

Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Sisteminde R22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Termodinamik Analizi

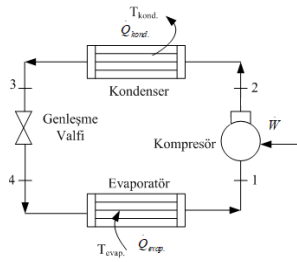
The Thermodynamic Analysis of the Refrigerants Alternative to R22 in the Vapor Compression Refrigeration System

Önemli noktalar (Highlights)

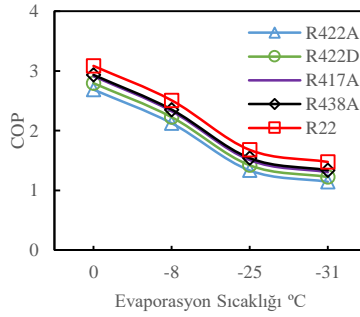
- ❖ R22 alternatifi olan R417A, R438A, R422A ve R422D soğutucu akışkanlarının performansları termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre incelenmiştir./The performances of R417A, R438A, R422A and R422D, which are alternative to R22, were examined according to the first and second law of thermodynamics.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

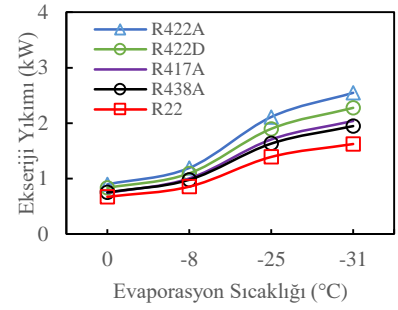
Tek kademeli, teorik buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, sistemin performans analizi termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi. /Figure. Vapor compression refrigeration cycle.



Şekil. COP değerleri./Figure. COP values.



Şekil. Ekserji yıkımları. /Figure. Exergy destructions

Amaç (Aim)

R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanlarının performans analizinin yapılması amaçlanmıştır./Performance analysis of R417A, R422A, R422D and R438A refrigerants is aimed.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Soğutma sistemi tasarım parametreleri kullanılarak Chemours Refrigerant Expert programı ile simüle edilmiştir./Refrigeration system was simulated with Chemours Refrigerant Expert program using design parameters.

Özgünlük (Originality)

Yoğuşma sıcaklığı sabit (50 °C) tutulurken, evaporasyon sıcaklıkları EUROVENT şartlarına göre (0 °C, -8 °C, -25 °C, -31 °C) belirlenmiştir./ While the condensation temperature is kept constant (50 °C), evaporation temperatures are determined according to EUROVENT conditions (0 °C, -8 °C, -25 °C, -31 °C).

Bulgular (Findings)

R22'nin COP değeri, incelenen alternatif akışkan COP değerlerinden daha fazladır. En düşük ekserji yıkımı R22 akışkanında tespit edilmiştir. Ardından R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanları gelmektedir./The COP value of R22 is higher than the alternative refrigerants COP values studied. The lowest exergy destruction was detected in R22 refrigerant. Subsequently, R438A, R417A, R422D and R422A refrigerants are followed.

Sonuç (Conclusion)

Enerji ve ekserji analizi sonucunda, performans olarak, R22 soğutucu akışkanına en iyi alternatifin sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu tespit edilmiştir./ As a result of energy and exergy analysis, it was determined that the best alternative to R22 refrigerant as performance is R438A, R417A, R422D and R422A, respectively.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde R22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Termodinamik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Zafer CİNGİZ^{1*}, Ferzan KATIRCIOĞLU², Yusuf ÇAY³, Ahmet KOLİP³

¹Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Eğitimi Böl., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

