

## **ELEKTRİKLİ KOMPRESÖRLÜ ISI POMPASI SİSTEMİ KULLANILARAK ELEKTRİKLİ MINİBÜSLERİN İKLİMLENDİRİLMESİ**

**Doç. Dr. Derya Burcu Özkan<sup>\*</sup>, Eray Tuğrul<sup>\*\*</sup>, Gizem Maviengin<sup>\*\*</sup>, Alper Arslan<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL  
<sup>\*\*</sup>HEXAGON STUDIO, KOCAELİ

### **ÖZET**

Minibüslerin tavanında bulunan klima sistemleri yaz şartlarında araç kabin içini soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Kış şartlarında ise radyatör sistemi ile ısıtma yapılmaktadır. Ancak elektrikli araçlarda radyatör sistemi ile ısıtma yapmak mümkün değildir. Bu çalışmada, elektrikli minibüslerde yaz ve kış sezonunda, araç kabin içinin ısı pompalı klima sistemi iklimlendirilmesine yönelik tasarım yapılmıştır. Çalışmanın teorik kısmında ısı pompalı klima sisteminin, yaz ve kış şartlarında çalışma durumlarına göre ısıtma soğutma yükleri hesaplanmış, farklı kondenzasyon ve evaporasyon sıcaklıklarında; kompresör gücü, performans katsayısı (COP) hesaplanmış, sonuçlar grafik olarak verilmiştir. Grafiklerden sistem ısı pompası olarak ısıtmaya çalışıldığında evaporasyon sıcaklığının artmasıyla, kompresör gücünün azaldığı ve COP'nin arttığı gözlemlenmiştir. Klima sistemi yaz ayında soğutma amaçlı çalışıldığında kondenzasyon sıcaklığının artmasıyla, kompresör gücünün arttığı ve COP'nin azaldığı görülmektedir. Klima sisteminin minibüse uygulama aşamasında, ısıtma durumunda evaporasyon sıcaklığı 5°C, soğutma durumunda kondenzasyon sıcaklığı 45°C olarak alınmıştır. Minibüs için tasarlanan ısı pompalı klima sistemi ısıtma ve soğutma durumu için test edilmiştir. Yapılan testte minibüs 44°C dış ortam şartlarında, 3600 saniye geçtikten sonra yaklaşık 25°C'de havayı kabin içine üfleemektedir. Isıtma testinde ise -14°C dış ortam şartlarında, 1800 saniye geçtikten sonra yaklaşık 23°C'de havayı kabin içine göndererek başarılı bir performans göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Taşıt Isı Pompası, Araçlarda Isıtma-Soğutma Sistemi

### **USING HEAT PUMP AIR CONDITIONING SYSTEM IN MINIBUSES**

#### **ABSTRACT**

Air conditioning systems on the roof of vans are used for cooling in summer conditions for the vehicle cabin. In winter conditions, radiator systems are used for heating. However, radiator systems cannot be used for heating in electric vehicles. In this study, the vehicle cabin air-conditioning system for electric minibus is designed using heat pump, to utilize both in summer and winter. As the theoretical component of the study, cooling loads for winter and summer conditions and coefficient of performance (COP) for different condensation and evaporation temperatures are calculated for the heat pump, and the results are presented. The results indicate that when heat pump is used for heating, compressor power is reduced and COP is increased as evaporation temperature increases. When heat pump is used for cooling, compressor power increases and COP decreases as condensation temperature increases. In the implementation phase of the air conditioning system, evaporation temperature is set to 5°C in heating and condensation temperature is set to 45°C in cooling. The air conditioning system that is designed for minivans and based on heat pump is tested for heating and cooling. The tests showed that under 44°C outside temperature, air with 25°C temperature is blown into the cabin after 3600 seconds. When the outside temperature is set to -14°C, air with 23°C temperature is blown into the cabin after 1800 seconds, and indicate successful design and implementation.

**Keywords:** Vehicle Heat Pump, Heating-Conditioning System in Vehicle

## 1. GİRİŞ

Isı pompaları sistemleri, ısıyı bir ortamdan başka bir ortama taşımaktadır. Tipik bir ısı pompası sistemi, kışın dışarıdan absorbe etmiş olduğu ısıyı, ısıtılacak mekâna taşıyarak ısıtmayı temin ederken, bu işlem yazın tersine işler ve aynı mekândaki ısı dışarıya taşınır. Isı pompalarında, klima sistemine ilave olarak dört yollu valf bulunmaktadır. Dört yollu valf elektrik kontrol ünitesinden gelen sinyallere göre akışın yönünü değiştirir, ısıtmayı ya da soğutmayı sağlamaktadır.

