



Alınış tarihi (Received): 28.07.2023

Kabul tarihi (Accepted): 16.11.2023

R1234yf ve R134A Soğutucu Gazlarının Performanslarının Çeşitli İşletme Koşullarında Deneysel Olarak Karşılaştırılması

Oğuzhan PEKTEZEL^{1,*}

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tokat, TÜRKİYE

*Sorumlu yazar: oguzhan.pektezel@gop.edu.tr

ÖZET: Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanların küresel ısınmada pay sahibi oldukları bilinmektedir. Bu nedenle küresel ısınmaya neden olmayan soğutucu akışkanların soğutma sistemlerinde kullanılması ve enerji performanslarının incelenmesi son yılların popüler konuları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sisteminde R1234yf ve R134A soğutucu gazlarının -9°C, -6°C ve -3°C buharlaştırıcı ve 25°C, 30°C, 35°C yoğuşturucu sıcaklıklarında göstermiş oldukları termodinamik performansları deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar R1234yf ve R134A gazlarının soğutma kapasitelerinin birbirine yakın olduğunu, bununla birlikte R134A gazı ile R1234yf'e göre soğutma kapasitesinde %1,35 artış yaşandığını göstermiştir. Kompresör güç tüketiminde ise R1234yf kullanılarak R134A'ya kıyasla ortalama %7,84 artış yaşandığı ortaya konmuştur. Kütlesel debide R1234yf ile R134A'ya göre %26,52 artış olduğu belirlenmiştir. R1234yf'nin kompresör çıkış sıcaklığının R134A'dan %6,27 daha az olduğu tespit edilmiştir. R134A'nın STK değerinin R1234yf'den %9,91 daha yüksek olduğu saptanmıştır. Sistemdeki en yüksek soğutma kapasitesinin R134A ile 1140 W, en fazla kompresör güç tüketiminin R1234yf ile 460 W, en büyük STK değerinin ise R134A ile 3,8 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Soğutma sistemi, R1234yf, R134A, Küresel ısınma, Enerji analizi

Experimental Comparison of the Performance of R1234yf and R134A Refrigerants in Various Operating Conditions

ABSTRACT: It is known that the refrigerants used in refrigeration systems have a share in global warming. For this reason, the use of refrigerants that do not cause global warming in refrigeration systems and the examination of their energy performance are among the popular topics of the last years. In this study, the thermodynamic performances of R1234yf and R134A refrigerants at -9°C, -6°C and -3°C evaporator and 25°C, 30°C, 35°C condenser temperatures in the vapor compression mechanical refrigeration system were experimentally investigated. The results showed that the cooling capacities of R1234yf and R134A gases were close to each other, however, there was a 1.35% increase in cooling capacity with R134A gas compared to R1234yf. It was revealed that there was an average increase of 7.84% in compressor power consumption when using R1234yf compared to R134A. It was found that there was a 26.52% increase in mass flow rate with R1234yf compared to R134A. It was determined that the compressor discharge temperature of R1234yf was 6.27% less than R134A. It was detected that the COP value of R134A was 9.91% higher than R1234yf. It was determined that the highest cooling capacity in the system was 1140 W with R134A, the highest compressor power consumption was 460 W with R1234yf, and the highest COP value was 3.8 with R134A.

Keywords – Refrigeration system, R1234yf, R134A, Global warming, Energy analysis

1. Giriş

Soğutma teknolojisi, 1880'lerde elektriğin icadından önce bile insanlar tarafından kullanılmıştır. Oliver Evans 1805'te suyu buza dönüştürmek için eterin buharlaşmasından

faýdalanmış ve soğutma fikrini öne sürmüştür. Daha sonra ilk soğutma makinesi Oliver Evans'ın çalışmalarının etkisiyle 1834'te Jacob Perkin tarafından icat edilmiştir. Geçtiğimiz yüzyılda çeşitli kimyasal kompozisyona sahip soğutucu gazlar kullanılmıştır. CFC'ler (kloroflorokarbonlar) 1930'larda keşfedilmiştir. CFC'lere örnek olarak R12, R13 ve R114 gösterilebilir. Daha sonra HCFC'ler (hidrokloroflorokarbonlar), CFC'lere kıyasla daha yüksek enerji performansı göstererek 1950'lerde piyasaya girmişlerdir (Heredia-Aricapa ve ark. 2020). R22, R123 ve R124 gazları HCFC sınıfı soğutucu akışkanlardır. CFC'ler ve HCFC'ler, ozon tabakasının seyrelmesine neden olan klor içermektedirler (Harby 2017). Ozon tabakasının incilmesi sorunu araştırmacıları alternatif soğutucu akışkan arayışına yöneltmiştir. Bu sebeple, HFC'ler (hidroflorokarbonlar) ozon tabakasına olumsuz bir etkisi olmadığı için 1990'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. HFC sınıfına giren soğutucu gazlara örnek olarak R134A, R404A ve R32 verilebilir. HFC'ler, CFC'lere ve HCFC'lere alternatif olarak düşünülse bile, küresel ısınmaya yüksek oranda etkileri bulunduğu için iklim ve çevreyi tehdit etme potansiyeline sahiptirler. Küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi sorunları, CFC'lerin, HCFC'lerin ve HFC'lerin uluslararası anlaşmalar kapsamında aşamalı olarak kaldırılmalarını gerektirmiştir. 1987'deki Montreal Protokolü ile CFC'ler yasaklanmıştır. 1997'deki Kyoto Protokolü ise, 2020-2030'a kadar HCFC'lerin ve 2025-2040'a kadar HFC'lerin aşamalı olarak kaldırılmasını planlamıştır (Abas ve ark. 2018). HFO'lar (hidrofloroolefinler) düşük GWP (küresel ısınma potansiyeli) değerleri nedeniyle HFC'lere alternatif olabilecek soğutucu akışkanlardır. HFO'lar, ASHRAE sınıflandırmasında A2L yani hafif yanıcı olarak sınıflandırılmaktadır. R1132a, R1234yf, R1243zf ve R1234ze(E) HFO grubundaki soğutucu akışkanlar arasındadır.

Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri, evlerde yiyeceklerin ve içeceklerin muhafazası başta olmak üzere, büyük ölçekli endüstriyel tesislerde gıdaların ve ilaçların depolanması, iklimlendirme uygulamaları gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bahsedilen bu sektörlerde gerekli soğutmayı sağlamak için çeşitli yöntemler bulunsa da soğutma sistemlerinin çoğu mekanik buhar sıkıştırma prensibi ile çalışmaktadır. Günümüz dünyasında yaklaşık 1,5 milyar ev tipi buzdolabının çalışır durumda olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca dünya elektrik tüketiminin %17'sinin soğutma uygulamalarında harcandığı ve bu %17'lik kısmın %45'inin konutlarda kullanıldığı tespit edilmiştir (Gardenghi ve ark. 2021). Dünyada insan nüfusunun hızla artması, soğutma ve iklimlendirme talebinin artmasına neden olmuştur. Örneğin, 1990'da Çin'deki nüfusun %1'inde klima varken, 2009'da neredeyse %100'ü klimaya sahip olmuştur (Zendejboudi ve ark. 2019).

Çizelge 1'de R1234yf ve R134A soğutucu gazlarının termofiziksel özellikleri görülmektedir. Çizelge'ye bakıldığından R1234yf'nin ozon seyreltme potansiyelinin sıfır olduğu, küresel ısınmaya etkisinin ise neredeyse sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Benzer şekilde R134A'nın da ozon tabakasına etkisinin sıfır olduğu, ancak küresel ısınmaya etkisinin yüksek olduğu görülmektedir. Gazların termofiziksel özelliklerine bakarak deneylerde gösterecekleri performans ile ilgili önceden çıkarım yapmak mümkündür. R1234yf'nin buhar yoğunluğunun R134A'dan yüksek olması R1234yf'nin kütleli debisinin R134A'dan daha büyük olacağını işaret etmektedir. R134A'nın kritik sıcaklığının R1234yf'den yüksek olması, R134A'nın kompresör güç tüketiminin R134A'dan düşük olabileceğini göstermektedir. R134A'nın buharlaşma gizli ısısının R1234yf'den yüksek olması, buharlaştırıcıdaki entalpi farkı anlamına gelen soğutma etkisi açısından R134A'nın önde olacağını göstermektedir. Ancak, R1234yf'nin kütleli debisinin R134A'dan yüksek olması beklendiği için, R134A'nın yüksek soğutma etkisinin R1234yf'nin yüksek debisi

tarafından kompanse edilmesi yani R1234yf ve R134A gazlarının soğutma kapasitelerinin birbirlerine yakın olması beklenebilir.

Çizelge 1. R1234yf ve R134A'nın termofiziksel özellikleri
Table 1. Thermophysical properties of R1234yf and R134A

Özellik	R1234yf	R134A
Ozon Seyreltme Potansiyeli	0	0
Küresel Isınma Potansiyeli	<1	1300
Normal Kaynama Noktası (°C)	-29,45	-26,074
Kritik Sıcaklık (°C)	94,7	101,06
Kritik Basınç (kPa)	3382,2	4059,3
Sıvı Yoğunluğu (kg m ⁻³) (0°C)	1176,3	1294,8
Buhar Yoğunluğu (kg m ⁻³) (0°C)	17,647	14,428
Sıvı Özgül Isı (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹) (0°C)	1,2893	1,3410
Buhar Özgül Isı (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹) (0°C)	0,9262	0,8972
Sıvı Isıl İletkenlik (mW m ⁻¹ K ⁻¹) (0°C)	71,592	92,013
Buhar Isıl İletkenlik (mW m ⁻¹ K ⁻¹) (0°C)	11,665	11,514
Buharlaşma Gizli Isısı (kJ kg ⁻¹) (0°C)	163,29	198,6
Yağ Tipi	Polyester	Polyester

