

## Farklı kompresör ve soğutucu akışkanı kullanılan bir otomobil klima sistemine evaporatör hava akım hızının etkisinin deneysel incelenmesi

Mehmet Sait İNAN<sup>2</sup>, Alpaslan ALKAN<sup>1\*</sup>,

<sup>1</sup> Lisansüstü Eğitim Enstitüsü/Makine Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

<sup>2</sup> Makine Mühendisliği Bölümü / Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

\*(aalkan@subu.edu.tr)

**Özet** – Bu çalışmada, değişken ve sabit kapasiteli kompresöre sahip bir otomobil klima sisteminde R134a ve R1234yf soğutucu akışkanın kullanımı farklı evaporatör hızlarına göre deneysel karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Deneysel otomobil klima sisteminde sabit ve değişken kapasiteli kompresörler, evaporatör, kondenser, sıvı tankı ve genişleme elemanından oluşmaktadır. Deneysel otomobil klima sisteminde deney koşulların elde edilmesi için elektronik ve bilgisayar destekli kontrol sistemleri ile deneysel verilerin alınıp toplanması için veri toplama sistemleri kullanılmıştır. Testler 1750 rpm devrinde kompresör devrinde, farklı kondenser ve evaporatör giriş hava akım sıcaklıkları ile farklı evaporatör hava akım hızlarında gerçekleştirildi. Elde edilen deneysel verilere enerji analizleri uygulanarak, sonuçlar karşılaştırmalı grafikler halinde sunulmuştur. Evaporatör hava akım hızının  $1 \text{ ms}^{-1}$ 'de  $3 \text{ ms}^{-1}$ 'ye artması ile otomobil klima sistemlerindeki soğutucu akışkanların kütsel debilerinin artmakta olduğu görülmüştür. R1234yf'li otomobil klima sisteminin kondenserde atılan ısı R134a'lı otomobil klima sistemine göre yaklaşık ortalama %2-3 az olduğu tespit edilmiştir. Evaporatör hava akım hızının  $1 \text{ ms}^{-1}$ 'de  $3 \text{ ms}^{-1}$ 'ye artması ile soğutma kapasitesinin değişken kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde yaklaşık ortalama %80-90, sabit kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde ise yaklaşık ortalama %40-50 arttığı gözlemlenmiştir. Yine evaporatör hava akım hızının  $1 \text{ ms}^{-1}$ 'de  $3 \text{ ms}^{-1}$ 'ye artması ile soğutma tesir katsayısının değişken kapasiteli kompresöre sahip otomobil klima sisteminde ortalama yaklaşık %5-30 arasında düşüş, sabit kapasiteli kompresöre sahip otomobil klima sisteminde ise ortalama yaklaşık %10-15 yükseliş olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Otomobil Klima, Kompresör, Değişken, R1234yf, R455A

### I. GİRİŞ

Dünyada enerji giderleri ve ücretleri, soğutucu akışkanlar olmak üzere birçok sektörde gelecek yıllarda stratejik öneme sahiptir. Yüksek gider ve ücretleri, sistem performanslarında küçük bir düzenleme ile önemli ölçüde tasarruflar sağlanabilmektedir. Buna sistem gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenecek sisteminin çevresel koşullara göre de düzenlenmesi gerekmektedir. Otomobil klima sisteminde kullanılan soğutucu akışkanlar hem maliyet olarak hem de çevresel olarak tarih boyunca değişimlere uğramıştır. Ozon tabakasına zararlı ve küresel ısınma potansiyeli yüksek olan soğutucu akışkanlar kademli olarak yasaklanmıştır [1,2]. Özellikle AB'nin f-gaz

yönetmeliği ile AB pazarına sunulan tüm yeni üretim araçların 2017'den sonra klima sistemlerinde küresel ısınma değeri (GWP) 150'nin üzerinde olan soğutucu akışkanların kullanımını kısıtladılar [3]. Başlarda otomobil klima sisteminde kullanılan soğutucu akışkanın R12 soğutucu akışkanın R134a soğutucu akışkanı ve en son R1234yf soğutucu akışkanı almıştır. R134a ya alternatif olarak bazı otomobil klima sisteminde karbondioksit (CO<sub>2</sub>) kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub>, R1234yf'ye göre doğal bir soğutucu akışkan ve yanıcılığı olmamasına rağmen aşırı yüksek basınçlarından dolayı R134a'lı sistemde kullanılmamaktadır. Yeni bir sistem oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu sistemde yüksek basınçtan dolayı kaçak sorunları, artan

