

## SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK OTOMOBİL İKLİMLENDİRME SİSTEMİNDE R444A KULLANIMINA KOMPRESÖR VE HAVA AKIŞ HIZLARININ ETKİSİ

**Mehmet DİREK<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-5868-6381)\***

**Fikret YÜKSEL<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-3670-4355)**

<sup>1</sup>Yalova Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova, Türkiye

*Geliş / Received: 13.11.2018*

*Kabul / Accepted: 26.02.2019*

### ÖZ

Bu çalışmada deneysel bir otomobil klima sisteminde R134a'nın alternatifi olarak düşük GWP (Küresel ısınma potansiyeli) değerine sahip R444a soğutucu akışkanı test edilmiştir. İç ünite hava akımı hızlarının değişiminin sistem performansına olan etkisi araştırılmıştır. Hava akımı hızlarını dikkate alarak sistemin etkin performans değerlerinin çıkarılması sağlanmıştır. R444a'nın araç iklimlendirme sistemlerine uygunluğu R134a ile karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır. R444a farklı soğutucu akışkanlardan oluşturulan bir karışımdır. R444a gibi farklı soğutucu akışkanlardan oluşan karışımlarda soğutucu akışkanların karışım içindeki yüzdeleriyle ilgili olarak performans parametreleri değerlendirilir. Çalışmalarımızda R444a'nın performansı bu bağlamda değerlendirilmiştir. Çalışmaların sonucunda hava akış hızı 1,4 m/s'den 4,4 m/s'ye çıkartıldığında ITK değeri yaklaşık % 10 arttığı gözlemlenmiştir. R444a'dan elde edilen ısıtma kapasitesi değerleri R134a'ya göre % 10 – % 12 oranında daha düşük olarak bulunmuştur. Bu değerler otomobil klima sistemleri için kabul edilebilir olarak değerlendirilmektedir. Çevresel faktörler düşünüldüğünde GWP değerinin belirtilen standartların altında olması açısından R444a'nın R134a'ya alternatif olarak otomobil klima sistemlerinde kullanılabilmesi görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** R444a, R1234ze(E), ısıtma kapasitesi, ısıtma tesir katsayısı

## THE EFFECT OF COMPRESSOR SPEED AND AIR FLOW RATE FOR THE USE OF R444A REFRIGERANT IN AUTOMOBILE AIR CONDITIONING SYSTEM

### ABSTRACT

In this study, R444a which has low GWP (Global warming potential) value was tested in an experimental automobile air conditioning system as an alternative to R134a. The effect of indoor unit air flow rates on system performance was investigated. Effective performance values of the system was obtained by taking into consideration the air flow rates. R444a and R134a were compared and the suitability of R444a for vehicle air conditioning systems was investigated. R444a is a mixture of different refrigerants. In the mixtures of different refrigerants such as R444a, performance parameters are evaluated depending on the percentage of refrigerants in the mixture. In our studies, the performance of R444a has been evaluated in this basis. As a result of these studies, when the air flow rate increased from 1.4 m/s to 4.4 m/s, it was observed that the COP increased by about 10%. These can be evaluated as acceptable values as for the automobile air conditioning system. The heating capacity obtained from R444a was found to be 10 - 12% lower than R134a. R444a can be used in the automobile air conditioning systems as an alternative to R134a when the environmental factors are considered.

**Keywords:** R444a, R1234ze(E), heating capacity, coefficient of performance

\* Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.:02268155386 ; e-mail :mehmet.direk@yalova.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kış koşullarında, sürüş emniyetinin sağlanması ve yolcuların termal konfor koşullarını sağlamak için, araç yolcu kabinin ideal sürelerde ısıtılması önemlidir. Mevcut şartlarda motor soğutma suyu ısısından yararlanarak bu şartlar sağlanmaktadır. Elektrikli ve hibrit araçlarda bu konfor şartlarının sağlanmasına motor soğutma suyunun yetersiz olması nedeniyle alternatif ısıtma sistemleri düşünülmektedir. Bu duruma çözüm olarak, araçlarda buhar sıkıştırımlı soğutma sistemine bir dört yollu valf eklenerek elde edilen ısı pompası sistemi kullanılabilir [1,2]. Son zamanlarda, ısı pompası sistemleri içten yanmalı veya elektrikli tahrikli araçlar için yolcu bölmesine ısıtılmak üzere araştırılmaktadır. Isı pompası elektrikli ve hibrit araçlarda enerji tüketimini azaltmak amacıyla da kullanılabilir. Elektrikli araçlarda ısınma amacıyla kullanılan rezistif tip elektrik ısıtma sistemleri yerine ısı pompası sistemi daha iyi enerji yönetimi sağladığı ifade edilmiştir Qi [3]. Elektrikli araçlarda dirençli tipte elektrik sistemi yerine ısı pompaları kullanıldığında, enerji tüketiminin % 52'ye kadar azaltılabildiği tespit edilmiştir [4].