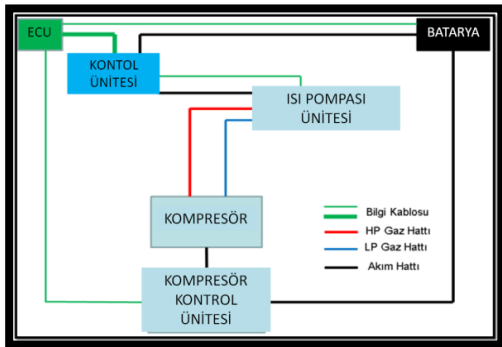
Isı pompası sisteminin elektrikli minibüslerde kullanımının sağlayacağı avantajlar ise;

- Isıtma ve soğutma aynı cihaz ünitesi üzerinden olacağı için ekstrasından ısıtıcılara gerek kalmayacaktır.
- Ekstra ısıtıcılar olmadığı için araç içinde faydalı hacim artacaktır.
- Dolaylı olarak taşıtın ağırlığının bir miktar azalmasında etkisi olacaktır.
- Motordan ilave su almadığı için sulu bir sisteme ihtiyaç duyulmayacaktır.

Bu çalışmada klima sisteminin yazın soğutma kışın ısıtma yapabilmesi için gerekli olan kapasite hesapları, optimum evaporasyon ve kondenzasyon sıcaklıkları belirlendi. Tasarlanan kapasitelere göre evaporatör, kondenser, kompresör ve yardımcı elemanlar temin edildi. Çalışmada elektrikli kompresörün taşıtlarda geleneksel yöntemlerin aksine ısı pompası kontrol ünitesinden değil, elektrik kontrol ünitesi (EKÜ) tarafından kontrol edilmesi hedeflendi.

EKÜ kullanımı ile,

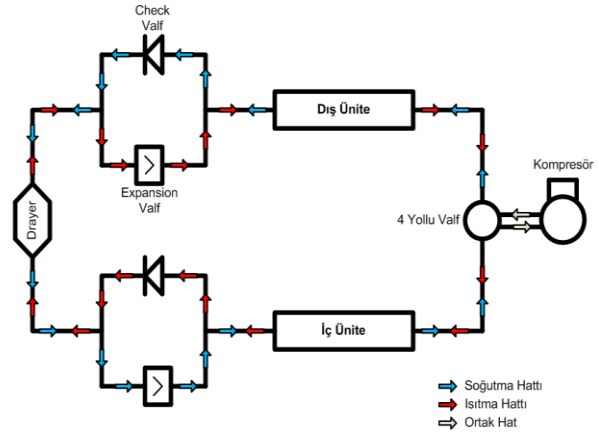
- Değişken devirli elektrik kompresörün kapasitesini güç yönetim önceliklerine göre kontrol edilmesi,
- Isı pompası ünitesi fanlarının üfleme hızlarının kontrol edilmesi,
- Emiş ve üfleme hava sıcaklıklarının işleme alınması konusunda güç yönetim önceliklerine göre kontrol edilerek enerji tüketiminin minimum seviyeye indirilmesi hedeflendi.



Şekil 1. Isı pompası sistem diyagramı

## 2. TASARIM ÇALIŞMALARI

Isı pompası sistemi yazılım, elektrik ve mekanik tasarımlardan oluşmuştur. Mekanik olarak ısı pompası çevrimi için elemanların ve sistemin diyagramı hazırlanmıştır. Isıtma ve soğutma olmak üzere iki yönlü çalışmayı sağlayan 4-yollu valf, EKÜ'den komut almaktadır.