²Düzce MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.04.2019 ; Kabul/Accepted : 30.11.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan R22 soğutucu akışkanına alternatif ve ozon tabakasına dost R417A, R438A, R422A ve R422D soğutucu akışkanlarının performansları termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına göre incelenmiştir. Buhar sıkıştırılmalı çevrimin tasarımı için Chemours Refrigerant Expert 1.0 programı kullanılmıştır. Yapılan analizlerde yoğuşma sıcaklığı sabit (50 °C) tutulurken, evaporasyon sıcaklıkları EUROVENT şartlarına göre (0 °C, -8 °C, -25 °C, -31 °C) belirlenmiştir. Farklı evaporasyon sıcaklıklarına göre hesaplanan parametreler, gerekli kompresör gücü, performans katsayısı (COP) ve gerekli soğutucu akışkan kütle akış oranıdır. Sonuçlar, R438A ve R417A soğutucu akışkanlarının COP değerlerinin R22'ye çok yakın olduğunu göstermiştir. R22 soğutucu akışkanına göre COP değerleri, R438A'da %5, R417A'da %6, R422A'da %15 ve R422D'de %10 düşük olmuştur. Bu değerler R422D için %13 ve R422A için ise %17 olarak hesaplanmıştır. Analiz edilen sistemlere ait en yüksek ekserji verimi, -25 °C evaporasyon sıcaklığında R438A için %31.74, R417A için %31 ve R422A için %27.46 ve R422D için ise %29.24 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda, R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak geliştirilen R417A, R438A, R422A ve R422D akışkanlarından, R438A akışkanının daha yüksek COP değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kondenser ve kompresör yükleri incelendiğinde en iyi sonuçları sırası ile R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının verdiği görülmüştür. Genel olarak incelenen 4 alternatif akışkandan R438A ve R417A'nın, COP, ekserji verimliliği, ekserji yıkımları açısından R22 için daha iyi bir alternatif olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, soğutucu akışkan, ekserji, COP, GWP, ODP.

The Thermodynamic Analysis of the Refrigerants Alternative to R22 in the Vapor Compression Refrigeration System

ABSTRACT

In this study, the performances of the R417A, R438A, R422A and R422D refrigerants which are alternative to the commonly used and ozone layer-friendly R22 refrigerant are examined according to the first and second law of thermodynamics. Chemours Refrigerant Expert 1.0 and Genetron Properties 1.4 were used for the design of the vapor compression cycle. While the condensing temperature was kept constant during the analyses, the evaporation temperatures were determined according to the EUROVENT conditions (0 °C, -8 °C, -25 °C, -31 °C). The parameters calculated according to different evaporation temperatures are the required compressor power, performance coefficient (COP), and the required refrigerant mass flow rate. The results showed that the COP values of the R438A and R417A refrigerants were very close to that of R22. The COP values were 5%, 6%, 15% and 10% lower in R438A, in R417A, in R422A, and in R422D, respectively compared to the R22 refrigerant. The COP values were calculated as 13% for R422D and 17% for R422A. The highest exergy efficiency of the analyzed systems was calculated as 31.74% for R438A, 31% for R417A, 27.46% for R422A, and 29.24% for R422D at -25°C evaporation temperature. The results of our study revealed that among the R417A, R438A, R422A and R422D refrigerants developed as an alternative to R22 refrigerant, the R438A refrigerant had comparatively higher COP values. Also, when the condenser and compressor loads were examined, it was found that the R438A, R417A, R422D and R422A refrigerants yielded the best results, respectively. Among the four alternative refrigerants examined, R438A and R417A were found to be better alternatives to R22 in terms of COP values, exergy efficiency, and exergy destruction.

Keywords: Energy, refrigerant, exergy, COP, GWP, ODP.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bazı soğutma sistemi uygulamalarında kullanılan R22 soğutucu akışkanının ozon tabakasına verdiği zarardan

dolayı, yürürlükten kaldırılması ve yasaklanması bir takvime göre belirlenmiştir. AB düzenlemesi ile mevcut cihazların 1 Ocak 2015 tarihine kadar kullanılması, bu tarihten sonra da ozona zarar vermeyen soğutucu akışkan kullanan cihazlarla değiştirilmesi zorunluluğu getirilmiştir [1]. R22 soğutucu akışkanı ile çalışan