Araç iklimlendirme sistemlerinde soğutucu akışkan olarak R134a kullanılmaktadır. Ancak, Avrupa Birliği tarafından 2022 yılından itibaren GWP değeri 150'nin üstünde olan akışkanların mobil iklimlendirme sistemlerinde kullanımına yasak getirilmiştir [5]. Bu kapsamda incelen gazlar içerisinde GWP değeri 150'nin altında olan R1234ze(E) fiziksel özellikleri ve çok düşük GWP değeri nedeniyle R134a için alternatif olabilir [6]. Bu akışkanlar arasında yer alan R1234ze(E)'nin GWP değeri 4 yanıcılık sınıfı ise A2L'dir [7]. Tablo 1'de görüldüğü gibi R134a ile karşılaştırıldığında R1234ze(E)'nin buhar yoğunluğu % 19, gizli ısı değeri % 7 daha düşüktür. Buda soğutma kapasitesinin R134a ile karşılaştırıldığında yaklaşık % 30 arasında daha düşük olmasına neden olmaktadır [6,8,9].

**Tablo 1.** Düşük GWP değerine sahip soğutucu akışkanların özellikleri [7]

Özellik	R134a	R152a	R444A	R1234ze(E)
ASHRAE Güvenlik sınıflandırması	A1	A2	A2L	A2L
ODP	0	0	0	0
GWP	1300	124	93	4
Kritik sıcaklık (K)	374,21	386,41	374,39	382,51
Kritik basınç (kPa)	4059,3	4516,8	4235,8	3634,9
Buhar yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) at 25°C	32,35	18,47	28,5	26,32
Sıvı yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> ) at 0°C	1294,8	959,11	1199,1	1240,1
Gizli buharlaşma ısısı (kJ/kg) at 25°C	177,78	279,36	180,5	166,92

Jankovic vd. [9] tarafından yapılan deneysel çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinde R134a'nın yerine doğrudan kullanıldığında R1234ze(E) soğutma performansının yaklaşık % 27 - % 30 oranında daha düşük olduğu ve COP'nin R134a'dan elde edilen COP değerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Mato-Babiloni vd. [10], tarafından yapılan benzer bir çalışmada R1234ze(E), R134a ile aynı soğutma performansını % 34 - % 39 daha yüksek kompresör hızlarında sağlamıştır. Mastrullo vd. [11] buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri için geliştirdikleri bir modelde R1234ze(E)'yi soğutucu akışkan olarak kullanmışlardır. R1234ze(E)'nin COP'sinin R134a'dan % 16 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Sistem performansının iyileştirilmesi için R1234ze(E), bazı soğutucu akışkanlar ile karıştırılarak kullanılabilir. Bu şekilde elde edilen ve içeriğinde %83 R1234ze(E) ihtiva eden R444a soğutucu akışkanı da R134a'nın diğer bir düşük GWP değeri olan alternatifidir. R444a'nın içeriğinde %83 R1234ze(E), %12 R32 ve %5 R152a bulunmaktadır. R444a'nın GWP değeri 93'tür, belirtilen yönetmelik değerlerinin uygundur. R444a'nın GWP değeri R134a'ya göre yaklaşık 14 kat daha düşüktür. Tablo 1 incelendiğinde R134a ile karşılaştırıldığında R444a'nın kritik sıcaklık değerinin (374,39 K) eşdeğer, kritik basınç değerinin ise (4059,3 kPa) çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca uluslararası standartlara [12] göre yanıcılık sınıfı kabul edilebilir seviyededir. Bundan dolayı R134a kullanılan buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinde doğrudan kullanılacak önemli bir alternatif soğutucu akışkan olduğu değerlendirilmektedir.