Literatürde R1234yf ve R134A gazları ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Oruç ve Devocioğlu (2018) esasen R22 gazı ile çalışan bir split tip klimada R1234yf'nin performansını incelemişlerdir. Kompresör güç tüketiminin R1234yf ile R22'ye kıyasla önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Örneğin 30°C ortam sıcaklığı için R22 gazı R1234yf'den %48 daha fazla güç tüketimine neden olmuştur. Ayrıca sisteme şarj edilen soğutucu akışkan miktarının R1234yf ile R22'ye kıyasla %12 daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Belman-Flores ve ark. (2017) R1234yf ve R134A soğutucu gazlarını ev tipi bir buzdolabında test etmişlerdir. Farklı R1234yf şarj miktarlarında taze yiyecek ve dondurucu bölmelerinin ortalama sıcaklığının R134A ile karşılaştırıldığında yakın değerler sergilediği ve bu nedenle R1234yf'nin R134A ile benzer ısı yükler sergilediği sonucuna varmışlardır. Sieres ve Santos (2018) -5°C ve +5°C aralığındaki buharlaştırıcı ve 45°C ve 55°C aralığındaki yoğuşturucu sıcaklıkları için R1234yf ve R134A gazlarının performanslarını deneysel olarak test etmişlerdir. Sabit yoğuşturucu sıcaklığı için, buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesi ve kompresör güç tüketiminin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca sabit buharlaştırıcı sıcaklığında düşük yoğuşturucu sıcaklıklarının daha yüksek soğutma kapasitesine ve daha düşük kompresör gücü tüketilmesine neden olduğunu saptamışlardır. Aynı test koşullarında R1234yf'nin kütleli debisinin R134a'dan %18 ile %32 aralığında daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. R1234yf'nin soğutma kapasitesinin ise R134a'dan %1 ile %11 aralığında daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Kompresör güç tüketimine bakıldığında ise R1234yf R134a'ya kıyasla %3 daha fazla enerji tüketmiştir. Sánchez ve ark. (2017) çeşitli soğutucu akışkanların performanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. R1234yf ile soğutma sisteminde en yüksek STK değeri 2,55 olarak bulunurken R134A ile 2,85 olarak tespit edilmiştir. R1234yf'nin R134A'ya kıyasla güç tüketiminde çeşitli işletme koşullarına göre %1,6 ila %6,7 aralığında bir artışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Alkan ve ark. (2021) bir otomobil iklimlendirme sisteminde R1234yf ve R134A akışkanlarının performansını incelemişlerdir. R1234yf'nin soğutma kapasitesinin R134A'dan %0,4 ile %10,9 aralığında düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Kütleli debinin ise R1234yf ile R134A'dan %9,3 ile %22,3 aralığında yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca R1234yf'nin soğutma tesir katsayısı %5,5 ile %11,6 aralığında R134A'dan düşük bulunmuştur. Devocioğlu ve Vedat (2018) R134A ve R1234yf gazlarının performansını buhar sıkıştırılmalı

soğutma sisteminde karşılaştırmışlardır. Buharlaştırıcı sıcaklığının 0°C ve yoğuşturucu sıcaklığının 40°C olduğu soğutma çevriminde R134A'nın soğutma tesir katsayısı 3,86, R1234yf'nin ise 3,68 olarak bulunmuştur. Termodinamik özellik açısından R1234yf'nin soğutma sistemlerinde sıklıkla kullanılan eski nesil R134A akışkanına benzer olduğu ve bu nedenle halihazırda R134A kullanılan sistemlere direkt olarak R1234yf akışkanının şarj edilebileceği Devocioğlu ve Oruç (2018) tarafından belirtilmiştir. Aprea ve ark. (2016) ise R1234yf'nin soğutma sistemlerinde sıklıkla kullanılan R134A'nın yerine kullanıldığında, soğutma bölümlerinde ulaşılan sıcaklık açısından sistemin işlevselliğini koruyan bir akışkan olduğunu belirtmişlerdir. Al-Sayyab ve ark. (2022) bir soğutma test düzeneğinde -15°C, -10°C ve -5°C buharlaştırıcı sıcaklıkları ile 32,5°C ve 40°C yoğuşturucu sıcaklıkları işletme parametrelerinde R1234yf ve R134A gazlarının performansını incelemişlerdir. Tüm test koşullarında R1234yf ile kompresör güç tüketiminde R134A'ya göre artış yaşandığı tespit edilmiştir. Örneğin -10°C buharlaştırıcı ve 32,5°C yoğuşturucu sıcaklıkları için R1234yf kompresörde yaklaşık 2,08 kW güç tüketirken R134A ise 1,7 kW güç tüketmiştir. İlave ısı eşanjörünün kullanılmadığı temel çevrim için tüm test koşullarında R134A'nın STK değeri R1234yf'den yüksek bulunmuştur. Örnek olarak 32,5°C yoğuşturucu sıcaklığı için R1234yf gazı -15°C, -10°C ve -5°C buharlaştırıcı sıcaklıklarında R134A'ya kıyasla STK'da sırasıyla %3, %10 ve %15 azalmaya neden olmuştur. Sánchez ve ark. (2022) soğutma test düzeneği olarak kullandıkları içecek buzdolabında R1234yf ve R134A'nın performansını incelemişlerdir. 16 saat boyunca yapılan enerji tüketim analizine göre R1234yf kullanımının enerji tüketimini R134A'ya kıyasla %4,1 arttırdığını saptamışlardır. Kompresör çıkış sıcaklığında ise her iki gazın birbirine yakın değerler gösterdikleri tespit edilmiştir.

Küresel ısınmaya yüksek etkisi bulunan R134A gibi soğutucu gazların soğutma sistemlerinden kaldırılması uluslararası antlaşmalar ile planlanmıştır. Bu kapsamda küresel ısınmaya etkisi bulunmayan veya ihmal edilebilecek düzeyde düşük etkisi olan soğutucu gazların soğutma sistemlerinde gösterdikleri performansların deneysel olarak analiz edilmesi önemlidir. Deneylerin farklı buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıkları altında yapılması literatüre katkı sağlayacağı gibi gerçek uygulamadaki çeşitli soğutma sıcaklıklarını test etme açısından da önemlidir. Ayrıca bu çalışma ile elde edilen sonuçlar soğutma sistemlerinde R134A yerine R1234yf gazını kullanmayı düşünen araştırmacılara ve sektördeki ilgili firmalara ön bilgi sağlayacaktır. Bu çalışmada, R1234yf ve R134A soğutucu akışkanlarının mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde göstermiş olduğu enerji performansı -9°C, -6°C ve -3°C buharlaştırıcı ve 25°C, 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıklarından oluşan işletme parametrelerinde test edilmiştir. Kullanılan gazların özellikleri REFPROP programından elde edilmiştir (Lemmon ve ark. 2013).