ağırlık ve yüksek kompresör gücü değerlerine neden olur. Diğer taraftan, hidrofloroolefin (HFO) ailesinden geliştirilen hafif yanıcılığa sahip R1234yf soğutucu akışkanı R134a'ya en iyi alternatif olarak kabul edilmektedir. R1234yf soğutucu akışkanı yalnızca 4 GWP potansiyeline sahip olması ve R134a soğutucu akışkanına yakın sistem basıncı değerleri ile otomobil klima sistemlerinde kullanılması daha çok yaygındır [4].

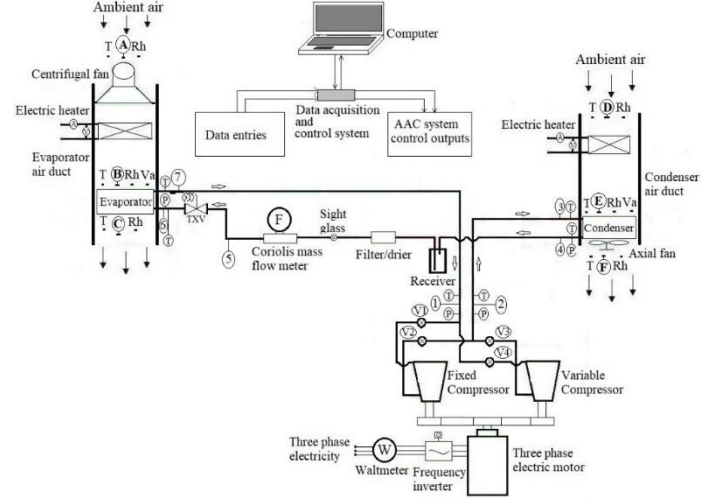
Minor ve Spatz [5], otomobilin klima sistemi komponentlerinden oluşan bir küçük ölçekli deney sisteminin performansını gerçekleştirmişler. Yohan Lee ve Dongsoo Jung [6] çalışmalarında, R1234yf ve R134a'nın performansını, deneysel bir otomobil klima sisteminde ısıtma ve soğutma performanslarını gerçekleştirmişler. Adrian Mota-Babiloni ve arkadaşları [7], R450 soğutucu akışkanının performansını R134a'nın yerine kullanımını araştırmışlar. Mahmoud Ghodbane [8] otomobil klima sisteminde R152a ve bazı hidrokarbon akışkanlar ile araştırma gerçekleştirmişler. Prof. Jignesh K. Vaghela [9], bir otomobil klima sisteminde R134a ve onun alternatif soğutucu akışkanlar üzerine karşılaştırmalı analizler gerçekleştirmişler. Zilio ve arkadaşları [10], orijinal otomotiv klima sistemine bir simülasyon gerçekleştirecek burada R1234yf soğutucu akışkanların performans sonuçlarını paylaşmışlar. A.mota-Babiloni vd. [11], R1234yf ve ailesinde olan soğutucu akışkanları ve R32 karışımları üzerine araştırmışlar gerçekleştirmişler. Gaurava ve Raj Kumarb [12] Otomobil iklimlendirme sisteminde R1234yf soğutucu akışkanların R134a yerine kullanımın teorik olarak araştırmışlar.

Bu çalışmada R134a ve R1234yf soğutucu akışkanlarının değişken ve sabit kapasiteli kompresör ile kullanımı performans belirli bir kompresör devrinde farklı evaporatör hava akım hızı ile kondenser ve kondenser hava akım sıcaklıklarına göre karşılaştırılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneysel çalışmaları yapıldığı otomobil klima sistemi Şekil 1'de görülmektedir. Otomobil klima sistemi soğutma çevrimi elemanlarından ve deney şartlarını oluşturan ekipmanlar ile deney datalarının alınması için veri toplama sisteminden oluşmaktadır. Deney sistemi bir masası ile kondenser ve evaporatör hava kanallarından oluşturulmuştur. Deneysel sisteminde soğutma çevrimi elemanları, kondenser, termostatik

genleşme valfi, evaporatör, sıvı tankı/filtre kurutucusu, çift kondenser fanı, evaporatör fanı, el vanaları ve değişken ile sabit kapasiteli kompresörlerden oluşmaktadır. Deneysel sisteminin soğutma çevrimi bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel sisteminin şematik görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel Sistemin şematik görünümü.