Yapılan teorik bir çalışmada buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde kullanıldığında R444a'dan elde edilen soğutma kapasitesinin R134a'ya göre daha düşük olduğu ancak COP değerinin daha yüksek olduğu

## SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK OTOMOBİL İKLİMLENDİRME SİSTEMİNDE R444A KULLANIMINA KOMPRESÖR VE HAVA AKIŞ HIZLARININ ETKİSİ

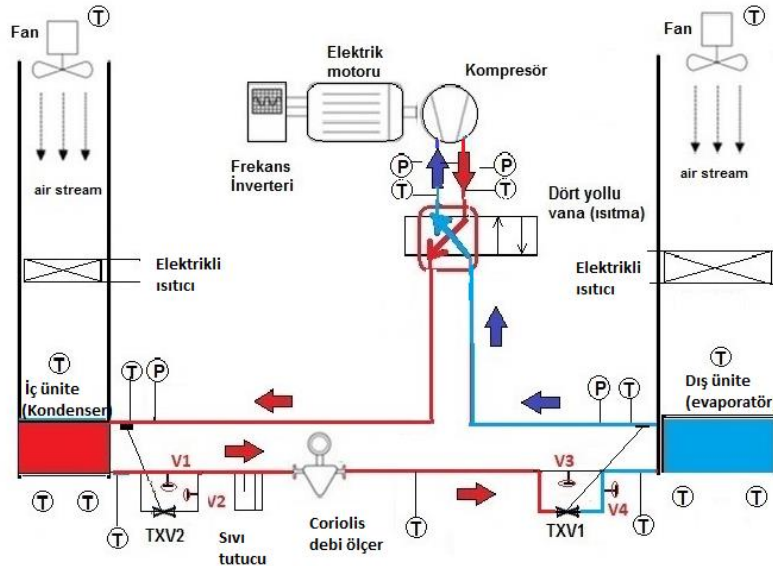
belirlenmiştir [13]. Lee vd. [14], R134a, R1234yf, R152a, R444a, ve R445a soğutucu akışkanlarını buhar sıkıştırılmalı bir soğutma sisteminde test etmişlerdir. Sonuç olarak en yüksek COP, sistemde R152a ile çalışıldığında elde edilmiştir. Majurin vd. [15] benzer olarak yaptıkları bir çalışmada R1234ze(E) ve R1234ze/R1234yf/R32 karışımlarının sistem uyumluluklarını test etmişlerdir. Cheng vd. [16] R32/ R1234ze(E) soğutucu akışkanlarını farklı konsantrasyonlarda kullanarak hava kaynaklı bir ısı pompası için yaptıkları numerik bir çalışma ile ısıtma ve soğutma kapasitesi değerlerinin iyileştiğini belirlemişlerdir.

Yukarıda bahsedilen soğutucu akışkanların çevreye verdiği zararların azaltılması amacıyla klima sistemlerinde alternatif akışkanların kullanılmaları zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada ısı pompasına dönüştürülen otomobil iklimlendirme sisteminde R134a'nın alternatifi olarak düşük GWP değerine sahip üç farklı soğutucu akışkanın karıştırılması ile elde edilen R444a'nın ısıtma durumunda testleri yapılmıştır. Hava akım hızlarını dikkate alarak sistemin etkin performans değerleri tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

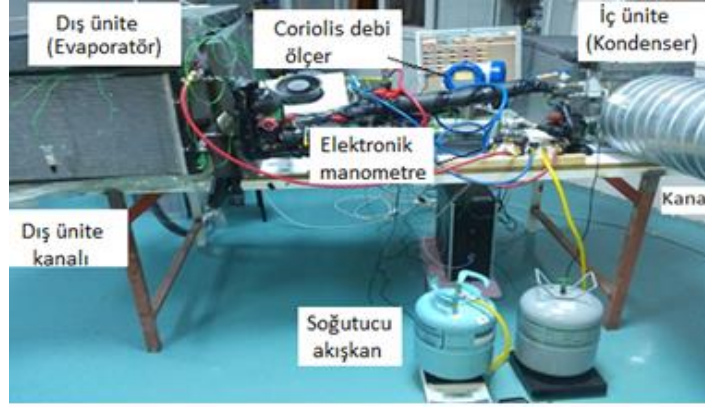
### 2.1. Deneysel Otomobil Isı Pompası Sistemi