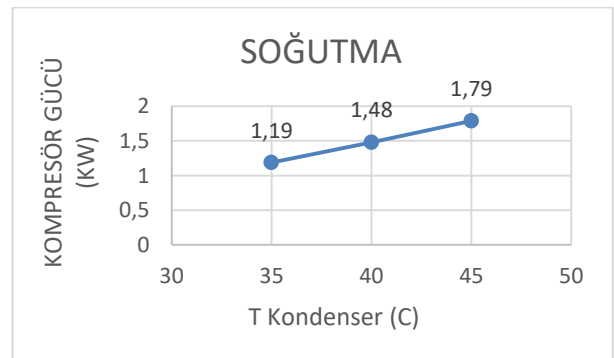


Şekil 2. Isı pompası ısıtma ve soğutma çevrimi

Klima sisteminin soğutma durumunda evaporasyon sıcaklığı 10°C, kondenzasyon sıcaklığı 35°C, 40°C ve 45°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık için kompresör gücü ve COP hesaplanmıştır. Evaporatör kapasitesi 10 kW olarak alınmıştır. Bu hesaplamalar Cool Pack programında yapılmıştır.

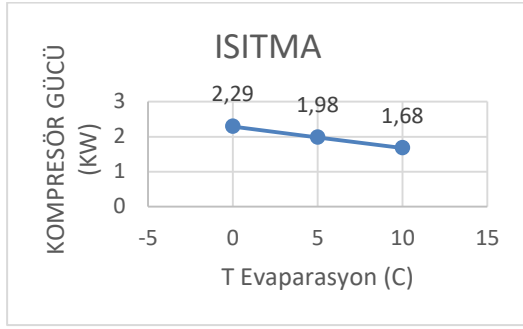
Isıtma durumunda, kondenzasyon sıcaklığı 45°C, evaporasyon sıcaklıkları 0°C, 5°C ve 10°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta kompresör gücü ve COP hesaplanmıştır. Isıtma kapasitesi 13 kW olarak alınmıştır.

Şekil 3'de soğutma durumunda kondenzasyon sıcaklığı arttıkça kompresör gücünün arttığı dolayısıyla elektrik tüketiminin arttığı görülmektedir.



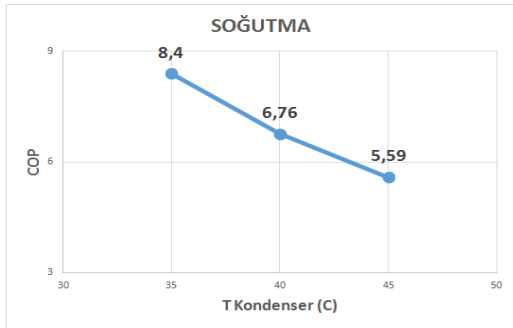
Şekil 3. Soğutma çevriminde farklı kondenzasyon sıcaklıklarında kompresör gücünün değişimi

Şekil 4'de ısıtma durumunda evaporasyon sıcaklığı arttıkça kompresör gücünün azaldığı anlaşılmaktadır.



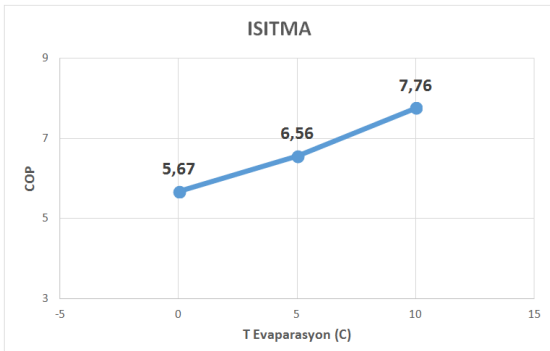
Şekil 4. Isıtma çevriminde farklı evaporasyon sıcaklıklarında kompresör gücünün değişimi

Şekil 5’de soğutma durumunda kondenzasyon sıcaklığı arttıkça COP değerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Soğutma çevriminde farklı evaporasyon sıcaklıklarında COP değişimi

Şekil 6’da ısıtma durumunda evaporasyon sıcaklığı arttıkça COP değerinde arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 6. Isıtma çevriminde farklı evaporasyon sıcaklıklarında COP değişimi

Bu hesaplamalar maksimum 4800 RPM devrindeki elektrikli kompresör baz alınarak yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarla, elektrikli minibüse tasarlanacak elektrikli kompresörlü ısı pompası sisteminin bataryadan çekeceği güç hesaplanmıştır. Bataryadan çekilen güce bağlı kalınarak elektrikli aracın menzilin istenilen hedefe ulaşabilmesi için batarya doluluk oranına (Tablo 1) göre elektrikli kompresörün devrinin algoritması çıkarılmıştır.