2. Materyal ve Yöntem

Şekil 1, deneylerin yapıldığı soğutma sistemini göstermektedir. Sistemin temel elemanları Secop marka 0,6 kW hermetik kompresör, Günay marka 0,75 HP buharlaştırıcı, Günay marka 1 HP yoğuşturucu ve Honeywell marka kısılma vanasıdır. Sistemin yan bileşenleri ise soğutucu gaz tüpleri, vakum pompası, filtre kurutucu, gözetleme camı ve dimmerdir. Dimmer soğutma odasında bulunan ısıl dirence bağlı voltaj regülatörü olarak kullanılmıştır. Sistemde sıcaklık, basınç, debi ve kompresör güç tüketimi ölçümleri yapılmaktadır. Sistemde altı adet PT 100 tipi sıcaklık ve altı adet basınç sensörü bulunmaktadır. Sıcaklık ve basınç sensörleri sistemin temel elemanlarının giriş ve çıkışına konumlandırılmıştır. Bu sensörler, sistemde dolaşan soğutucu akışkan ile temas ederek en doğru ölçümü yapacak şekilde bakır borulara gömülü vaziyettedirler. Kompresör güç tüketimi bir wattmetre vasıtasıyla anlık olarak ölçülmüştür. Sistemdeki soğutucu akışkan debisini ölçmek için ise

türbin tipi bir hacimsel debimetre kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan kütleli debiye ulaşmak için, debimetre ile ölçülen hacimsel debi yoğunluk ile çarpılarak işlem yapılmıştır. Debi ölçüm hatalarını önlemek için, debimetre sistemin sıvı hattı olan yoğuşturucu çıkışına konumlandırılmıştır.



Şekil 1. Soğutma deney cihazı

Figure 1. Refrigeration experiment device

Sistemden alınan sıcaklık, basınç, debi ve kompresör güç tüketimi ölçümleri datalogger ile bilgisayara kaydedilmiştir. Çizelge 2’de, kullanılan sensörlerin özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2. Sensörlerin özellikleri

Table 2. Properties of sensors

Sensör	Ölçüm Aralığı	Marka	Doğruluk
Basınç	0/100 bar	Danfoss	$\pm 0,3\%$
Sıcaklık	$-50^{\circ}\text{C}/+230^{\circ}\text{C}$	Reissmann	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
Debimetre	0,1/10 litre/dak	Teksens	$\pm 1\%$
Wattmetre	0/4000 W	Entes	$\pm 1\%$

Sistemde işletme parametresi olarak seçilen buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıklarını elde etmek için çeşitli kontrol stratejileri uygulanmıştır. Soğutucu gaz sisteme basıldıktan sonra buharlaştırıcıdaki ilk önemli sıcaklık düşüşü kısılma vanasının vidası döndürülerek sağlanmıştır. İşletme parametresi olarak seçilen -9°C , -6°C ve -3°C buharlaştırıcı sıcaklıklarına ulaşmak için soğutma odasında bulunan rezistans ve buharlaştırıcı fanı kullanılarak hassas sıcaklık ayarlamaları yapılmıştır. Sistemde bulunan buharlaştırıcı fanı invertörlüdür yani fanın dönüş hızı değiştirilebilmektedir. Buharlaştırıcıda gerekli sıcaklık ayarlamaları yapılırken yoğuşturucu sıcaklığında da değişiklikler meydana gelmektedir. Operasyonel parametre olarak seçilen 25°C , 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıklarına ulaşmak için yoğuşturucu fanının dönüş hızının invertör ile değiştirilmesinden yararlanılmıştır. Fan düşük devirde çalıştığında, ortam havası ile soğutucu akışkan arasındaki ısı transfer miktarında azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle gaz ısını çevreye atamamakta ve yoğuşturucu çıkışında 35°C gibi nispeten yüksek soğutucu gaz

sıcaklıkları görülmektedir. Fan yüksek devirde çalıştığında ise ortam havası ile soğutucu akışkan arasındaki ısı transfer miktarı artmaktadır. Gazın ısını kolayca çevreye atabilmesi yoğunlaştırıcı çıkışında 25°C gibi nispeten düşük soğutucu gaz sıcaklıklarına ulaşılmasına neden olmaktadır.

Deneysel çalışmanın ve elde edilen verilerin güvenilirliği açısından deneyler hem R1234yf hem de R134A için üç kez tekrarlanmıştır. Testler stabil koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı sıcaklıklarındaki maksimum $\pm 0,2^\circ\text{C}$ aralığındaki değişiklikler veri seçimi için kabul edilmiş ve analizler bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Denklem 1 buharlaştırıcıda çekilen ısının formülasyonunu göstermektedir. Buharlaştırıcıda çekilen ısı hesaplanırken kütleli debi ile buharlaştırıcı giriş ve çıkışındaki entalpi farkının çarpımından yararlanılmaktadır.

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = \dot{m}(h_{\text{buharlaştırıcı, çıkış}} - h_{\text{buharlaştırıcı, giriş}}) \quad (1)$$

Denklem 2 ile soğutma tesir katsayısı (STK) hesaplanmaktadır. STK, buharlaştırıcıda çekilen ısının kompresör güç tüketimine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$\text{STK} = \frac{\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}}}{\dot{W}_{\text{kompresör}}} \quad (2)$$

Ölçülen değerlerin doğruluğu bir deneysel çalışma yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar arasındadır (Pektezel ve ark. 2023a). Çünkü deneyler sırasında meydana gelebilecek hatalar doğruluğu etkilemektedir. Denklem 3'te gösterilen W_R total belirsizliği simgelemektedir. R ölçülen parametreyi, x_1, x_2, \dots, x_n ölçüm hatalarından kaynaklı belirsizlikleri, w_1, w_2, \dots, w_n ise bağımsız değişkenler ile ilgili hata oranlarını göstermektedir.

$$W_R = \left[\left(\frac{\delta R}{\delta x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\delta x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta R}{\delta x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Çizelge 3'te ölçülen parametreler ile ilgili olarak yapılan belirsizlik analizi sonuçları gösterilmektedir.