Deneysel sistem klasik bir otomobil klima sistemi ekipmanlarından oluşturulmuştur. Sistemin ısıtma amaçlı kullanılabilmesi amacıyla dört yollu valf ve çeşitli vanalar eklenmiştir (Şekil 1). Isıtma durumunda dış ünite, ısı pompası sisteminin buharlaştırıcısı görevini yapmakta ve çevre havasından ısı çekmektedir. İç ünite ise kondenser görevi yaparak şartlandırılan hava akımına ısı aktararak soğutucu akışkanın yoğuşmasını sağlamaktadır. Isı pompası sisteminin ısıtma modunda çalışması durumunda soğutucu akışkan akımının izlediği yollar Şekil 1'de verilmektedir. Tablo 2'de sistemi oluşturan ekipmanların özellikleri incelenebilir. Isıtma durumunda kompresörden çıkan soğutucu akışkan kondenser olarak görev yapan iç üniteye gönderilmektedir. İç üniteye fan yardımıyla çevreden çekilen hava akımına kondenserdan verilen ısı sebebiyle soğutucu akışkan yoğuşur. Soğutucu akışkan kapalı konumda bulunan TXV2'yi by-pass eder (V1 açık V2 valfi kapalı konumdadır). Soğutucu akışkan sıvı tutucu ve kütleli debi ölçerden geçerek çalışır durumda olan TXV1'e gelmekte ve bu elemanda basıncı ve sıcaklığı düşürülerek, düşük basınçta sıvı-buhar karışımı olarak dış üniteye (evaporatöre) girmektedir (Bu durumda V3 kapalı V4 valfi ise açıktır). Dış üniteye ısı ile yüklü olarak çıkan soğutucu akışkan en son olarak kompresör girişine yönlendirilmekte ve çevrimini tamamlamaktadır (Şekil 1). Deneysel otomobil iklimlendirme sistemi ekipmanları, ölçüm cihazları ve soğutucu akışkan şarjını gösteren fotoğraf Şekil 2'de görülebilir.



Şekil 1. Deneysel ısı pompası sisteminin genel görünümü

M.DİREK, F. YÜKSEL



Şekil 2. Deneysel otomobil iklimlendirme sistemi, ölçüm cihazları ve soğutucu akışkan şarjını gösteren fotoğraf

Tablo 2. Deneysel sistemde kullanılan ekipmanların özellikleri

Ekipman	Özellikler
Kompresör	138 cc, Silindir sayısı: 5
Yoğuşturucu (iç ünite)	220 x 260 x 60 mm <sup>3</sup>
Buharlaştırıcı (dış ünite)	580 x 350 x 20 mm <sup>3</sup>
Kısılma Vanası	TXV (5,27 kW)

İç ve dış ünite kanalları içine istenilen hava akımı sıcaklıklarını sağlamak amacıyla elektrikli ısıtıcılar ve hava kanallarının girişine istenilen hava akımı hızlarını sağlamak için ayarlanabilir fanlar yerleştirilmiştir. Bağlantı elemanı olarak, buhar ve sıvı hattında bakır borular kullanılmıştır. Bağlantı elemanları çaplarına uygun yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır.

Sistemde dolaşan soğutucu akışkanın sıcaklıkları her bir bileşenin giriş ve çıkış noktalarından K tipi termokuplar kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılmıştır. Sistemde basınç ölçümü buharlaşma ve yoğuşma basıncı olmak üzere iki noktadan elektronik manifold ile yapılmıştır. Soğutucu akışkanın kütleli debisi Coriolis tipi debimetre ile ölçülmüştür. Soğutucu akışkanların fiziksel özellikleri ve entalpileri REFPROP 9.1 programından alınmıştır [7].

Tablo 3. Kullanılan Ölçüm Cihazlarının Özellikleri

Ölçülen değer	Ölçüm cihazı	Ölçüm aralığı	Doğruluk
Sıcaklık	K-tip termokupl	-100 - 1370 °C	± 0,8 °C
Basınç	Elektronik Manifold	-1 - 60 bar	± % 0,5
Hava akış oranı	Anemometre	0 - 30 ms <sup>-1</sup>	±% 2
Soğutucu akışkan debisi	Coriolis kütleli debi ölçer	0 - 5 kg s <sup>-1</sup>	±% 0,1
Güç	Pens ampermetre	0-600 kW	±% 2
Kompresör hızı	Frekans inverteri	10 - 50 Hz	±% 0,2