Bu algoritmaya göre ısı pompasını kontrol eden EKÜ’ye yazılım tanımlanmıştır.

Tablo 1. Elektrikli kompresör devrinin batarya doluluk oranına göre değişimi

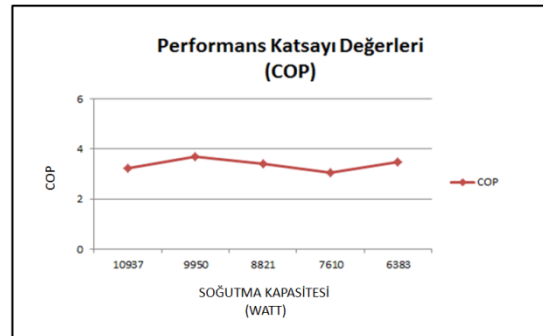
BATARYA DOLULUK ORANI	BATARYADAN ÇEKİLEN GÜÇ (Watt)	SOĞUTMA KAPASİTESİ (Watt)	RPM (BTU)
%100-%80	3396	10937	4800
%80-%65	2687	9950	4300
%65-%50	2578	8821	3800
%50-%35	2488	7610	3300
%35-%20	1835	6383	2800
%20-%0	OFF	OFF	OFF

Sistemin performans katsayısını belirlemek için tablodaki soğutma kapasiteleri elektrikli kompresörün kataloğundan alınmıştır. Bu soğutma kapasiteleri bataryadan çekilen güce oranlandığında sistemin performans katsayısı belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Sistemin soğutma kapasitesine göre bataryadan çekilen güç ve COP

BATARYADAN ÇEKİLEN GÜÇ (Watt)	SOĞUTMA KAPASİTESİ (Watt)	PERFORMANS KATSAYISI (COP)
3396	10937	3,23
2687	9950	3,70
2578	8821	3,42
2488	7610	3,06
1835	6383	3,48

Evaporatör kapasitelerine göre COP değerleri Şekil - 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Isı pompası sisteminin COP değerlerinin soğutma kapasitesine göre durumu

### 3. ISITMA-SOĞUTMA TEST KRİTERLERİ

Tasarımı tamamlanan ısı pompası sisteminin ısıtma ve soğutma performans testleri yapılmıştır. Isıtma ve soğutma testlerinde ayrı ayrı performans kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler;

1. Isıtma testi için;
  - Dış ortam sıcaklığı: -14°C ya da -9°C,

- İç ortam sıcaklığı:  $-14^{\circ}\text{C}$  ya da  $-9^{\circ}\text{C}$ ,
- Dış ortam sıcaklığı bu değerlere ayarlanır ve 5 dakika içinde en fazla  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişebilir.
- Test süresi 1800 saniyedir.
- Test süresi boyunca dış ortam sıcaklığı  $-14^{\circ}\text{C}$  alındıysa test başından test sonuna kadar değişen sıcaklık miktarı en az  $35^{\circ}\text{C}$ , dış ortam sıcaklığı  $-9^{\circ}\text{C}$  alındıysa değişen sıcaklık miktarı  $30^{\circ}\text{C}$  olmalıdır.

#### 2. Soğutma testi için;

- Dış ortam sıcaklığı  $+43^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,
- İç ortam sıcaklığı  $+43^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,
- Bağıl nem %25
- Dış ortam sıcaklığı bu değerlere ayarlanır ve 5 dakika içinde en fazla  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişebilir.
- Test süresi 3600 saniyedir.
- Test süresi boyunca ölçülen ilk sıcaklık ile son sıcaklık arasında değişen sıcaklık miktarı minimum  $12^{\circ}\text{C}$  olmalıdır.

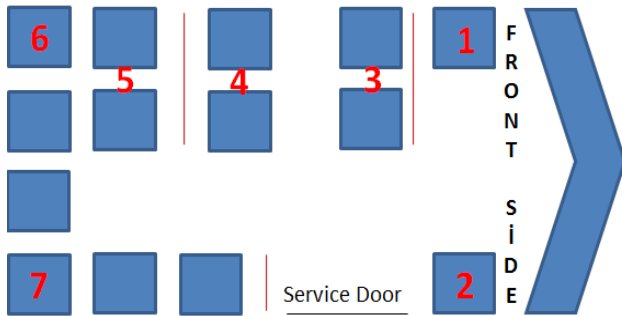
### 4. ISI POMPASI ISITMA-SOĞUTMA TESTİ

Elektrikli kompresörlü ısı pompası performans testlerinin yapılabilmesi için şartlandırılmış oda, veri alma cihazı ve T tipi termokupullar kullanılmıştır. Elektrikli minibüs şartlandırılmış odaya alınmadan önce enstrümantasyonları yapılmıştır. Kullanılan termokupullar ve bu termokupullara verilen numaralar Tablo 3'de verilmiştir.

