



Soğutucu Akışkan Performanslarının Farklı Kriterlere Göre Karşılaştırılması

Comparison of Refrigerant Performance According to Different Criteria

Aybike YÜKSEL KOÇ¹ , Ayşegül BAHADIROĞLU² , Buse Nur ATAY³ , Ümit ÜNVER^{4,*} 

¹ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-6470-4996

² Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-2874-0855

³ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-4848-197X

⁴ Makine Mühendisliği, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-6968-6181

Derleme Makale

Gönderilme Tarihi : 12/12/2020

Kabul Tarihi : 02/03/2021

Anahtar Kelimeler

COP

GWP

Isı Pompası

ODP

Soğutma Makinesi

Soğutucu Akışkan

Özet

Isı pompaları günümüzün en önemli iklimlendirme sistemlerinden biridir. Her ısı pompası için kullanım amacına ve ortama uygun fiziksel ve kimyasal özellikte soğutucu akışkan seçilir. Bu makalede, soğutma makineleri ve soğutucu akışkanlar üzerinde çalışan bilim insanları için alternatif akışkan önermek üzere, referans alabileceği bir çalışma ortaya koymak amaçlanmıştır. Çalışmada farklı ortam ve amaçlarda kullanılmış soğutucu akışkanlar incelenmiş, Ozon Tabakası Delme Potansiyeli, Küresel Isınma Potansiyeli, Performans Katsayısı ve ekserji verimine göre soğutucu akışkanlar üzerinde yapılan çalışmalar derlenmiştir. Bu araştırma ile birlikte Ozon Tabakası Delme Potansiyeli ve Küresel Isınma Potansiyeli değeri yüksek bazı soğutucu akışkanlara çok yakın performanslar gösteren, R290, R600 gibi daha çevre dostu alternatif akışkanlar olduğu tespit edilmiştir.

Review Paper

Received Date : 12/12/2020

Accepted Date : 02/03/2021

Keywords

COP

GWP

Heta Pump

ODP

Cooling

Refrigerant

Abstract

Nowadays, heat pumps are the most important air conditioning system. A suitable physical and chemical refrigerant is selected according to its intended use and environment for each heat pump. In this study, refrigerants used in different environments and purposes are brought together. All studies on refrigerants are gathered with the consideration of ODP, GWP, COP and exergy efficiency. As a result of this research, more environmental friendly alternative refrigerants have been found, which perform as good as other competitors with the advancement of greater ODP and GWP values. It is aimed to present a study in which people working on refrigeration machines and refrigerants can take reference in terms of need for alternative refrigerants.

1. Giriş

Isı pompası, bir ortamdaki ısıyı diğer ortama düşük maliyetle ileten elektrikle çalışan bir makinedir. Isı pompalarında kullanılan başlıca ısı kaynakları: hava, su ve topraktır. Bunlar tek başlarına çalışabildikleri gibi yardımcı kaynak olarak güneşi enerjisini de kullanabilirler. Soğutma makineleri ters çalışan ısı pompalarıdır.

1.1. Hava Kaynaklı Isı Pompası

Isı transferini hava-mahal arasında gerçekleştirir. Bu çeşit ısı pompalarının, büyük sıcaklık değişimleri ve buzlanma olmak üzere iki büyük dezavantajı bulunmaktadır [1-2].

1.2. Su Kaynaklı Isı Pompası

Yer altı ve yer üstü olmak üzere iki çeşidi vardır [1-3]. Yer altı; ısı kaynağının sıcaklık değişiminin az olması nedeniyle performans katsayısı yüksek bir kaynaktır [2-3].

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): umit.unver@yalova.edu.tr



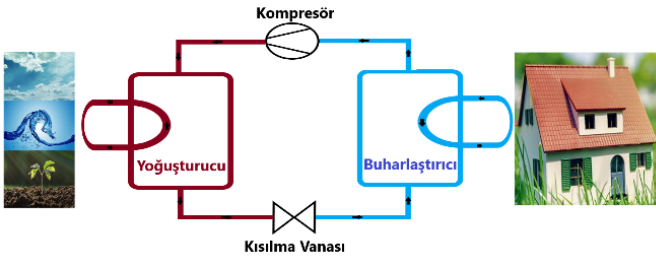
Yer üstü; hava kaynağından daha avantajlı, yer altı su kaynağından daha dezavantajlı bir kaynaktır [2-4].

1.3. Toprak

Yıl boyunca sıcaklık değişimi az olduğu için su kaynağında olduğu gibi performans katsayısı yüksektir [5]. Performansı toprak tipine göre değişebilir [6]. 2 tip toprak kaynaklı ısı pompası vardır.

Yatay tip; geniş bir arazi üzerine kurulur. Isı transfer alanı daha fazla olduğundan dikey tipten daha verimlidir [5].

Dikey tip; kısıtlı arazilerde kullanılır. Toprak sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark, derinlere inildikçe yazın da kışın da artar, bu nedenle yatay tipe göre daha az boru ihtiyacı olur [1 - 5].



Şekil 1. Soğutma Makinesi Çevrim Şeması

Şekil 1'de de görüldüğü üzere soğutma makinesi ısı kaynağından ısıyı alır kısıtlama vanası yardımı ile akışkan basıncı düşürülür. Buharlaştırıcıda soğutulmak istenen ortamdan ısı çekilir ve akışkan buharlaşır. Kompresörde akışkan basıncı tekrar arttırılır. Yoğuşturucuda ise buharlaşan akışkan kaynağa ısı vererek tekrar sıvı hale geçer ve çevrim tekrarlanır.