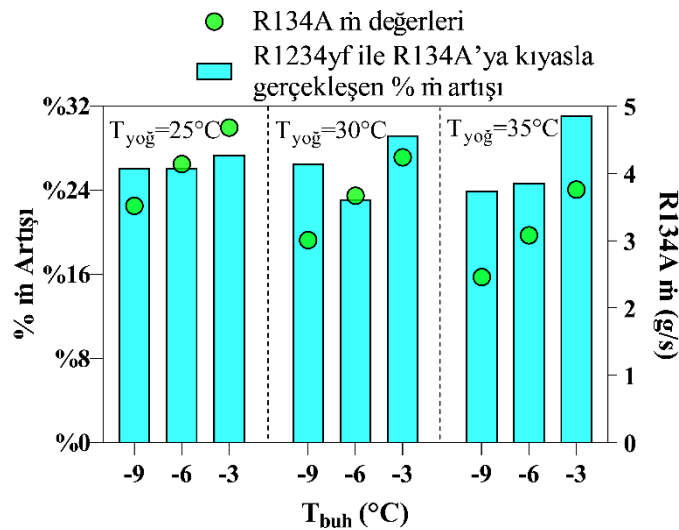
Çizelge 3. Ölçülen parametrelerin belirsizlik analizi
Table 3. Uncertainty analysis of measured parameters

Ölçülen Parametre	Belirsizlik Değeri
Debi	$\pm 0,7 \%$
Sıcaklık	$\pm 0,6^\circ\text{C}$
Basınç	$\pm 0,03 \text{ bar}$
Kompresör Güç Tüketimi	$\pm 0,3 \%$

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 2'den Şekil 6'ya kadar olan grafiklerde gösterilen yeşil daireler, R134A gazının -9°C , -6°C ve -3°C buharlaştırıcı ile 25°C , 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıklarında gösterdiği kütleli debiyi, kompresör çıkış sıcaklığını, soğutma kapasitesini, kompresör güç tüketimini ve soğutma tesir katsayısını ifade etmektedir. Mavi sütunlar ise aynı deney koşullarında R1234yf'nin R134A'ya kıyasla sağladığı yüzdesel artışı ve azalışı göstermektedir.

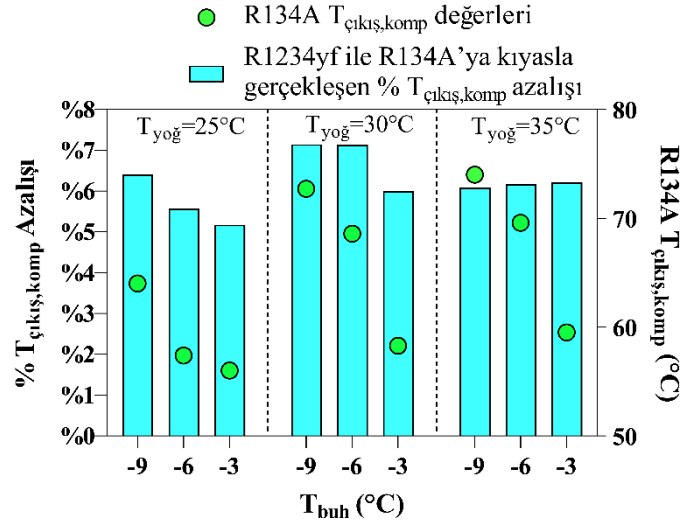
Şekil 2 çeşitli işletme koşullarında kütleli debinin değişimini göstermektedir. Sabit yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça kütleli debinin de arttığı şekilden görülmektedir. Benzer sonuçlar Mota-Babiloni ve ark. (2017) tarafından sunulmuştur. Örnek olarak R134A gazı ile 25°C yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C 'den -3°C 'ye yükselmesi kütleli debinin $3,52 \text{ g/s}$ 'den $4,68 \text{ g/s}$ 'ye yükselmesine sebep olmuştur. Benzer şekilde R1234yf gazı ile 30°C yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C 'den -3°C 'ye yükselmesi kütleli debide $\%43,83$ artış meydana getirmiştir. Sabit bir buharlaştırıcı sıcaklığında ise, yoğuşturucu sıcaklığının azalmasıyla kütleli debinin arttığı tespit edilmiştir. Örneğin -6°C buharlaştırıcı sıcaklığında R134A'nın kütleli debisi 25°C , 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıkları için sırasıyla $4,14 \text{ g/s}$, $3,67 \text{ g/s}$ ve $3,08 \text{ g/s}$ olarak ölçülmüştür. Sistemdeki bütün deney koşullarında R1234yf'nin kütleli debisi R134A'den yüksek bulunmuştur. Bu durumun oluşmasında Çizelge 1'de görüleceği üzere R1234yf'nin buhar yoğunluğunun R134A'dan yüksek olması etkili olmuştur. Tüm deney parametrelerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alındığında kütleli debide R1234yf ile R134A'ya kıyasla $\%26,52$ artış yaşandığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kütleli debinin değişimi
Figure 2. Variation of mass flow rate