Tablo 1. Deneysel otomobil iklimlendirme cihazı soğutma çevrimi elemanları.

Çevrim Elemanı	Çevrim Elemanı Modeli
Genleşme elemanı	Termostatik genleşme valfi (içten dengeli)
Kondenser	Mikro kanallı paralel akımlı
Evaporatör	Lamine tip
Değişken kapasiteli kompresör	Sanden SD7V16
Sabit kapasiteli kompresör	7 silindirli 154,9 cc rev <sup>-1</sup>

Deneysel sistemde dolaşan soğutucu akışkan kütleli debisini ölçen coriolis tip kütleli akış sensörü Şekil 1'deki gibi soğutma çevrimini sıvı hattına yerleştirilmiştir. Yine Şekil 1'de görüldüğü üzere soğutucu akışkanların belirli noktalardan sıcaklık (T) ve basınç (P) değerlerinin alınması amacı ile sıcaklık ve basınç sensörleri yerleştirilmiştir. Deney sistemin evaporatör ve kondenser üzerinden geçen havanın hava akış hızı (V<sub>h</sub>) ve sıcaklık (T) ile bağlı nem (Rh) verilerin ölçülmesi için Şekil 1'de verilen noktalar hava akış ve sıcaklık ile bağlı nem sensörleri konulmuştur.

Elde edilen deneysel sonuçlara termodinamik analiz uygulanmıştır. Bu amaçla soğutma çevriminin belirli noktalarında sıcaklık verileri alınmıştır.

Kondenser ve evaporatör girişine yerleştirilen basınç sensörleri ile kondenser ve evaporatör basınçları ölçülmüştür. Evaporatör ve kondenserdeki basınç düşümleri ihmal edilmiştir. Değerleri bu elemanlarının giriş kısımlarından ölçülmüş ve sistemde olan basınç kaybı ihmal edilmiştir. Değişken ve sabit kapasiteli kompresörün basınç değerleri kompresör giriş ve çıkışından ölçülmüştür.

- Sistemin soğutma kapasitesi:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r(h_7 - h_6)$$

- Yoğuşturucudan çevreye atılan ısı miktarı:

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m}_r(h_3 - h_4)$$

- Kompresörün gücü:

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_r(h_2 - h_1)$$

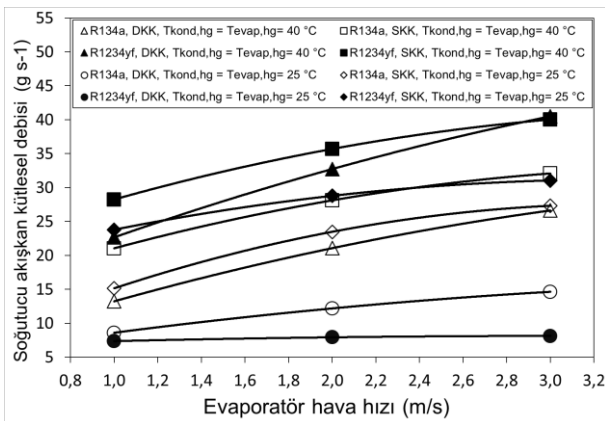
- Soğutma tesir katsayısı (STK):