Nüfusun ve yaşam standartlarının hızlı artışı, iklimlendirme ve soğutma sistemlerine verilen önemi her geçen gün arttırmaktadır [7]. Dünyada olduğu gibi, Isı pompası uygulamalarının geleceği, Türkiye'de de 4 mevsim verimli ısıtma ve soğutma yapmak için çok açıktır [1]. Isı pompalarında akışkan seçimi yapılacak uygulamaya göre belirlenir. Ancak zaman içerisinde bu seçimi çevresel etkiler ve endişeler de etkilemeye başlamıştır. Soğutma sistemlerinde kullanılan akışkanların ozon tabakasına zarar verdiğinin gözlemlenmesi sonucu, ozon delme potansiyeli (ODP) tanımlanmış ve soğutma sistemlerinde ODP değeri daha düşük olan soğutucu akışkanlar üzerinde çalışmalar arttırılmıştır. Klor ve brom miktarının atmosferde artması ozon tabakasında incelmeye neden olan en önemli sebeptir [8]. Bu zararlı etkisi nedeniyle çevre grupları ve Montreal Protokolünde, Kloroflorokarbonların (CFC) üretimini durdurmak için çağrı yapılmıştır. Bu nedenle, klor bazlı akışkanlara alternatif soğutucu akışkanlar araştırılmaktadır [9 - 10]. Soğutucu akışkanlarla ilgili birçok yerli çalışma olmasına rağmen soğutucu akışkanların birbiriyle

kıyaslandığı Türkçe kaynak sayısı son derece sınırlıdır. Bu yüzden bu çalışmada, soğutucu akışkanlar konusunda araştırma yapan hem yerli hem yabancı kaynaklar derlenmiştir. Çalışmada, hali hazırda kullanılan veya kullanılacak olan soğutucu akışkanların, ozon delme potansiyeli (ODP), küresel ısınma potansiyeli (GWP), COP (termal performansın enerji tüketimine oranı) ve ekserji verimi özelliklerinin hepsi bir arada incelenmiştir. Hazırlanan tablolar, çok sayıda soğutucu akışkan çeşidini, farklı parametreler üzerinden karşılaştırabilmeyi mümkün kılmıştır.

2. Soğutucu Akışkanların Genel Kullanımının İncelenmesi

Isı pompasının kapasite performansını etkileyen birkaç etken vardır. Bunlardan en önemlisi sıcaklıktır. Sıcaklık, kullanılan akışkanın performansını doğrudan etkiler. Uygulamayı sıcaklıkları göz önüne alınarak ihtiyaca yönelik en uygun kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip soğutucu akışkanlar seçilmelidir.

Soğutucu akışkanlar; mineral soğutucu akışkanlar, CFC'ler, HCFC'ler, HFC'ler olarak ayrılır [11].

Son yıllarda evsel soğutucularda uzun yıllar kullanılabilmesi nedeniyle genellikle R134A tercih edilir. Ancak bu akışkanın maliyeti ve küresel ısınma faktörü yüksektir. Bu sebeple araştırmacılar daha verimli ve çevre dostu akışkanlar arayışındadırlar. Örneğin, Babiloni ve arkadaşları (2014) bir buhar tesisinde değişken hızlı kompresör kullanılarak R450A'nın küresel ısınma faktörü ve COP bakımından R134A'dan daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca R134A üzerinde yapılan başka bir çalışmada özellikleri bakımından benzerliği sebebiyle çevreye olan zararlı etkilerini düşürmek için R152A'nın karışım olarak kullanılmasıyla soğutma ve ısıtma tesir katsayılarında %5 ile %23 arasında iyileşme gözlemlenmiştir [12].

Padilla ve arkadaşları (2010), ev tipi buhar sıkıştırma bir soğutma sisteminde R12 yerine R413A kullanmış ve bütün enerji ve ekserji performansının R12'den daha kararlı sonuç gösterdiğini bulmuştur [13]. Ayrıca, orta ve düşük sıcaklıklı sistemlerde R134A/HC karışımı ile R12 karşılaştırılmıştır. R134A/HC karışımının orta ve düşük sıcaklıklı sistemlerde enerji ihtiyacının daha az olduğu fark edilmiştir [14].

Boran ve ark. (2015) tarafından iletilen bir çalışmada, buhar sıkıştırma bir soğutma sisteminde R12/R22 farklı oranlarda karıştırılarak 240 adet deney yapılmıştır. Çalışma sonucunda R22'nin tüm karışımlarda baskın özellikte olduğu gözlemlenmiştir [15]. Bunun yanında, Wu ve ark. (2009), R22 soğutucu akışkanı üzerinde yapmış olduğu çalışmada R152a/E125/R32 gaz karışımını alternatif

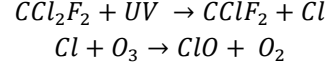
akışkan olarak denemiştir. Bu deneyin sonucunda tutuşabilirlik ve uçuculuk göz önüne alınarak birçok uygulamada R22'nin yerine R152a/E125/R32 gaz karışımının kullanılabilirliği kanıtlanmıştır [16]. Yaygın olarak kullanılan soğutma sistemlerinde R32/R134a karışımlarının incelendiği bir çalışmada R22'ye göre COP'nin %8'in üzerinde iyileşmesi sonucu R32/R134a karışımının daha verimli olduğu belirtilmiştir [17]. Ayrıca, ısı pompası sistemlerine ait kapasite kontrolü ile yapılan çalışmada R134A/R32 karışımında, R32 oranının artırılmasının da sistemin ısıtma ve soğutma kapasitesini iyileştirdiği gösterilmiştir [18].

Farklı oranlarda R744/R290 karışımlarının iklimlendirme sistemleri üzerinde incelenmesi çalışmasında R290 akışkanının tek başına kullanılmasından R744'ün eklenmesiyle verimin arttığı tespit edilmiştir ancak başarılı bir uygulama için ısı değiştirme alanı zorunlu tutulmuştur [19]. Ayrıca, çevre dostu akışkanlar konusunda yapılan bir diğer çalışmada R13'e alternatif olarak R744/R290 karışımının COP değeri ve soğutma kapasitesinin R13'ten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [20].