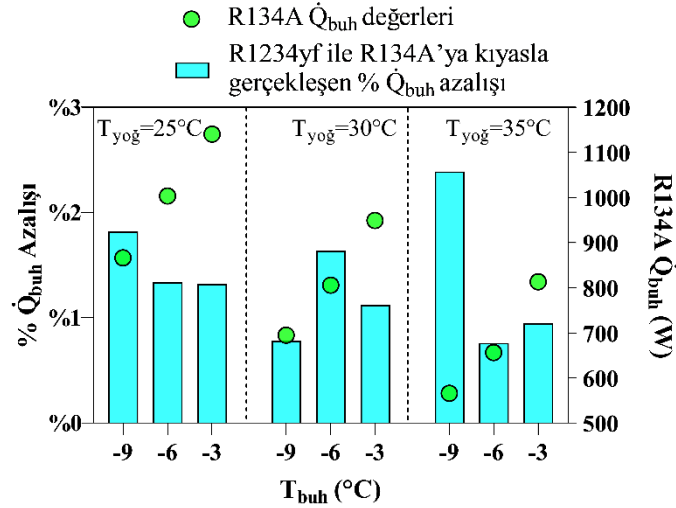
Şekil 3 çeşitli deney parametrelerinde kompresör çıkış sıcaklığının değişimini R1234yf ve R134A gazları için göstermektedir. Sabit bir yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça kompresör çıkış sıcaklığının azaldığı şekilden görülmektedir. Ayrıca sabit bir buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığı yükseldikçe kompresör çıkış sıcaklığı artmaktadır. Kompresör çıkış sıcaklığının buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıklarındaki değişimlere karşı gösterdiği benzer eğilim önceki çalışmalarda da tespit edilmiştir (Pektezel ve ark. 2023b; Sánchez ve ark. 2017). R134A gazı için 30°C yoğuşturucu sıcaklığında buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C 'den -3°C 'ye yükselmesi kompresör çıkış sıcaklığında

%19,81 azalma meydana getirmiştir. -9°C buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığının 25°C 'den 35°C 'ye yükselmesi R134A gazının kompresör çıkışı sıcaklığını 64°C 'den 74°C 'ye yükseltmiştir. Sistemde bütün işletme şartlarında R1234yf'nin kompresör çıkış sıcaklığı R134A'dan düşük bulunmuştur. Deneylerin ortalaması alındığında R1234yf'nin kompresör çıkış sıcaklığının R134A'dan %6,27 düşük olduğu saptanmıştır. R1234yf'nin kompresör çıkış sıcaklığının R134A'dan az olması önemlidir. Çünkü, kompresörün ömrünü uzatmak için kompresör çıkış sıcaklığının düşük olması gerektiği, aksi takdirde kompresör yağında bozulmalar gerçekleşebileceği önceki çalışmalarda vurgulanmıştır (Das ve ark. 2022; Mota-Babiloni ve ark. 2017).



Şekil 3. Kompresör çıkış sıcaklığının değişimi
Figure 3. Change of compressor discharge temperature

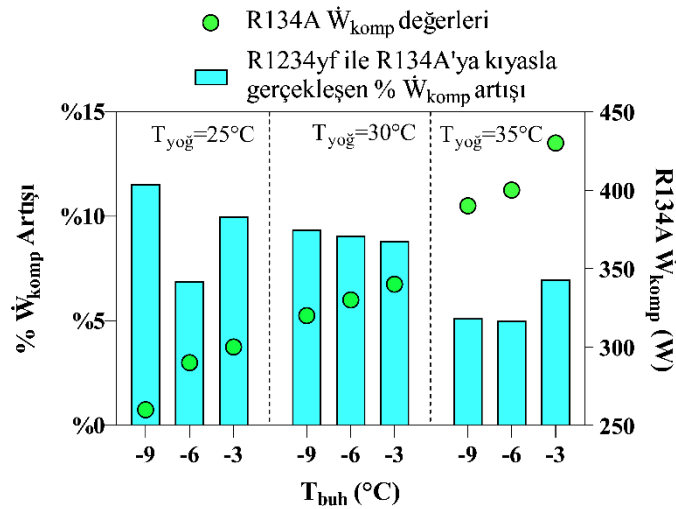
Şekil 4 çeşitli deneysel şartlarda soğutma kapasitesinin değişimini hem R1234yf hem de R134A için göstermektedir. Sabit bir yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesinin yükseldiği şekilde görülmektedir. Benzer bulgular literatürde sunulmuştur (Das ve Pektezel 2022; Makhnatch ve ark. 2017). Örnek olarak R134A gazı ile 35°C yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C 'den -3°C 'ye yükselmesi soğutma kapasitesinde %43,71 artış meydana getirmiştir. Sabit bir buharlaştırıcı sıcaklığında ise, yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça soğutma kapasitesi düşmektedir. Örneğin R1234yf gazının sabit -3°C buharlaştırıcı sıcaklığındaki soğutma kapasitesi 25°C , 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıkları için sırasıyla 1125 W, 938 W ve 805 W olmuştur. Sistemde bütün deney şartlarında R134A'nın soğutma kapasitesinin R1234yf'den yüksek olduğu tespit edilmiştir. R134A gazı R1234yf'ye kıyasla soğutma kapasitesinde ortalama %1,35 artış sağlamıştır. Sistemde elde edilen en yüksek soğutma kapasitesi 25°C yoğuşturucu ve -3°C buharlaştırıcı sıcaklıklarından oluşan işletme koşulunda gerçekleşmiş olup R134A ile 1140 W, R1234yf ile 1125 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Soğutma kapasitesinin değişimi