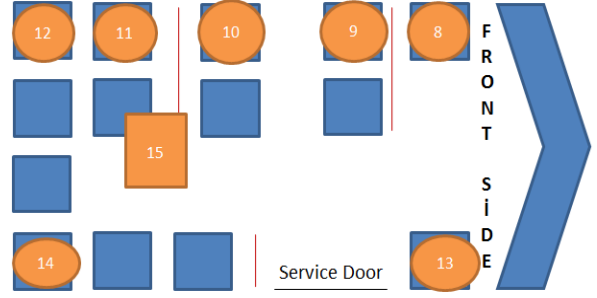
**Tablo 3.** Kullanılan 16 adet termokupul

1	Driver seat	9	Left Side-2nd blower
2	Front Right Passenger Seat	10	Left Side-4th blower
3	1st passenger seat	11	Left Side-6th blower
4	2nd passenger seat	12	Left Side-7th blower
5	3rd passenger seat	13	Right Side-1st blower
6	Rear bench-left	14	Right Side-6th blower
7	Rear bench-right	15	Air absorption
8	Left Side-1st blower	16	Ambient

Şekil 8 ve Şekil 9 da 16 adet termokupulun elektrikli minibüste bağlantı yerleri gösterilmektedir.



**Şekil 8.** Koltuk bölgesindeki termokupullar



**Şekil 9.** Hava çıkış bölgelerine konumlandırılmış termokupullar

#### 4.1 Isı Pompası Isıtma Performans Testi

Enstrümantasyonu yapılan elektrikli araç 1800 saniye boyunca şartlandırılmış odada test edilmiştir. Test süresince veri alma cihazı ile sıcaklık değerleri sürekli ölçülerek kaydedilmiştir. Tablo 4'de aracın teste başladığı ilk andaki sıcaklığı ( $T_1$ ), 1800 saniye sonundaki sıcaklığı ( $T_2$ ) ve bu iki sıcaklığın değişimi ( $\Delta T$ ) verilmiştir.

**Tablo 4.** Elektrikli kompresörlü ısı pompası ısıtma performans test sonuçları

			$T_2$	$T_1$	$\Delta T$	
SEATS	1	Driver Seat	-11,7	24,27	35,97	
	2	Front Right Seat	-11,53	23,95	35,48	
	3	1st pass	-12,34	23,70	36,04	
	4	2nd pass	-12,16	23,86	36,02	
	5	3rd pass	-13,25	23,62	36,87	
	6	Rear Left	-13,16	25,30	38,46	
	7	Rear Right	-12,98	24,22	37,2	
		Average	-12,45	24,13	36,58	
BLOWER	8	Left Side 1st	-13,82	25,62	39,44	
	9	Left Side 2nd	-13,57	24,18	37,75	
	10	Left Side 4th	-13,18	22,75	35,93	
	11	Left Side 6th	-12,86	22,15	35,01	
	12	Left Side 7th	-12,63	22,56	35,19	
	13	Right Side 1st	-13,26	23,29	36,55	
	14	Right Side 6th	-13,04	23,23	36,27	
	15	Air Absorption	-13,58	23,67	36,67	
			Average	-11,54	23,43	36,60
	Average Ambient			-14,23		

Elektrikli kompresörlü ısı pompası ısıtma performans testinde şartlandırılmış oda  $-14^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Isıtma test kriterlerine göre dış ortam sıcaklığı  $-14^{\circ}\text{C}$  iken 1800 saniye sonunda sıcaklık değerinin minimum  $35^{\circ}\text{C}$  artması hedeflenmektedir. Test sonuçlarına bakıldığında sıcaklıktaki ortalama artışın  $35^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde olduğunu yani yaklaşık  $23^{\circ}\text{C}$  ye ısıttığını ve ısıtma test kriterlerini sağladığı anlaşılmaktadır.