Buhar sıkıştırılmalı bir soğutma sisteminde R502 yerine R507A ve R404A kullanılmıştır. R507A kullanımının R404A'ya göre daha verimli olduğu analiz edilmiştir [21]. Buna ek olarak R502'ye alternatif olarak, özellikleri bakımından benzerlik gösteren HFC161 kullanımının da küresel ısınmaya ve ozon tabakasına etkisinin daha az olduğu tespit edilmiştir. R502'nin yanında R404A ve R507A yerine de kullanılabilir alternatif bir karışımdır [22]. R502 üzerinde yapılan başka bir çalışmada R1270/R290 ikili karışımının performans değerinde %9,6, R1270/R290/R152A üçlü karışımının ise %18,7'ye kadar iyileştiği gözlemlenmiştir [23].

Ozon Delme Potansiyeli (ODP): Yapılarında klor atomu bulunan soğutucu akışkanların bir kaçak ya da

sızıntı durumunda, stratosfer tabakasına kadar yükselir. Oradaki klor atomu tepkimede bir katalizör gibi rol oynayarak, tepkime sonsuza kadar devam edecek şekilde serbest kalır. Bu klor atomu ozon elementindeki oksijenle tepkimeye girerek ozon tabakasını tahrip etmektedir.



ODP değeri atmosfere karışma durumunda bir akışkanın ozonu delme potansiyelini gösterir. Ozon delinmesi; cilt kanseri, göz hastalıkları ve bağışıklık sisteminin zayıflamasına sebep olmaktadır. Ozon tabakasında yaşanan problemlerden sonra Ekvator bölgesinde bu hastalıkların arttığı gözlemlenmiştir [12].

HFC (hidroflorokarbon) akışkanlarının içerisinde klor bulunmadığı için ODP değerleri sıfırdır. Buna rağmen yine de karbondioksit gibi davranarak güneşten gelen ışınları absorbe ettikleri için küresel ısınmaya olumsuz etkileri bulunabilir [25].

Küresel Isınma Potansiyeli (GWP): Soğutucu akışkanların atmosfere karışması durumunda sahip oldukları GWP değerleri kadar CO₂'in atmosfere salınması ile eş değerde sera etkisine sebep olmaktadır [28]. Tüm bu zararlı etkilerinden dolayı konvansiyonel soğutucu akışkanlar yerine ODP ve GWP değerleri düşük olan yeni nesil soğutucu akışkanlar tercih edilmelidir. Tablo 1 den de görülebileceği gibi R717, R744, R1270 ve R1234yf akışkanları ODP ve GWP değeri en düşük olan yeni nesil akışkanlardır. Tablo 1 incelenerek R12, R502, R507A, R404A ve diğer tüm, ODP/GWP değeri yüksek olan konvansiyonel akışkanlara alternatif daha çevre dostu akışkanlar tercih edilebilir. Tablo 2 incelendiğinde R410A, R152A, R12, R134A soğutucu akışkanlarının en yüksek COP değerlerine sahip olduğu görülür.

Tablo 1. Farklı Soğutucu Akışkanların ODP, GWP ve Ekserji Verim Tablosu

	ODP	GWP	Ekserji Verimi	Kaynakça
R717	0	<1	0,135 – 0,84	[24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32]
R744	0	1	0,05 - 0,22	[20], [24], [25], [26], [27], [30], [31], [33]
R1270	0	0-3	0,27 - 0,43	[23], [24], [25], [26], [31], [34], [35], [36]
R290	0	0-20	0,146 – 0,78	[20], [23], [24], [25], [26], [27], [29], [31], [32], [33], [34], [35], [36] [37], [38], [39], [40], [41], [42]
R410A	0 - 0,0002	1725 - 2100	0,134 - 0,506	[8], [11], [17], [25], [26], [28], [29], [31], [38], [40], [41], [43], [44], [45], [46], [47], [48]
R404a	0	2000 - 3943	0,101 – 0,73	[8], [11], [21], [22], [24], [26], [27], [28], [29], [33], [40], [43] [46], [49], [50], [51], [52]

Tablo 2. (Devam) Farklı Soğutucu Akışkanların ODP, GWP ve Ekserji Verim Tablosu

	ODP	GWP	Ekserji Verimi	Kaynakça
R245fa	0	820-930	0,18-0,8	[27], [30], [53], [54], [55], [56], [57]
R22	0.034-0.055	1500-1900	0,2 – 0,8	[8], [17], [24], [25], [26], [27], [28], [30], [31], [32] [34], [35], [36], [38] [40], [41], [44], [46], [51], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65]
R134a	0 - 0.4015	1300-1430	0,15 - 0,9	[8], [11], [15], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [34], [35], [37], [39], [41], [42], [43], [46], [51], [53], [55], [56], [66], [67], [68], [69], [70]
R502	0,221 - 0,307	4500-5600	0,105 - 0,51	[21], [22], [23], [24], [26], [40], [43], [46], [50], [51], [58]
R507A	0	3300-3985	0,101 - 0,51	[21], [22], [24], [26], [28], [29], [30], [43], [46], [52]
R12	0,95 - 1	8500 - 10600	-	[24], [26], [30], [34], [39], [42], [46], [51]
R152a	0	124 - 140	0,23 - 0,485	[15], [25], [29], [30], [31], [37], [43], [53], [67]
R417A	0	1938 - 2346	0,23 - 0,27	[7], [24], [26], [40], [46], [58], [60], [63], [65]
R227ea	0	3330	0,16 - 0,64	[30], [53], [55], [56], [57]
R407c	0	1520 - 1800	0,136 - 1,135	[8], [11], [17], [24], [25], [26], [29], [30], [38], [41], [43], [44], [46], [51], [62]
R424a	0	2440	-	[24], [60], [65]
R1234yf	0	0 - 4	0,17 - 0,37	[24], [25], [27], [31], [55], [56], [68], [69]
R1234ze	0	0 - 6	0,19 - 0,43	[24], [25], [31], [55], [56], [68]
R600	0	3 - 20	0,146 - 1,157	[8], [26], [29], [34], [35], [37], [42], [53], [57], [70], [71]
R32	0	675	0,22 - 0,4	[24], [25], [30], [31], [45], [47], [48], [67]
R402	0,02-0,033	630 - 2700	-	[50], [51]
HFC161	0	4 - 3200	-	[22], [30], [31], [48]