Deneysel çalışmada soğutucu akışkanların Tablo 1’de belirtilen sıvı haldeki yoğunluklarına bağlı olarak soğutucu akışkan yüklenmiştir. Deneylerde iç ve dış üniteye giren hava akımı sıcaklıkları belirlenen değerlerde sabit tutulmuştur. Kompresör devrinin değiştirildiği deneylerde ise devir 750 ve 2750 d/d arasında 500 d/d artışlarla değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneylerde çevresel ortam ile dengeli hale getirildikten sonra ölçümler alınmıştır. Çevrimin performansının ölçülmesinde kullanılan ana veriler sıcaklık, basınç ve kütleli debidir. Ölçüm cihazlarına ait ölçüm aralığı ve doğruluk değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

## 2.2 Termodinamik Analizi

Deneysel ısı pompası sisteminin ısıtma çevrimi olarak çalıştırılması durumunda kullanılan enerji denklemleri aşağıda verilmektedir. Sistemin ısıtma kapasitesi aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$\dot{Q}_{ısıtma} = \dot{m}_{soğ}(h_{iç\ ünite,giriş} - h_{iç\ ünite,çıkış}) \quad (1)$$

### SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK OTOMOBİL İKLİMLENDİRME SİSTEMİNDE R444A KULLANIMINA KOMPRESÖR VE HAVA AKIŞ HIZLARININ ETKİSİ

Kompresörün adyabatik olarak çalıştığı kabul edilirse, kompresörde soğutucu akışkana verilen güç olarak tanımlanabilecek kompresör gücü, aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$\dot{W}_{\text{komp}} = \dot{m}_{\text{soğ}}(h_{\text{komp,çıkış}} - h_{\text{komp,giriş}}) \quad (2)$$

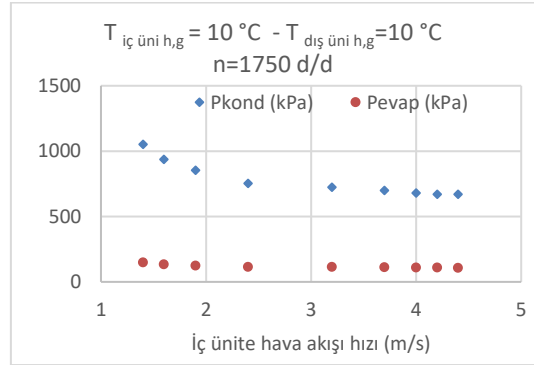
Enerji etkenliğinin bir göstergesi olan ısıtma tesir katsayısı ise, soğutma kapasitesinin kompresör gücüne oranlanması ile aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$\text{ITK} = \dot{Q}_{\text{ısıtma}}/\dot{W}_{\text{komp}} \quad (3)$$

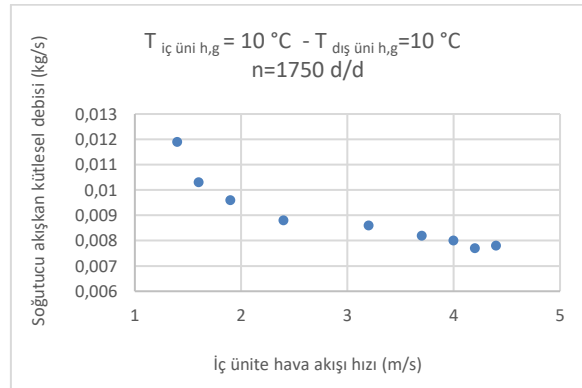
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3’de deneysel otomobil iklimlendirme sistemde soğutucu akışkan olarak R444a kullanılması durumunda iç üniteden (kondenser) geçen hava akımı hızlarına bağlı olarak sistem basınçlarının değişimi verilmektedir. Bu deneylerde iç ve dış üniteye giren hava akımı sıcaklıkları 10 °C’dir. Kompresör hızları ise 1750 d/d olarak ayarlanmıştır. Şekil 3 incelendiğinde 2,4 m/s’ye kadar kondenser basınçlarındaki azalma değerlerinin daha yüksek olduğu ancak bu değerden sonra azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Hava akımı ve soğutucu akışkan arasındaki sıcaklık farklarının azalmasına bağlı olarak hava akımı hızı artırıldığında kondenser basınçları azalmaktadır. Özellikle 2,4 m/s’nin altındaki hava akımı hızlarında kondenser basınçlarındaki azalma miktarı ve buna bağlı olarak soğutucu akışkandan ölçülen debi değerleri daha yüksektir.