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : zafercingiz@duzce.edu.tr

mevcut cihazlarda yapısal bir değişiklik yapmadan, ekonomik yarar sağlaması açısından ozon tabakasına zarar vermeyen soğutucu akışkanlar kullanılabilir. Bakım ve arıza gibi nedenlerden dolayı, soğutma sistemleri soğutucu akışkanını kaybedebilmektedir. R22 klor atomu içermesi nedeniyle, ozon tabakasının yok olmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden R22 ile çalışan sistemleri, ozon yok etme potansiyeli (ODP) değeri sıfır olan soğutucu akışkanlarla değiştirilmelidir. Uygun alternatif akışkanlar sistemlerde herhangi bir yapısal düzenleme yapılmadan doğrudan sisteme şarj edilebilecekleri gibi, bazı küçük değişiklikler uygulandıktan sonra da kullanılabilirler [2-4].

Soğutma sistemlerinde R22 akışkanına alternatif olabilecek akışkanların termodinamik ve çevresel etkileri üzerine farklı çalışmalar yapılmıştır. Rocca ve Panno [5], tarafından, buhar sıkıştırma soğutma sisteminde, R22 yerine R417A, R422A ve R422D kullanılarak yapılan bir çalışmada, önemli bir sistem düzenlemesi gerekmediği, ancak enerji verimliliğinde iyileşmeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Allgood ve Lawson [6], mevcut soğutma ve klima sistemlerinde R438A soğutucu akışkanı ile deneyler gerçekleştirilmiş ve R22 ile kıyaslandığında aynı soğutma performansı ve enerji verimliliğinin elde edildiği bildirilmiştir. Yenileme işlemi sırasında yağ değişiminde herhangi bir değişiklik olmadan elde edilen düşük deşarj sıcaklığı ve yakın değerlerde evaporatör ve kondenser basıncı gözlenmiştir. Panno ve Rocca [5], yaptıkları çalışmada, R22 ile çalışan bir buhar sıkıştırma soğutma sisteminin performansını ve 2037/2000 sayılı Yönetmeliğe göre, soğutucu akışkanın değiştirilmesi ile HFC soğutucu akışkanına oranla kıyaslayarak performansını ele alan deneysel analiz sonucunu ortaya koymuşlardır. Özellikle, sistemin çalışma verimliliği ilk olarak R22 soğutucu akışkanıyla daha sonrasında da üç yeni HFC akışkanı olan R417A,

R422A ve R422D ile test edilmiştir. İnceleme, yenileme ve değiştirme durumunda, kompresörde bir yağlayıcı olarak mineral yağ kullanımının devam etme avantajına rağmen, yeni test edilen akışkanlarla elde edilen performansın R22'ye göre verimli sonuç vermediğini doğrulamıştır. Elgandy vd. [7] yaptıkları çalışmada, R-22 ve alternatifleri arasındaki (R417A, R422D ve R438A) yaptıkları incelemede, R-438A'nın R22'ye en yakın soğutucu akışkan olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu sayede, R-438A soğutucu akışkanı, R-22 kullanan sistemin, kılcal borusu değiştirilmeden kullanılabilir. Rocca vd. [8] buhar sıkıştırma soğutma sistemi üzerinde yapmış olduğu deneylerde, referans akışkan olarak R22 ve onun alternatiflerini, soğutucu akışkanların sıcaklığını, basıncını ve kütle miktarını incelemişlerdir. Bu çalışmada test edilen alternatif akışkanlar (R413, R417A, R422A ve R422D), yağ ve diğer ekipmanların değişimi yapılmadan, R22 ile rahatça yenilenebilir. Bu, herhangi bir özel ekipman olmadan ve çok düşük bir maliyetle gerçekleştirilebilen basit bir işlemdir. Ergün vd. [9], çalışmalarında soğuk depoculukta ve iklimlendirme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak piyasaya sürülen ve ozon tabakasına dost olan, R417A ve R438A soğutucu akışkanlarını termodinamik açıdan incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, R22, R417A ve R438A soğutucu akışkanlarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Değişken yük koşulları altında (-8°C, 0°C, -25°C ve -31°C) her 3 soğutucu akışkanın bilgisayar ortamında bir simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Farklı evaporasyon sıcaklıkları için, soğutucu akışkanların performansları termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu kullanılarak değerlendirilmiş ve sistemlere ait performans katsayıları (COP_h ve COP_c) hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda, R22 soğutucu akışkanına alternatif olarak geliştirilen R417A ve R438A akışkanlarından, R438A akışkanının daha yüksek COP_h

Çizelge 1. Soğutucu Akışkanların Özellikleri (Properties of Refrigerants) [11, 12].