Tablo 3. Farklı Soğutucu Akışkanların COP, Kütleli Debi ve Kompresör Gücü Tablosu

Akışkanlar	Teorik Çalışmalar		Deneysel Çalışmalar	
	COP	Kaynakça	COP	Kaynakça
R717	0,4 – 4,78	[28], [29], [31], [72]	-	-
R744	1 – 4,25	[31], [33], [72]	-	-
R1270	1,07-5,25	[31], [34], [35], [72]	0,7 - 3,75	[23], [36]
R290	0,4 – 6	[29], [31], [33], [34], [35], [37], [40], [41], [43], [72], [73]	0,7 - 3,8	[23], [36], [38], [39]
R410A	0,4 – 10,7	[8], [16], [26], [29], [31], [40], [41], [43], [44], [47], [48], [74]	1,1 - 3,61	[11], [38], [45], [48], [74]
R404	-	-	0,4 – 3,4	[75], [76]
R404a	0,4 – 7,12	[8], [21], [26], [29], [30], [33], [40], [72]	0,57 – 3,6	[11], [22], [30], [45], [49], [50], [52], [75], [77], [76]

Tablo 4. (Devam) Farklı Soğutucu Akışkanların COP, Kütleli Debi ve Kompresör Gücü Tablosu

Akışkanlar	Teorik Çalışmalar		Deneysel Çalışmalar	
	COP	Kaynakça	COP	Kaynakça
R245fa	3 – 7,3	[55], [56]	-	-
R22	1,4 – 8,2	[7], [8], [16], [26], [28], [31], [34], [35], [40], [41], [44], [61], [62], [67], [74], [78]	0,8 – 4,9	[36], [38], [60], [63], [64], [65], [74], [75], [76], [77] [79], [80], [81], [82], [83]
R134a	0,4 – 8,4	[8], [25], [26], [27], [28], [29], [31], [34], [35], [41], [43], [55], [56], [67], [68], [69], [74], [78]	0,58 – 4,14	[11], [15], [32], [39], [42], [66], [70], [73], [74], [75], [82], [84], [85], [86], [87]
R502	3,25-7,42	[21], [26], [43]	0,58 - 0,66	[23], [50], [88]
R507A	0,4 - 4,2	[21], [26], [28], [29], [43]	0,8 – 2,6	[52], [77]
R12	0,8- 8,5	[26], [67], [78], [89]	0,4-5	[9], [14], [26], [32], [42], [86], [87]
R152a	0,4 – 8,6	[29], [31], [43], [67], [73], [84]	3,25-4,47	[7]
R417A	1,25 - 3,98	[26], [60]	2,33 – 4,1	[63], [65], [55]
R227ea	1,5 – 6,5	[56]	-	-
R438A	1,28 - 3,85	[7], [24]	-	-
R407c	0,4 – 3, 91	[8], [16], [26], [29], [41], [44], [62]	1,91 - 3,67	[11], [38], [43], [80]
R424a	-	-	2,51 – 3,6	[60], [65]
R1234yf	1,02 – 6,5	[25], [31], [55], [56], [68], [69]	-	-
R1234ze	1– 7	[25], [31], [55], [56], [68]	-	-
R600	0,4-5,25	[8], [29], [33], [34], [73], [68]	2,5 – 3,4	[31]
R32	1 – 7,8	[47], [48], [73]	1,35 – 4,1	[43]
HFC161	1 - 2,65	[31], [48]	1,3 - 4,17	[22]

R410A akışkanı HFC sınıfında olup kloruz bir akışkandır. Uygun ortam sıcaklıklarında çalıştırıldığında R22'nin yerine kullanılacak bir alternatiftir. Aynı zamanda R290 ile R600 akışkanları GWPleri en düşük olan (<20) akışkanlar arasında yer alıp, bu iki akışkan da farklı akış debisi ve sıcaklıklarda R410A gibi R22'ye alternatif akışkanlar olarak tercih edilmelerinde sakınca görülmemektedir.

R290 ve R600 akışkanlarından sonra GWP değeri en düşük olan R152A akışkanı (124-140) da çevre dostudur ve kullanılacağı sistemde parametrelerde uygun değişiklikler yapılarak konvansiyonel akışkanlar yerine kullanılabilir.

R134A, bu akışkanlar arasında R12 akışkanına yapı olarak en ben-zeyen akışkandır. R12 kullanılan bir sistemde basit modifikasyonlar gerçekleştirdikten sonra

R134A kullanımı mümkündür fakat R134A'nın da GWP değeri (1300-1430) yüksek akışkanlardan olmasının yanında 500 kW altındaki sistemler için de pek ekonomik olmadığından benzer performans gösteren R717, R12'ye daha uygun alternatif akışkan olarak tercih edilebilir. İki tablo birbiriyle kıyaslandığında R134a'ya benzer performans gösteren başka çevre dostu soğutucu akışkanlar da kolaylıkla analiz edilebilir. Yapılan araştırmalarda R507a yerine de HFC161 akışkanı çevre dostu bir alternatif olarak kullanılabilir [22].

3. Sonuç

Bu çalışmada, yapılan araştırmalar ve makaleler göz önünde bulundurularak soğutucu akışkan çeşit ve özelliklerine dair tablolar oluşturulmuştur. Amacı bilim

insanları için, farklı çalışma koşullarında soğutucu akışkanların ODP, GWP, COP ve ekserji verimi gibi özellikleri kolay ulaşılabilir hale getirmektedir.