Figure 4. Variation of cooling capacity

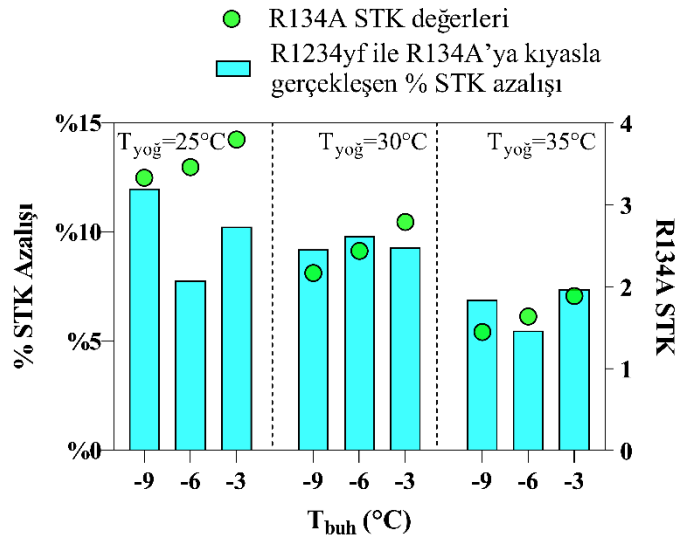
Şekil 5 farklı işletme parametrelerinde kompresörün güç tüketiminde meydana gelen değişimleri R1234yf ve R134A gazları için göstermektedir. Sabit yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığı yükseldikçe kompresörün daha fazla güç tükettiği şekilden görülmektedir. Örneğin 25°C yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C'den -3°C'ye yükselmesi R134A gazının kompresör güç tüketimini 260 W'tan 300 W'a çıkarmıştır. Sabit buharlaştırıcı sıcaklığında ise, yoğuşturucu sıcaklığının artmasıyla kompresörün güç tüketimi artmaktadır. Örnek olarak -9°C buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığının 25°C'den 35'ye yükselmesi R1234yf'nin kompresör güç tüketimini 290 W'tan 410 W'a yükseltmiştir. Buharlaştırıcı ve yoğuşturucu sıcaklıklarının değişmesi ile kompresör güç tüketiminde meydana gelen değişim ile ilgili benzer sonuçlar literatürde sunulmuştur (Oruç ve Devecioğlu 2021; Pektez el ve Acar 2023). Tüm işletme koşullarında R1234yf gazı R134A'ya kıyasla daha fazla kompresör gücü tüketmiştir. Deneylerin ortalaması alındığında R1234yf ile R134A'ya kıyasla kompresör güç tüketiminde %7,84 artış kaydedilmiştir. Sistemde en yüksek kompresör güç tüketimi R134A ile 430 W, R1234yf ile 460 W olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Kompresör güç tüketiminin değişimi

Figure 5. Change of compressor power consumption

Şekil 6 çeşitli işletme koşullarında soğutma tesir katsayısında oluşan değişimi hem R1234yf hem de R134A için göstermektedir. Sabit yoğuşturucu sıcaklığında, buharlaştırıcı sıcaklığı arttıkça soğutma tesir katsayısında yükselme gerçekleştiği şekilden görülmektedir. Benzer bulgular Makhnatch ve ark. (2019) tarafından sunulmuştur. Örnek olarak 30°C yoğuşturucu sıcaklığı altında, buharlaştırıcı sıcaklığının -9°C'den -3°C'ye yükselmesi R134A gazının soğutma tesir katsayısında %28,57'lik bir artış meydana getirmiştir. Sabit buharlaştırıcı sıcaklığında ise, yoğuşturucu sıcaklığı arttıkça STK değeri düşmektedir. Örneğin -6°C buharlaştırıcı sıcaklığında, yoğuşturucu sıcaklığının 25°C'den 35'ye yükselmesi R1234yf'nin gazının soğutma tesir katsayısında %51,41 düşüş meydana getirmiştir. Sistemde bütün işletme şartlarında R134A gazının STK değeri R1234yf'den yüksek bulunmuştur. Deneylerin ortalaması alındığında R134A'nın STK değerinin R1234yf'den %9,91 fazla olduğu tespit edilmiştir. Sistemdeki en yüksek STK değeri R1234yf ve R134A gazları için sırasıyla 3,4 ve 3,8 olmuştur. Soğutma tesir katsayısında akışkanlar arasında meydana gelen farkta, R1234yf'nin kompresör güç tüketiminin R134A'dan yüksek olması etkili olmuştur.



Şekil 6. Soğutma tesir katsayısının değişimi
Figure 6. Variation of coefficient of performance

4. Sonuç

Bu çalışmada R1234yf ve R134A gazlarının enerji performansları mekanik buhar sıkıştırıcı soğutma sisteminde deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde -9°C, -6°C ve -3°C buharlaştırıcı, ayrıca 25°C, 30°C ve 35°C yoğuşturucu sıcaklıkları işletme parametreleri olarak seçilmiştir. Sonuçlar R1234yf'nin kütleli debisinin R134A'dan ortalama olarak %26,52 yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Her iki gazın soğutma kapasiteleri birbirine yakın değerler sergilese de R134A'nın soğutma kapasitesi R1234yf'den ortalama olarak %1,35 daha fazla bulunmuştur. Kompresör güç tüketiminde R1234yf ile R134A'ya kıyasla ortalama %7,84 artış yaşanmıştır. Soğutma tesir katsayısında ise R134A ile R1234yf'ye kıyasla %9,91 artış sağlanmıştır.

R1234yf'nin küresel ısınma potansiyelinin çok düşük olması, ayrıca uluslararası anlaşmalar kapsamında R134A gibi küresel ısınmaya neden olan gazların soğutma sistemlerinden kaldırılmasının zorunlu hale getirilmesi, çevresel perspektife göre R1234yf'nin R134A yerine soğutma sistemlerinde tercih edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, enerji performansı açısından R134a'nın R1234yf'den daha iyi olduğu

saptanmıştır. Kullanılan gazların soğutma kapasitelerinin yakın olması önemli bulgulardan bir tanesidir. Sisteme şarj edilen gaz miktarının optimize edilmesi gibi küçük değişiklikler ile R1234yf'nin kompresör güç tüketimi düşürülebilir, böylece daha yüksek soğutma tesir katsayıları elde edilerek R1234yf gazının daha verimli hale gelmesi mümkün olabilir.

