). Efficient Cooling of a Generic Car Cabin by Novel Ventilation Systems. In: Dillmann, A., Heller, G., Krämer, E., Wagner, C., Tropea, C., Jakirlić, S. (eds) *New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics XII. DGLR 2018. Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design*, 142, 416-426, Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-25253-3\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-25253-3_40)

- [4] Babalık, F. C., & Cengiz, T. G. (2009). Klimalı otomobil sürücü koltuğunda termal konfor üzerine deneysel bir çalışma. *Mühendis ve Makine*, 45, 539.
- [5] Babalık, F. C., & Cengiz, T. G. (2005, 26-28 Aralık). *Klimalı koltuklarda koltuk sürücü temas noktalarındaki ölçümlerle konfor araştırması*. 11. Ulusal Ergonomi Kongresi İTÜ, İstanbul, www.11uek.org.
- [6] Esen, D. Ö., & Hoşöz, M. (2006). R12 ve R134a Soğutucu akışkanları kullanan otomobil iklimlendirme sisteminin deneysel performans analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(4), 703-709.
- [7] Kılıç, M., & Akyol, Ş. M. (2009). Otomobil kabinlerinin ısıtılmasında farklı hava yönlendiricileri kullanılmasının ısı konfora etkisi. *Journal of Thermal Science and Technology*, 29(1), 25-36.
- [8] Yiğit, A., & Atmaca, İ. (2008, 12-14 Mayıs). *Isıl konfor PMV İndeksinin deneysel değişiminin incelenmesi ve ampirik sonuçlarla karşılaştırılması*. TTMD VIII. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, CD kayıt. <http://ttmd.org.tr/>
- [9] Solmaz, Ö. (2013). *Investigation of dynamic performance of a vehicle air-conditioning system driven by solar energy (PV)*. [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi].
- [10] Ünal, Ş., Yılmaz, T., Cihan., E., & Büyükalaca, O. (2013). Enjektörlü klima sisteminde soğutma etkinliğinin kütleli debi oranı ile değişimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 61-76.
- [11] Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen.
- [12] *ASHRAE handbook – Fundamentals, Chapter 8, (1989)*. Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning.
- [13] *ASHRAE handbook – Fundamentals, Chapter 8, (1993)*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers.
- [14] Solmaz, O., Ozgoren, M., & Aksoy M. H. (2014). Hourly cooling load prediction of a vehicle in the southern region of Turkey by Artificial Neural Network. *Energy Conversion and Management*, 82, 177-187 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.017>
- [15] Öngel, K., & Mergen, H. (2009) Isıl konfor parametrelerinin insan vücudundaki etkilerine yönelik literatür taraması. *Medical Journal of Suleyman Demirel University*, 16(1), 21-25.