Bu çalışma sonucunda soğutucu akışkanlar arasından R410A, R152A, R134A, R12 ve R22 akışkanları en yüksek COP değerine sahip akışkanlar olarak gözlemlenmiştir. Ancak 7 ve üzeri COP değerlerinin çoğunlukla kayıpları ihmal edilmiş simülasyon sonuçları olduğunu unutmamak gerekir.

i. R12, COP değeri yüksek olan akışkanlardan biri olmasına karşılık GWP değeri de en yüksek olan akışkandır. Dolayısıyla R12 yerine GWP değeri düşük R717 gib-i alternatif akışkanlar tercih edilmelidir. R12 akışkanından sonra GWP değeri en yüksek olan akışkan R502 akışkanıdır. R502 akışkanı için GWP değeri daha düşük olan R404a alternatif olarak kullanılabilir.

ii. R-22 akışkanı ortalama bir GWP değerine sahiptir. Ancak ozon tabakasını inceltme özelliği olması nedeniyle, yerine ODP değeri sıfır ve GWP değeri de sıfıra oldukça yakın olan R290 ve R600 gibi çevre dostu alternatifleri tercih etmek yararlı olacaktır.

R1234yf akışkanının performans olarak yeterli COP değerine sahip olmasının yanında GWP değeri en düşük olan akışkanlardandır. Bu özelliği sayesinde benzer performans gösterdiği daha zararlı olan R134A akışkanına alternatif olarak kullanılabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı:

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standartlar Beyanı:

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

Kaynaklar

- [1] Develioğlu M., 2012. Yer kaynaklı ısı pompalarının teknolojik gelişimi ve Türkiye'deki uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Muslu M., 2017. Isı Pompası Destekli Isı Geri Kazanım Cihazının Farklı Sıcaklıklardaki Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [3] Uluyüce C., Aydınalp M.K., 2019. Toprak ve Su Kaynaklı Isı Pompalarının Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi: Gaziantep Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [4] Alkaç S.P., Boran K., Aktaş M., Tokdemir M., 2019. Isı Pompalı İnfrared Kurutucuda Dilimlenmiş Limonun Kurutulmasının Performans Analizi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 128–137.
- [5] Yurtçu M., Kara Ö., Küçükkaya E., Ünver Ü., 2018. A Comprehensive Review on Heat Pump System for Green Building Concept. International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18) Antalya, Turkey, April 28 - May 1. 802–811.
- [6] Kara O., Yurtcu M., Kelesoglu A., Kucukkaya E., Ünver U., 2018. A Heat Pump System Design for Yalova University. 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech Croatia 26-29 June. 1-6.
- [7] Ergün A., Gürel A.E., Ceylan İ., 2018. Ticari Soğutma Sistemlerinde R22 Akışkanının Alternatifi Olarak R438a ve R417a Akışkanlarının Performansının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 6(4), 824–833. doi: 10.29109/gujsc.406628.
- [8] Alkan R., Kabul A., Kızıllan Ö., 2014. Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompasının Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Termodinamik Analizi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 34(1), 27-34.
- [9] Hammad M. A., Alsaad M. A., 1999. The Use Of Hydrocarbon Mixtures As Refrigerants In Domestic Refrigerators. Applied Thermal Engineering, 19(11), 1181–1189, doi: 10.1016/S1359-4311(98)00116-1.
- [10] Ünver U., Ozkara G., Bahar E. M., 2018. A Design Approach for Cooling Gas Turbine Intake Air with Solar-Assisted Absorption Cooling Cycle. Green Energy and Technology, 125–137. doi: 10.1007/978-3-319-89845-2_10.
- [11] Töre H., 2015. Isı Pompasının Soğutma Durumunda Farklı Soğutucu Akışkanlar İçin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- [12] Koyun T., Koyun A., Acar M., 2005. Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri. Tesiat Mühendisliği Dergisi, 88, 45–53.
- [13] Padilla M., Revellin R., Bonjour J., 2010. Exergy Analysis Of R413A As Replacement of R12 In A Domestic Refrigeration System. Energy Conversion and Management, 51, 2195–2201, doi: 10.1016/j.enconman.2010.03.013.
- [14] Sekhar S.J., Lal D.M., 2005. HFC134a/HC600a/HC290 Mixture A Retrofit For CFC12 Systems. International Journal of Refrigeration, 28(5), 735–743, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.12.005.