$$STK = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp}}$$

denklemleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

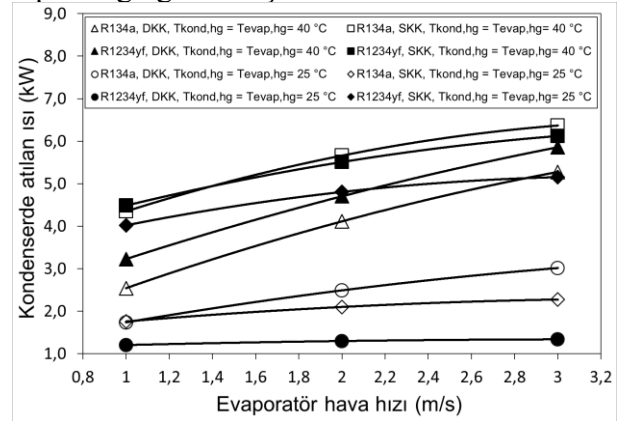
### III. BULGULAR

R134a ve R1234yf soğutucu akışkanı kullanılan deneysel otomobil klima sisteminde farklı iki kapasiteli kompresör kullanımına evaporatör hava akım hızının etkisi bu çalışmada incelenmiştir. Deneylerde, kompresör devri 1750 rpm, evaporatör hava akım hızları 1, 2, 3 ms<sup>-1</sup>, kondenser ve evaporatör hava akım giriş sıcaklıkları 40°C ve 25°C'ler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kondensere geçen hava akım hızı 3,4 ms<sup>-1</sup> olarak seçilmiştir.



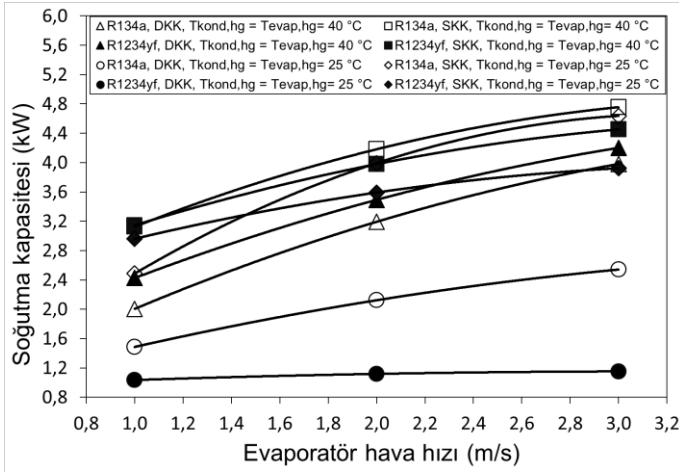
Şekil 2. Soğutucu akışkan kütleli debisinin evaporatör hava akım hızı ile değişimi.

Evaporatör hava akım hızına bağlı olarak soğutucu akışkan kütleli debisi değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Evaporatör hava akım artması ile soğutucu akışkanın kütleli debisi genel olarak artmakta olduğu görülmüştür. Evaporatör hava akım hızı artması sonucu soğutucu akışkan daha fazla ısı çekmekte ve buna bağlı olarak soğutucu akışkan buharlaşması artmaktadır. Bunun sonucu soğutucu akışkanların kütleli debileri artmaktadır. R1234yf soğutucu akışkanın yüksek kütleli debiye sahip olduğu görülmüştür.



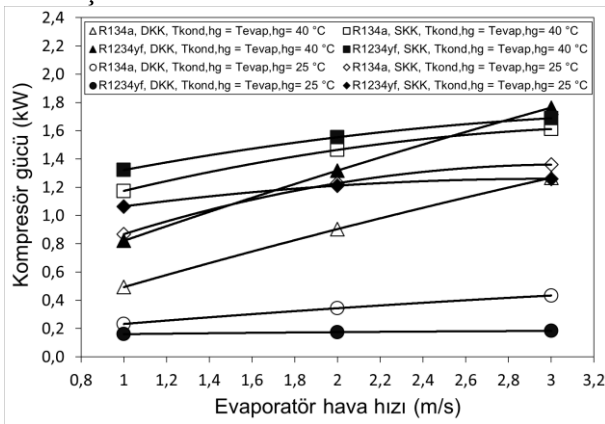
Şekil 3. Kondensere atılan ısının evaporatör hava akım hızı ile değişimi.