5. Kaynaklar

- Abas, N., Kalair, A.R., Khan, N., Haider, A., Saleem, Z., Saleem, M.S. 2018. Natural and synthetic refrigerants, global warming: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 557-569.
- Al-Sayyab, A.K.S., Navarro-Esbri, J., Barragán-Cervera, A., Kim, S., Mota-Babiloni, A. 2022. Comprehensive experimental evaluation of R1234yf-based low GWP working fluids for refrigeration and heat pumps. *Energy Conversion and Management*, 258, 115378.
- Alkan, A., Kolip, A., Hosoz, M. 2021. Energetic and exergetic performance comparison of an experimental automotive air conditioning system using refrigerants R1234yf and R134a. *Journal of Thermal Engineering*, 7, 1163-1173.
- Apra, C., Greco, A., Maiorino, A. 2016. An experimental investigation on the substitution of HFC134a with HFO1234YF in a domestic refrigerator. *Applied Thermal Engineering*, 106, 959-967.
- Belman-Flores, J.M., Rodríguez-Muñoz, A.P., Pérez-Reguera, C.G., Mota-Babiloni, A. 2017. Experimental study of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a domestic refrigerator. *International Journal of Refrigeration*, 81, 1-11.
- Das, M., Pektezel, O. 2022. Experimental and numerical comparison of thermodynamic performances of new and old generation refrigerants in the same cooling system. *Thermal Science*, 26, 4841-4854.
- Das, M., Pektezel, O., Alic, E. 2022. Experimental and numerical investigation of thermal performances of R290 and R1234yf refrigerants in a cold room. *Science and Technology for the Built Environment*, 28, 970-984.
- Devecioğlu, A., Vedat, O. 2018. A Comparative Energetic Analysis For Some Low-Gwp Refrigerants As R134a Replacements In Various Vapor. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38, 51-61.
- Devecioğlu, A.G., Oruç, V. 2018. Improvement on the energy performance of a refrigeration system adapting a plate-type heat exchanger and low-GWP refrigerants as alternatives to R134a. *Energy*, 155, 105-116.
- Gardenghi, Á.R., Lacerda, J.F., Tibiriçá, C.B., Cabezas-Gómez, L. 2021. Numerical and experimental study of the transient behavior of a domestic vapor compression refrigeration system – Influence of refrigerant charge and ambient temperature. *Applied Thermal Engineering*, 190,
- Harby, K. 2017. Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1247-1264.
- Heredia-Aricapa, Y., Belman-Flores, J.M., Mota-Babiloni, A., Serrano-Arellano, J., García-Pabón, J.J. 2020. Overview of low GWP mixtures for the replacement of HFC refrigerants: R134a, R404A and R410A. *International Journal of Refrigeration*, 111, 113-123.
- Lemmon, E.W., Huber, M.L., McLinden, M.O. 2013. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1. National Institute of Standards and Technology,
- Makhnatch, P., Mota-Babiloni, A., Khodabandeh, R. 2017. Experimental study of R450A drop-in performance in an R134a small capacity refrigeration unit. *International Journal of Refrigeration*, 84, 26-35.
- Makhnatch, P., Mota-Babiloni, A., López-Belchí, A., Khodabandeh, R. 2019. R450A and R513A as lower GWP mixtures for high ambient temperature countries: Experimental comparison with R134a. *Energy*, 166, 223-235.
- Mota-Babiloni, A., Makhnatch, P., Khodabandeh, R., Navarro-Esbri, J. 2017. Experimental assessment of R134a and its lower GWP alternative R513A. *International Journal of Refrigeration*, 74, 682-688.
- Oruç, V., Devecioğlu, A.G. 2018. Retrofitting an air-conditioning device to utilize R1234yf and R1234ze(E) refrigerants as alternatives to R22. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40,
- Oruç, V., Devecioğlu, A.G. 2021. Experimental investigation on the low-GWP HFC/HFO blends R454A and R454C in a R404A refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 128, 242-251.
- Pektezel, O., Acar, H.I. 2023. Experimental comparison of R290 and R600a and prediction of performance with machine learning algorithms. *Science and Technology for the Built Environment*, 29, 508-522.

- Pektezel, O., Das, M., Acar, H.I. 2023a. Experimental exergy analysis of low-GWP R290 refrigerant and derivation of exergetic performance equations with regression algorithms. *International Journal of Exergy*, 40, 467-482.
- Pektezel, O., Das, M., Ibrahim Acar, H. 2023b. Experimental Analysis of Different Refrigerants' Thermal Behavior and Predicting Their Performance Parameters. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 37, 309-319.
- Sánchez, D., Andreu-Nácher, A., Calleja-Anta, D., Llopis, R., Cabello, R. 2022. Energy impact evaluation of different low-GWP alternatives to replace R134a in a beverage cooler. Experimental analysis and optimization for the pure refrigerants R152a, R1234yf, R290, R1270, R600a and R744. *Energy Conversion and Management*, 256, 115388.
- Sánchez, D., Cabello, R., Llopis, R., Arauzo, I., Catalán-Gil, J., Torrella, E. 2017. Energy performance evaluation of R1234yf, R1234ze(E), R600a, R290 and R152a as low-GWP R134a alternatives. *International Journal of Refrigeration*, 74, 269-282.
- Sieres, J., Santos, J.M. 2018. Experimental analysis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a small power refrigerating system. *International Journal of Refrigeration*, 91, 230-238.
- Zendehboudi, A., Mota-Babiloni, A., Makhnatch, P., Saidur, R., Sait, S.M. 2019. Modeling and multi-objective optimization of an R450A vapor compression refrigeration system. *International Journal of Refrigeration*, 100, 141-155.