- [15] Boran K., Menlik T., Alpsoy H., 2015. R134a / R152a Soğutucu Akışkan Karışımlarının Performanslarının Isı Pompasında Deneysel Olarak Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 18(4), 251-256.
- [16] Wu J., Chu Y., Hu J., Liu Z., 2009. Performance Of Mixture Refrigerant R152a/R125/R32 In Domestic Air-Conditioner. *Int. Journal of Refrigeration*, 32(5), 1049–1057, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.10.009.
- [17] Chen J., Yu J., 2008. Performance Of A New Refrigeration Cycle Using Refrigerant Mixture R32/R134a For Residential Air-Conditioner Applications. *Energy and Buildings*, 40(11), 2022–2027, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.05.003.
- [18] Kim M., Kim M.S., Kim Y., 2004. Experimental Study On The Performance Of A Heat Pump System With Refrigerant Mixtures' Composition Change. *Energy*, 29(7), 1053-1068
- [19] Kim J.H., Cho J.M., Kim M.S., 2008. Cooling Performance Of Several CO₂/Propane Mixtures And Glide Matching With Secondary Heat Transfer Fluid. *International Journal of Refrigeration*, 31(5), 800–806, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.11.009.
- [20] Niu B., Zhang Y., 2007. Experimental Study Of The Refrigeration Cycle Performance For The R744/R290 Mixtures. *International Journal of Refrigeration*, 30(1), 37–42. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2006.06.002.
- [21] Arora A., Kaushik S.C., 2008. Theoretical Analysis Of A Vapour Compression Refrigeration System With R502, R404A and R507A. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 998–1005, doi: 10.1016/j.ijrefrig. 2007.12.015.
- [22] Xuan Y., Chen G., 2004. Experimental Study On HFC-161 Mixture As An Alternative Refrigerant To R502. *International Journal of Refrigeration*, 28(3), 436–441, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.04.003.
- [23] Park K.J., Jung D., 2007. Thermodynamic Performance Of R502 Alternative Refrigerant Mixtures For Low Temperature And Transport Applications. *Energy Conv. and Management*, 48(12), 3084–3089, doi: 10.1016/j.enconman.2007.05.003.
- [24] İyim E., Altıntaş A., Almış Ç., 2019. Karbondioksit Akışkanlı Transkritik Soğutma Sistemlerinde Valf Seçim Kriterleri, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi –İzmir 17-20 Nisan. 487–513.
- [25] Güngör A., Hepbaşı A., Araz M., 2013. Düşük Küresel Isınma Potansiyeline Sahip Soğutucu Akışkanların Soğutma Uygulamalarındaki Kullanımının Değerlendirilmesi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 17/20 Nisan 575–604.
- [26] Lommers C.A., Airah F., Ashrae M., 2003. *Air Conditioning and Refrigeration Industry Refrigerant Selection Guide*. The Australian Institute of Refrigeration Air conditioning and Heating Inc (AIRAH). ISBN 0-949436-41-0
- [27] Yaşar S., Altunbaşak B., Biber M.S., Düşük Sıcaklıkta Organik Rankine Çevrim Uygulamalarından Faydalanılarak Farklı Akışkanların Verimlerinin Karşılaştırılması.
- [28] Dinarveis A., 2019. Exergy Analysis of Vapour Compression Refrigeration System Using R507A, R134a, R114, R22 and R717. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 13(7), 355–358.
- [29] Mishra R. S., 2014. Performance Optimization of Four Stage Cascade Refrigeration Systems using Energy-Exergy Analysis in the R1234ze & R1234yf in High Temperature Circuit and Ecofriendly Refrigerants in Intermediate Circuits and Ethane in the Low Temperature Circuit for Food. *Pharmaceutical, Chemical Industries*, 2(4), 701–709.
- [30] Türkkan B., Çağlayan A., Onbaşıoğlu H., 2017. Karbondioksit Akışkanlı Kanatlı Borulu Buharlaştırıcılarda Boru Özelliklerinin Isıl Kapasiteye Etkisinin İncelenmesi, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 19-22 Nisan. 1-20.
- [31] McLinden M.O., Brown J.S., Brignoli R., Kazakov A.F., Domanski P.A., 2017. Limited Options For Low-Global-Warming-Potential Refrigerants. *Nature Communications*, 8, 1–9. doi: 10.1038/ncomms14476.
- [32] Pandav P.P., Lokhande S.B., Barve S.B., 2014. Ecofriendly Refrigerants. *Applied Mechanics and Materials*, 612, 181–185. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.612.181.
- [33] Shilliday J.A., Tassou S. A., Shilliday N., 2009. Comparative Energy And Exergy Analysis Of R744, R404A And R290 Refrigeration Cycles. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 4(2), 104–111, doi: 10.1093/ijlct/ctp014.
- [34] Özcan H., Arcaklıoğlu E., 2011. Alternatif Soğutucu Akışkanlar Olarak Çevre Dostu Hidrokarbonların Kullanılması Üzerine Bir Değerlendirme. 6. th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ 16-18 May. 66-71.
- [35] Bayrakçı H.C., Özgür A.E., 2009. Energy And Exergy Analysis Of Vapor Compression Refrigeration System Using Pure Hydrocarbon Refrigerants. *International Journal Of Energy Research*, 33(12), 1070–1075.