Örneğin 1,4 m/s’de yoğuşma basıncı 1054 kpa, 2,4 m/s’de 753 kpa, 4,4 m/s’de ise 671 kPa olarak ölçülmüştür. Sonuçta, Şekil 3’de görüldüğü gibi 2,4 m/s’ye değerine kadar iç üniteye yoğuşma basıncındaki düşüş eğilimi daha fazladır. Söz konusu basınç değerlerinde, R444’a ait soğutucu akışkan kütleli debisi ve ısıtma kapasitesindeki değişim basınç değişimlerine paralel olarak gelişmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5).



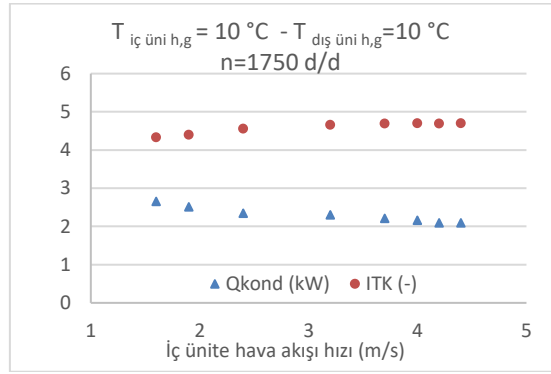
Şekil 3. İç üniteden geçen hava akımı hızlarına bağlı olarak kondenser ve evaporatör basınçlarının değişimi



Şekil 4. İç üniteden geçen hava akımı hızlarına bağlı olarak soğutucu akışkan debisinin değişimi

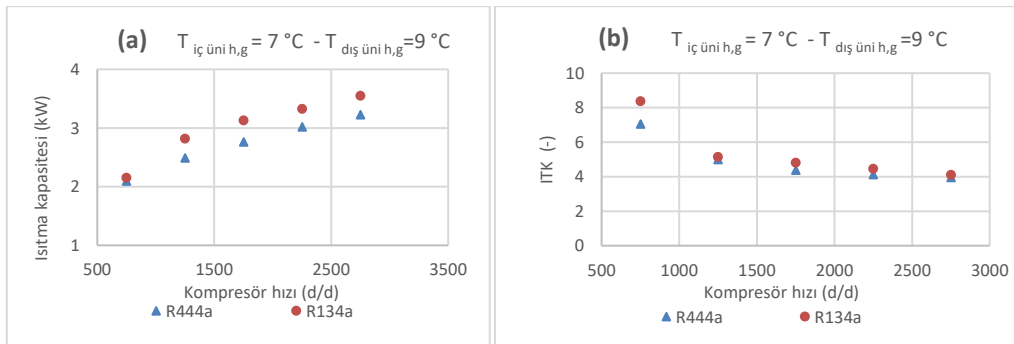
M.DİREK, F. YÜKSEL

Şekil 5’de deneysel otomobil iklimlendirme sistemde soğutucu akışkan olarak R444a kullanılması durumunda iç üniteden (kondenser) geçen hava akımı hızlarına bağlı olarak sistem ısıtma kapasitesi ve ITK değerlerinin değişimi verilmektedir. Şekil 5’de iç ünite hava akımı hızı 2,4 m/s üzerine çıktığında ısıtma kapasitesi üzerindeki etkisinin devam ettiği ancak azaldığı görülmektedir. Hava akım hızlarına bağlı olarak kondenserden geçen akışkan hızının enerji transferinde etkili olduğu düşünülmektedir. Kondenserdeki hava hızının değişimine bağlı olarak enerji transfer etme süresinin kısalmasıyla sistem içerisindeki soğutucu akışkanın yoğunluk ve basıncı düşmüştür. Hava akış hızı 1,4 m/s’den 4,4 m/s’ye çıkarken ITK değerinin yaklaşık % 10 arttığı görülmektedir. Hava akış hızının değişimine bağlı olarak soğutucu akışkanın sistem içerisinde kalma süresindeki değişim evaporatör ve kondenser performansını etkilemektedir. Kondenser yüzey alanı sabit olduğundan üzerinden geçen hava akımı ile 2,4 m/s hıza kadar etkin enerji transferi olmaktadır. 2,4 m/s’den yüksek hızlarda ısıtma kapasitesi üzerinde daha az etkin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak akışkanın temas ettiği kondenser yüzey alanında etkileşim süresinin kısalması nedeniyle enerji transferinin düşük değerlerde gerçekleşmesi olarak yorumlanmaktadır. Bir başka değerlendirme olarak soğutucu akışkan tarafında akışkan faz değişimini erken tamamladığı, kondenserin geri kalan kısmında ise sıvı fazda kaldığı değerlendirilmektedir. Bu iki değerlendirmenin hangisinin daha etkin olduğu bundan sonraki çalışmalarda değerlendirilecektir.