## 4.2 Isı Pompası Soğutma Performans Testi

Enstrümantasyonu yapılan elektrikli araç 3600 saniye boyunca, şartlandırılmış odada soğutma testine tabi tutulmuştur. Test süresince veri toplama cihazı ile sıcaklık değerleri sürekli ölçülerek kaydedilmiştir. Tablo 5’de aracın teste başladığı ilk andaki sıcaklığı ( $T_1$ ), 3600 saniye sonundaki sıcaklığı ( $T_2$ ) ve bu iki sıcaklığın değişimi ( $\Delta T$ ) verilmiştir.

**Tablo 5.** Elektrikli kompresörlü ısı pompası soğutma performans test sonuçları

			$T_2$	$T_1$	$\Delta T$
SEATS	1	Driver Seat	39,80	27,80	12
	2	Front Right Seat	40,70	27,75	12,95
	3	1st pass	38,83	26,42	12,41
	4	2nd pass	38,23	26,11	12,12
	5	3rd pass	39,14	25,73	13,41
	6	Rear Left	40,15	25,48	14,67
	7	Rear Right	39,61	25,03	14,58
		Average	39,49	26,33	13,16
BLOWER	8	Left Side 1st	41,75	20,54	21,21
	9	Left Side 2nd	41,05	20,16	20,89
	10	Left Side 4th	40,57	18,78	21,79
	11	Left Side 6th	36,94	16,72	20,22
	12	Left Side 7th	36,56	14,92	21,64
	13	Right Side 1st	41,27	18,75	22,52
	14	Right Side 6th	36,14	13,07	23,07
	15	Air Absorption	39,17	25,90	13,27
		Average	39,17	18,6	20,57
Average Ambient			44,17		

Elektrikli kompresörlü ısı pompası soğutma performans testinde şartlandırılmış oda  $44^\circ\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Soğutma test kriterlerine göre dış ortam  $44^\circ\text{C}$  iken 3600 saniye sonunda ortalama sıcaklık düşüşünün  $12^\circ\text{C}$ 'den fazla olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın yaklaşık  $25^\circ\text{C}$ 'ye kadar düştüğü görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Tubitak tarafından desteklenen bu çalışmada, elektrikli kompresörün ısıtma ve soğutma testleri verilen kriterler doğrultusunda başarı ile gerçekleştirilmiştir. Isı pompası ünitesinin tüm çalışmalarının yapıldıktan sonraki hali Şekil 10’da verilmiştir.

Ayrıca elektrikli aracın bataryasından yaklaşık  $3\text{kW}$ 'lık bir güç çekmesi, az güçle elektrikli kompresörlü ısı pompasının verimli iklimlendirme sağladığını göstermektedir.



**Şekil 10.** Isı pompası ünitesi son hali

Çalışmada ısı pompası ısıtma modunda çalıştığında dış ortam sıcaklığının artmasıyla,  $T_{\text{evap}}$  sıcaklığının artması sebebiyle COP'nin arttığı ve enerji tüketiminin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Isı pompası soğutma modunda çalıştığında dış ortam sıcaklığının artmasıyla kondenzasyon sıcaklığının arttığı ve bu durumun COP'yi azalttığı dolayısıyla enerji tüketimini arttırdığı sonucuna ulaşılmaktadır. Çalışmanın devamında, ısı pompalı araç klimalarında COP arttıracak, çevreye daha az zararlı R 134a ya alternatif soğutucu akışkanların kullanılması düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Araz M., Güngör A., Hepbaşlı A. (2013), “**Düşük Küresel Isınma Potansiyeline Sahip Soğutucu Akışkanların Soğutma Uygulamalarındaki Kullanımının Değerlendirilmesi**” 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Soğutma Teknolojileri Sempozyumu, s.575-604, İzmir
2. Direk M. (2004), “**Otomobil Isı Pompasının Deneysel ve Teorik Analizi**” Yüksek Lisans Bitirme Tezi
3. Hoşöz M., Direk M. (2005), “**Otomobil Isı Pompasının Deneysel Analizi**” Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:88, s.40-45
4. Özmen R. (2012), “**Taşıt Kliması Performansının Deneysel Araştırılması**” Yüksek Lisans Tezi