- [36] Park K.J., Jung D., 2007. Thermodynamic Performance of HCFC22 Alternative Refrigerants for Residential Air-Conditioning Applications. *Energy and Buildings*, 39(6), 675–680, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.10.003.
- [37] Ghodbane M., 1999. An Investigation Of R152a And Hydrocarbon Refrigerants In Mobile Air Conditioning. *SAE Technical Papers*, 108, 1658–1673, doi: 10.4271/1999-01-0874.
- [38] Joudi K.A., Al-Amir Q.R., 2014. Experimental Assessment Of Residential Split Type Air-Conditioning Systems Using Alternative Refrigerants To R-22 at High Ambient Temperatures. *Energy Conversion and Management*, 86, 496-506., doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.036.
- [39] Halimic E., Ross D., Agnew B., Anderson A., Potts I., 2003. A Comparison Of The Operating Performance Of Alternative Refrigerants. *Applied Thermal Engineering*, 23(12), 1441–1451. doi: 10.1016/S1359-4311(03)00081-4.
- [40] Spatz M.W. Motta S.F.Y., 2004. An Evaluation Of Options For Replacing HCFC-22 In Medium Temperature Refrigeration Systems. *International Journal of Refrigeration*, 27(5), 475–483. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.02.009.
- [41] Devotta S., Waghmare A.V., Sawant N.N., Domkundwar B.M., 2001. Alternatives To HCFC-22 For Air Conditioners. *Applied Thermal Engineering*, 21(6), 703–715, doi: 10.1016/S1359-4311(00)00079-X.
- [42] Wongwises S. Chimres N., 2005. Experimental Study Of Hydrocarbon Mixtures To Replace HFC-134a In A Domestic Refrigerator. *Energy Conversion and Management*, 46(1), 85–100, doi: 10.1016/j.enconman.2004.02.011.
- [43] Reddy V.S., Panwar N.L., Kaushik S.C., 2012. Exergetic Analysis Of a Vapour Compression Refrigeration System With R134a, R143a, R152a, R404A, R407C, R410A, R502 and R507A. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(1), 47–53, doi: 10.1007/s10098-011-0374-0.
- [44] Şahin A.Ş., Altınkaynak M., Olgun E., 2019. Comparative Evaluation of Energy and Exergy Performances of R22 and its Alternative R407C, R410A and R448A Refrigerants in Vapor Compression Refrigeration Systems. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3, 659–667, doi: 10.31202/ecjse.565843
- [45] Xu X., Hwang Y., Radermacher R., 2013. Performance Comparison of R410A and R32 in Vapor Injection Cycles. *International Journal of Refrigeration*, 36(3), 892–903, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2012.12.010.
- [46] Bulgurcu H., Kon O., İlten N., 2007. Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri İle İlgili Yeni Yasal Düzenlemeler ve Hedefler. VIII Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 25-28 Ekim, İzmir. 915–928.
- [47] Selbaş R., Yılmaz F., 2014. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminde R410a ve R32 Soğutucu Akışkanlarının Termodinamik Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(2), 50–60.
- [48] Han X.H., Qiu Y., Li P., Xu Y.J., Wang Q., Chen G.M., 2012. Cycle Performance Studies On HFC-161 in a Small-Scale Refrigeration System as an Alternative Refrigerant to HFC-410A. *Energy and Buildings*, 44(1), 33–38. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.004.
- [49] Mota-Babiloni A., Navarro-Esbrí J., Peris B., Molés F., Verdú G., 2015. Experimental Evaluation of R448A as R404A Lower-GWP Alternative in Refrigeration Systems. *Energy Conversion and Management*, 105, 756–762, doi: 10.1016/j.enconman.2015.08.034.
- [50] Aprea C., Mastrullo R., de Rossi F., 1996. Behaviour and Performances of R502 Alternative Working Fluids in Refrigerating Plants. *International Journal of Refrigeration*, 19(4), 257–263. doi: 10.1016/0140-7007(96)00012-6.
- [51] Onat A., 2004. Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar, 7(1), 32–38.
- [52] Llopis R., Torrella E., Cabello R., Sánchez D., 2010. Performance Evaluation of R404A and R507A Refrigerant Mixtures in an Experimental Double-Stage Vapour Compression Plant. *Applied Energy*, 87(5), 1546–1553, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.10.020.
- [53] Jafarmadar S., Habibzadeh A., 2017. Study of a Combined Power and Ejector Refrigeration Cycle with Low-temperature Heat Sources by Applying Various Working Fluids. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 83(1), doi: 10.1088/1755-1315/83/1/012008.
- [54] Lounissi D., Bouaziz N., Ganaoui M., 2017. Energetic and Exergetic Analysis of a Novel Mixture for an Absorption/Compression Refrigeration System: R245fa/DMAC. *Energy Procedia*, 139, 288–293, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.210.
- [55] Al-Sayyab A.K.S., Abdulwahid M. A., 2019. Energy-Exergy Analysis of Multistage Refrigeration System and Flash Gas Intercooler Working with Ozone-

- Friendly Alternative Refrigerants to R134a. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 63(2), 188–198.
- [56] Al Sayyab A.K.S., 2017. Energy-Exergy Performance Comparison of an Ideal Vapor Compression Refrigeration Cycle using Alternatives Refrigerants of R134a for Low Potential of Global Warming. *Basrah journal of engineering science*, 17(1), 35–39. doi: 10.33971/bjes.17.1.5.
- [57] Goodarzi M., Soltani H.D., 2015. Thermal Performance Analysis Of a Reheating-Regenerative Organic Rankine Cycle Using Different Working Fluids. *Mechanics*, 21(1), 28-33. doi: 10.5755/j01.mech.21.1.10127.
- [58] Roberts N.A., Chambers O.R., 2004. Energy Saving Refrigerant Blends Comprising R125, R134a, R600 Or R600a. *Refrigeration And Air Conditioning*, No 632. <http://docs.lib.purdue.edu/iracc/632>
- [59] Devocioğlu A.G., Oruç V., 2019. R22 Yerine R453A Kullanan Bir Klima Cihazının Kılcal Boru Uzunluğunun Enerji Parametreleri Üzerine Etkisi. *The Internatinonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology in Cappadocia/Turkey (Imsmatec'19)*, June 21-23, 69–73,
- [60] Devocioğlu A.G., Oruç V., 2016. HCFC-22 Yerine Kullanılan Bazı HFC'lerin Çevresel Etkilerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *Isı Bilimi Ve Tekniği Dergisi*, 36(1), 99–105.
- [61] Shaik S.V., Babu T. P. A., 2017. Thermodynamic Performance Analysis of Eco friendly Refrigerant Mixtures to Replace R22 Used in Air Conditioning Applications. *Energy Procedia*, 109, 56–63. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.049.
- [62] Shaik S.V., Babu T.P.A., 2017. Theoretical Computation of Performance of Sustainable Energy Efficient R22 Alternatives for Residential Air Conditioners. *Energy Procedia*, 138, 710–716. doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.205.
- [63] la Rocca V., Panno G., 2011. Experimental Performance Evaluation Of A Vapour Compression Refrigerating Plant When Replacing R22 With Alternative Refrigerants. *Applied Energy*, 88(8), 2809–2815, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.01.051.
- [64] Aprea C., Maiorino A., Mastrullo R., 2014. Exergy Analysis Of A Cooling System: Experimental Investigation on the Consequences Of The Retrofit of R22 with R422D. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 71–79. doi: 10.1093/ijlct/cts060.
- [65] Oruc V., Devocioğlu A.G., 2015. Thermodynamic Performance Of Air Conditioners Working With R417A And R424A As Alternatives To R22. *International journal of refrigeration*, 55, 120–128. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2015.03.021.
- [66] Mol F., Mota-Babiloni A., Navarro-Esbrí J., Barragán-Cervera Á., Peris B., 2015. Experimental Study Of An R1234ze(E)/R134a Mixture (R450A) As R134a Replacement. *International Journal of Refrigeration*, 51, 52–58. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2014.12.010.
- [67] Bilen K., Kalkışım A.T., Solmuş İ., Bulgurcu H., Yaldırak H., 2014. Otomobil Klima Sistemlerinde R152a Gazı Kullanımı Ve Özellikleri. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – İzmir 17/20 Nisan. 723–734.
- [68] Özgür A.E., 2013. Theoretical Investigation Of Vapor Compression Cooling Cycle Using HFO- 1234yf And HFO-1234ze. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(3), 465–472.
- [69] Ünal Ş., Erdinç M.T., Kutlu Ç., 2016. Thermodynamic Analysis Of A Refrigeration System With Double Evaporators And Ejector. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(4), 1039–1047, doi: 10.17341/gummfd.67211.
- [70] Manoj V., Balamurugan V., 2017. Experimental Investigation of Vapor Compression Refrigeration system with low GWP Refrigerants. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2(5), 194–199.
- [71] Yoon J.I., Son C.H., Baek S.M., Ye B.H., Kim H.J., Lee H.S., 2014. Performance Characteristics Of A High-efficiency R717 OTEC Power Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 72(2), 304–308, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.05.103.
- [72] Getu H.M., Bansal P.K., 2008. Thermodynamic Analysis Of An R744 – R717 Cascade Refrigeration System. *International Journal of Refrigeration* 31, 45–54. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.06.014.
- [73] Arcaklıoğlu E., Erişen A., 2003. Soğutucu Akışkan Karışımlarının Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde Termodinamik Analizi. *Journal of Engineering Sciences*, 9(2), 153–162.
- [74] Kim M.H., Pettersen J., Bullard C.W., Fundamental Process And System Design Issues In CO2 Vapor Compression Systems. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30 (2), 119-174. 2004.
- [75] Heesen K.T., 2017. Experimental Analysis Of R134a, R22, and R404 For An Edibon Taab: Air