Şekil 5. İç üniteden geçen hava akımı hızlarına bağlı olarak ısıtma kapasitesi ve ITK'nın değişimi

Soğutucu akışkan performansı, buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde önemlidir ve soğutucu akışkanın faz değişim özelliği, sistem performans parametrelerini önemli ölçüde etkiler. Tablo 1’de R134a ile R444a’nın gizli buharlaşma ısısı değerleri incelendiğinde birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca, R134a ile karşılaştırıldığında R444a’nın buhar yoğunluğu yaklaşık olarak % 11,5 daha düşüktür, buda kütleli debisinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Deneylede R444a’dan elde edilen ısıtma kapasitesi değerleri R134a’ya göre %10 – %12 oranlarında daha düşük gerçekleşmiştir. Örneğin 1750 d/d’da R134a’nın ısıtma kapasitesi 3,12 kW iken R444a’nın değeri 2,76 kW’dır (Şekil 6a). R444a’nın % 85’ini kütleli olarak R1234ze(E)’den oluşmaktadır. R1234ze(E)’nin buhar yoğunluğu ve gizli ısı değerleri, R134a’ya göre % 19 ve % 7 daha düşüktür [7]. R444a aynı zamanda içeriğinde % 5 oranında R152a soğutucu akışkanı içermektedir. Birim miktar R152a’nın doymuş sıvı ve doymuş buhar entalpileri arasındaki fark diğer soğutucu akışkanlardan daha fazla olduğundan karışım halindeki akışkanın birim miktarının buharlaştırılması halinde daha fazla gizli enerji transferi gerçekleşir. R444a’nın kompresörde soğutucu akışkana verilen güç değerlerine bağlı olarak her iki akışkandan elde edilen ITK değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 6b).



Şekil 6. Kompresör hızlarına bağlı olarak (a) ısıtma kapasitesi ve (b) ITK değerinin değişimi

## SOĞUTUCU AKIŞKAN OLARAK OTOMOBİL İKLİMLENDİRME SİSTEMİNDE R444A KULLANIMINA KOMPRESÖR VE HAVA AKIŞ HIZLARININ ETKİSİ

Kompresör devrinin 750 d/d olması durumunda elde edilen ısıtma kapasitesi değeri 2 kW civarındadır. Kompresör devri arttığında ise ısıtma kapasitesi değerleri yükselmektedir. İki soğutucu akışkan arasında yaklaşık 0,5 kW'lık fark olması sistem performansı açısından büyük olumsuzluk oluşturmamaktadır. R444a için kullanılan iç ünitenin (kondenser) boyutlandırılması yapılarak elde edilen performans değerlerinin iyileşeceği düşünülmektedir. Ancak bu sistemde değişiklik gerektirdiği için bu çalışmada ele alınmamıştır. ITK düşük devirlerde R444a ile R134a arasında farklılık gösterirken yüksek devirlerde birbirine yakın değerler vermektedir. Mobil sistemlerde devir sayısı olarak 1000 d/d'nın üzeri devirler daha fazla kullanıldığı için iki akışkanın benzer özellikler göstermesi test edilen R444a için olumlu bir sonuçtur.

## 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ısı pompası olarak çalıştırılan bir otomobil klima sisteminde R134a'nın alternatifi olarak düşük GWP değerine sahip R444a'nın kullanımı deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Şekil 3,4 ve 5'te R444a ile çalışan sistemin kondenser ve evaporatörün çalışma şartları, bu çalışma şartlarında akışkan debisi ve ısıtma kapasitesi ile ITK değerleri ön plana çıkarılmıştır. İç üniteden geçen hava akımı hızlarının 2,4 m/s üzerindeki değerlerinde hava akış şartlarının ısıtma kapasitesi üzerindeki etkisinin azaldığı belirlenmiştir. Hava akım hızlarına bağlı olarak kondenserden geçen akışkan hızının enerji transferinde etkili olduğu görülmüştür. Hava akış hızı 1,4 m/s'den 4,4 m/s'ye çıkarken ITK değeri yaklaşık % 10 artmıştır. R444a'dan elde edilen ısıtma kapasitesi değerleri R134a'ya göre % 10 – % 12 oranında daha düşük olmasına rağmen, Avrupa Birliği'nin direktiflerine uygun olduğundan otomobil iklimlendirme sistemlerinde soğutucu akışkan olarak kullanılabilmesi değerlendirilmektedir. R444a veya benzeri soğutucu akışkanların ısı pompası sistemi ile kullanımı elektrikli ve hibrit araçlar için (soğutma suyunun kullanılmaması veya yetersiz kalması) daha da önemlidir. R444a farklı soğutucu akışkanların karışımı ile oluşturulmasından dolayı faz ayrışması veya belirgin bir soğutucu akışkanın diğerlerinden ayrışmasının gerçekleşip gerçekleşmediği konuları çalışılmalıdır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Tarafından Desteklenmiştir. Proje Numarası: 216M437.