Kondensere atılan ısının evaporatör hava akımı hızı ile değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Evaporatör hava akım hızı artması ile genel olarak kondensere atılan ısının artmakta olduğu görülmüştür. Bu artma eğilimi 25 °C hava akımı giriş sıcaklıkları için yaklaşık ortalama %10 - %20 aralığında iken 40 °C hava akımı sıcaklıklarında ise %107'lere kadar çıktığı görülmüştür. Kondensere atılan ısının 5,45 kW ile en fazla evaporatör ve kondenser giriş hava akımı sıcaklığının 40°C olması durumunda R134a soğutucu akışkanlı sabit kapasiteli kompresörün kullanıldığı otomobil klima sisteminde görülmüştür. R1234yf'li otomobil klima sistemindeki kondensere atılan ısının R134a'lı otomobil klima sistemine göre yaklaşık ortalama %2-3 daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Soğutma kapasitesinin evaporatör hava akım hızına göre değişimi.

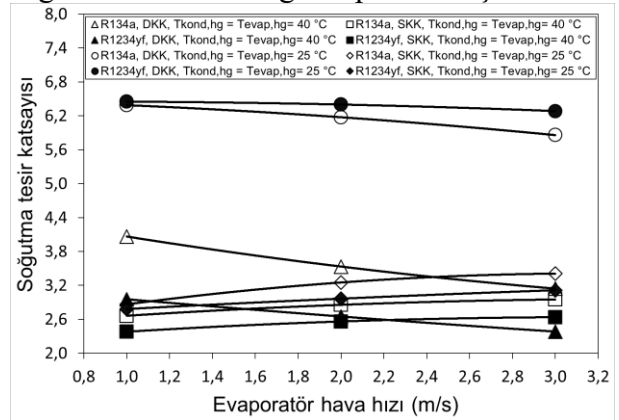
Soğutma kapasitesinin evaporatör hava akım hızı ile değişimi Şekil 4’de gösterilmiştir. Evaporatör ve kondenser hava akım sıcaklıkları 40 °C’de evaporatör hava akım hızının 1 ms<sup>-1</sup>’den 3 m/s’ye hıza ulaşması ile soğutma kapasitesinde değişken kapasiteli kompresöre sahip otomobil klima sisteminde yaklaşık %80-90 bir artış gösterirken, sabit kapasiteli kompresöre sahip otomobil klima sisteminde ise yaklaşık %40-50 artış olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Kompresör gücünün evaporatör hava akım hızına göre değişimi.

Kompresör gücünün evaporatör hava akım hızı ile göre Şekil 5’de gösterilmiştir. Evaporatör hava akım hızı 1 ms<sup>-1</sup>’den 3 ms<sup>-1</sup>’ye artmasıyla soğutucu akışkanların kütsel debilerinin artmasına bağlı olarak kompresör güçlerinin artmakta olduğu görülmektedir. Kompresör gücü evaporatör ve kondenser hava akım giriş sıcaklıklarının 40 °C olması durumunda 1,51 kW ile R1234yf’li sabit kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde olduğu görülmüştür. R1234yf’li sabit kapasiteli kompresör kullanılan sistemde ise kompresör gücünün 1,31 kW olduğu görülmüştür. R1234yf’li

otomobil klima sisteminin kompresör gücü R134a’lı otomobil klima sistemine göre her iki kompresör kullanımına bağlı olarak yaklaşık ortalama %4-50 aralığında daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Soğutma tesir katsayısının evaporatör hava akım hızına göre değişimi.

Soğutma tesir katsayısının evaporatör hava akım hızına bağlı olarak değişimi Şekil 6’da verilmiştir. Evaporatör hava akım hızının 1 ms<sup>-1</sup>’den 3 ms<sup>-1</sup>’ye artması sonucu avaporatör ve kondenser hava akım giriş sıcaklığı 40°C’de soğutma tesir katsayısının değişken kapasiteli kompresör kullanılan otomobil klimalarında %5-8 bir azalma olduğu, sabit kapasiteli kompresör kullanılan otomobil klima sistemlerinde ise %10 yükselme olduğu tespit edilmiştir. Evaporatör ve kondenser giriş hava akım sıcaklığının 25°C olmasında soğutma tesir katsayısının değişken kapasiteli kompresörlü otomobil klima sistemlerinde %25-30 düşüş olurken, sabit kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde %10-15 yükseliş olduğu görülmüştür.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, R1234yf ve R134a soğutucu akışkanların bir otomobil klima sisteminde kullanımı farklı evaporatör hava akım hızı ile kondenser ve evaporatör hava akım sıcaklıklarına bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel araştırma sonuçlarına termodinamik analizler uygulanarak karşılaştırmalı performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar maddeler halinde verilmiştir.