- Conditioning Lab Unit. Senior Honors Projects, 2010-current. 347.
- [76] Cabello R., Torrella E., Llopis R., Sanchez D., Larumbe J.A., 2013. Energy Influence Of The IHX With R22 Drop-in and Long-term Substitutes In Refrigeration Plants. *Applied Thermal Eng.*, 50(1), 260–267, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.06.008.
- [77] Bolaji B.O., 2011. Performance Investigation Of Ozone-friendly R404A and R507 Refrigerants As Alternatives To R22 In A Window Air-conditioner. *Energy & Buildings*, 43(11), 3139–3143, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.08.011.
- [78] Dalkilic A.S. Wongwises S., 2010. A Performance Comparison Of Vapour-Compression Refrigeration System Using Various Alternative Refrigerants. *Int. Comm. in Heat and Mass Transfer*, 37(9), 1340–1349, doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.07.006.
- [79] Devocioğlu A.G., Oruç V., Berk U., Ender S., 2016. İklimlendirme Sistemlerinde R22 Yerine R442A Kullanılmasının Enerji Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi. *Mühendislik Dergisi*, 7(3), 551–558.
- [80] Hashim Falih A., 2018. Effect of Using R-22, R404 and R-407C on Performance of an Air-Conditioning System. *Journal of Eng. and Sustainable Development*, 22(5), 200–214. doi: 10.31272/jeasd.2018.5.15.
- [81] Farraj A., Mallouh M.A., Kalendar A.R., Al-Shqirate A.A.R., Hammad M., 2012. Experimental Study Of Solar Powered Air Conditioning Unit Using Drop - In Hydrocarbon Mixture To Replace R-22. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6(1), 63–70.
- [82] Havelský V., 2000. Investigation Of Refrigerating System With R12 Refrigerant Replacements. *Applied Thermal Engineering*, 20(2), 133–140. doi: 10.1016/S1359-4311(99)00016-2.
- [83] Jabaraj D.B., Avinash P., Lal D.M., Renganarayan S., 2006. Experimental Investigation Of HFC407C/ HC290/HC600a Mixture In A Window Air Conditioner. *En. Conv. and Mgmt*, 47(15–16), 2578–2590. doi: 10.1016/j.enconman.2005.10.026.
- [84] Chavhan S.P., Mahajan S.D., 2015. Experimental Performance Evaluation of R152a to replace R134a in Vapour Compression Refrigeration System. *International of Modern Engineering Research*, 5(2), 37–47.
- [85] Wongwises S., Kamboon A., Orachon B., 2006. Experimental Investigation Of Hydrocarbon Mixtures To Replace HFC-134a In An Automotive Air Conditioning System. *Energy Conversion and Management*, 47(11–12), 1644–1659. doi: 10.1016/j.enconman.2005.04.013.
- [86] Mani K. Selladurai V., 2008. Experimental Analysis of a New Refrigerant Mixture as drop-in Replacement for CFC12 and HFC134a,” *International Journal of Thermal Sciences*, 47(11), 1490–1495, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2007.11.008.
- [87] Sekhar S.J., Lal D.M., Renganarayanan S., 2004. Improved Energy Efficiency for CFC Domestic Refrigerators Retrofitted with Ozone-Friendly HFC134a/HC Refrigerant Mixture. *International Journal of Thermal Sciences*, 43(3), 307–314, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2003.08.002.
- [88] Camporese R., Bigolaro G., Bobbo S., Cortella G., 1997. Experimental Evaluation Of Refrigerant Mixtures As Substitutes For CFC12 And R502. *International Journal of Refrigeration*, 20(1), 22–31, doi: 10.1016/S0140-7007(96)00062-X.
- [89] Richardson R.N. Butterworth J.S., 1995. The performance of propane/isobutane mixtures in a vapour-compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 18(1), 58–62, doi: 10.1016/0140-7007(94)P3712-A