## KAYNAKLAR

- [1] HOSOZ M., DİREK M., YIGIT K. S., CANAKCI M., TURKCAN A., ALPTEKİN E., SANLI A., “Performance evaluation of an R134a automotive heat pump system for various heat sources in comparison with baseline heating system”, Applied Thermal Engineering, 78, 419-427, 2015.
- [2] HOSOZ, M., DİREK M. “Performance evaluation of an integrated automotive air conditioning and heat pump system”, Energy Conversion Management, 47, 545-559, 2006.
- [3] QI Z., “Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles”. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38, 754–764, 2014.
- [4] SARA, B., LEO G. G., MANNO M., SALVATORI, M., AND ZACCAGNINI A., “Reversible Heat Pump HVAC System with Regenerative Heat Exchanger for Electric Vehicles: Analysis of Its Impact on Driving Range”, Applied Thermal Engineering, 129, 290–305, 2018.
- [5] European Parliament and of the Council, “Regulation 2014/517/EU”, Official Journal of the European Union: Fluorinated Greenhouse Gases, Strasbourg, EU. 2014.
- [6] DİREK, M., SOYLU, E., “The Effect of Internal Heat Exchanger Using R1234ze(E) as an Alternative Refrigerant in a Mobile Air-Conditioning System”, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 64 (2), 114-120, 2018.
- [7] LEMMON, E.W., HUBER, M.L., MCLINDEN, M.O., “NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP. 9.1”, National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO, USA. 2013.
- [8] LEIGHTON, D., HWANG, Y., RADERMACHER, R. “Modeling of household refrigerator performance with low global warming potential alternative refrigerants”, ASHRAE, 118, 658, 2012.

*M.DİREK, F. YÜKSEL*

- [9] JANKOVIĆ, Z., ATIENZA, J. S., SUÁREZ, J. A. M., “Thermodynamic and heat transfer analyses for R1234yf and R1234ze (E) as drop-in replacements for R134a in a small power refrigerating system”, *Applied Thermal Engineering*, 80, 42-54, 2015.
- [10] MOTA-BABILONI, A., NAVARRO-ESBRÍ, J., MENDOZA-MIRANDA, J. M., PERIS, B., “Experimental evaluation of system modifications to increase R1234ze(E) cooling capacity”, *Applied Thermal Engineering*, 111, 786-792, 2017.
- [11] MASTRULLO, R., MAURO, A.W., VELLUCCI, C., “Refrigerant alternatives for high speed train A/C systems: energy savings and environmental emissions evaluation under variable ambient conditions”, *Energy Procedia*, 101, 280-287, 2016.
- [12] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Standard 34 Designation and Safety Classification of Refrigerants, ASHRAE, 2013.
- [13] DEVECİOĞLU, A. G., ORUÇ, V., “An analysis on the comparison of low-GWP refrigerants to alternatively use in mobile air-conditioning systems”, *Thermal Science and Engineering Progress*, 1, 1–5, 2017.
- [14] LEE H., HWANG Y., SONG I., JANG K., “Transient thermal model of passenger car's cabin and implementation to saturation cycle with alternative working fluids”, *Energy*, 90, 1859-1868, 2015.
- [15] MAJURIN, J., STAATS, S.J., SORENSON, E., GILLES, W., “Material compatibility of HVAC&R system materials with low global warming potential refrigerants”, *Science and Technology for the Built Environment*, 21, 491-501, 2015.
- [16] CHENG Z., WANG B., SHI W., LI X., “Numerical research on R32/R1234ze(E) air source heat pump under variable mass concentration”, *international journal of refrigeration*, 82, 1-10, 2017.