- Evaporatör hava akım hızının 1 ms<sup>-1</sup>’den 3 ms<sup>-1</sup>’ye artması sonucu otomobil klima sistemlerinde soğutucu akışkanın kütsel debilerin artmakta olduğu görülmüştür. R1234yf’li otomobil klima sisteminde en yüksek kütsel debiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

- R1234yf'li otomobil klima sistemindeki kondenserde atılan ısının R134a'lı otomobil klima sistemine göre yaklaşık ortalama %2-3 aralığında daha az olduğu görülmüştür.
  - Evaporatör ve kondenser hava akım giriş sıcaklığı 40 °C olması durumunda evaporatör hava akım hızı 1 ms<sup>-1</sup>'den 3 ms<sup>-1</sup>'ye çıkmasıyla soğutma kapasitesinin değişken kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde yaklaşık %80-90 yükseldiği, sabit kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde ise yaklaşık ortalama %40-50 aralığında yükselme tespit edilmiştir.
  - Değişken kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde R1234yf soğutucu akışkanı kullanılması durumunda kompresör gücünün R134a kullanılan otomobil klima sistemine göre yaklaşık ortalama %40-50 aralığında daha düşük, otomobil klima sisteminde sabit kapasiteli kompresör kullanılmasında ise %4-6 daha düşük olduğu görüldü.
  - Evaporatör hava akım hızının 1 ms<sup>-1</sup>'den 3 m/s<sup>-1</sup>'ye çıkarılması ile, soğutma tesir katsayısının değişken kapasiteli kompresörlü otomobil klima sisteminde %5-30 aralığında bir düşüş görülürken, sabit kapasiteli kompresöre sahip otomobil klima sisteminde yaklaşık ortalama %10-15 bir yükseliş olduğu görülmüştür.
- [6] Yohan Lee, Dongsoo Jung, A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications, Applied Thermal Engineering 35 (2012) Paper No. 240 – 242.
- [7] Adrian Mota-Babiloni, Joaquin Navarro-Esbrí, Angel Barragan-Cervera, Francisco Moles, Bernardo Peris, Experimental study of an R1234ze(E)/R134a mixture (R450A) as R134a replacement, international journal of refrigeration 51 ( 2015 ) Paper No 52-58.
- [8] Ghodbane M., 1999. An Investigation of R152a and Hydrocarbon Refrigerants in Mobile Air Conditioning, SAE International, SAE technical paper series, 1999-01-0874.
- [9] Prof. Jignesh K. Vaghela. Comparative evaluation of an automobile air - conditioning system using R134a and its alternative refrigerants, Energy Procedia 109 ( 2017 ) paper no. 153 – 160.
- [10] C. Zilio, S.S. Brown, and A. Cavallini, Simulation of R-1234yf Performance in a Typical Automotive System. In: Proceedings of the 3rd Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigeration, Boulder, CO, USA, 2009, Paper No. 128.
- [11] A. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, Á. Barragán-Cervera, et al., Analysis based on EU Regulation No 517/2014 of new HFC / HFO mixtures as alternatives of high GWP refrigerants in refrigeration and HVAC systems, Int. J. Refrig. 52 (2015) 21-31.
- [12] Gaurava ve Raj Kumarb “Sustainability of Alternative Material of R-134a in Mobile Air-conditioning System: A Review” Materials Today: Proceedings 4 (2017) 112–118.

## KAYNAKLAR

- [1] UNEP, Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. *Final Act*. United Nations, New York, 1987
- [2] Global Environmental Change Report GCRP, *A Brief Analysis Kyoto Protocol*, vol. IX, p. 24. 1997.
- [3] European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC), *European F-gas regulation (EU 517/2014)*, 2014.
- [4] Zhang Z, Wang J, Feng X, Chang L, Chen Y, Wang X. The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review. *Renew Sust Energ Rev*. 2018;91:443–63.
- [5] B. Minor, M. Spatz, HFO-1234yf low GWP Refrigerant Update. In: International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, West Lafayette, IN, USA, 2008, Paper No. 2349.