Soğutucu akışkan	Bileşim	Moleküler Ağırlık (kg/kmol)	Kritik Sıcaklık (°C)	Kaynama Noktası (°C)	ODP	GWP
R22		86.5	96.2	-40.8	0.05	1810
R417A	R-125 (% 46.6) R-134a (% 50) R-600 (% 3.4)	106.8	87.1	-39.1	0	2346
R422A	R-125 (% 85.1) R-134a (% 11.5) R-600a (% 3.4)	116	71.7	-48.6	0	3140
R422D	R-125 (% 65.1) R-134a (% 31.5) R-600a (% 3.4)	109.9	79.6	-43.2	0	2730
R438A	R-125 (% 45) R-134a (% 44.2) R-601a (% 0.6) R-32 (% 8.5)	99.1	85.3	-42.3	0	2264

ve COP_c değerlerine sahip olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca kondenser ve kompresör yükleri incelendiğinde yine R438A akışkanının, R417A akışkanına göre daha olumlu değerlerde olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak incelen 3 akışkan için R22 akışkanına en iyi alternatifin R438A olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, iklimlendirme ve soğutma cihazlarında yaygın olarak kullanılan R22 soğutucu akışkan ile sistemde hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilen 4 farklı HFC türü soğutucu akışkan termodinamik açıdan karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, R22 akışkanına alternatif olan ve ozon tabakasına dost R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanlarının soğutma sistemlerine yönelik detaylı performans analizi yapılmıştır.

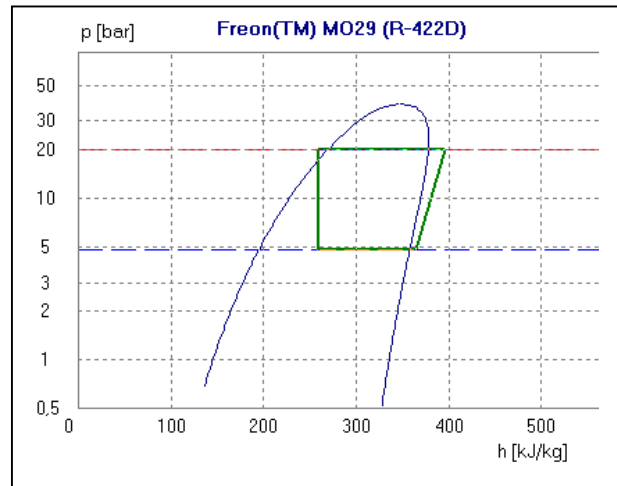
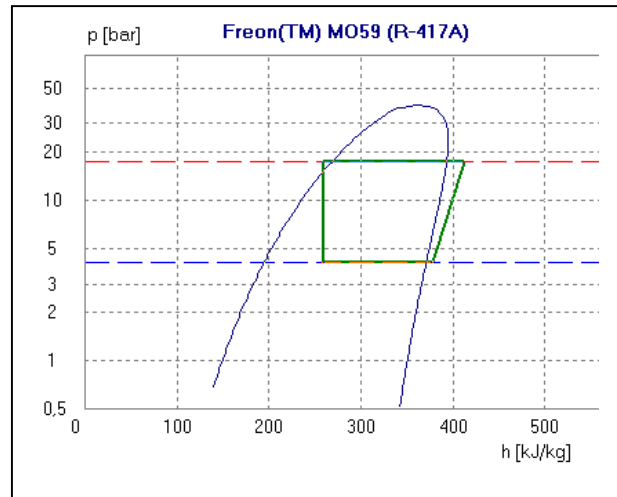
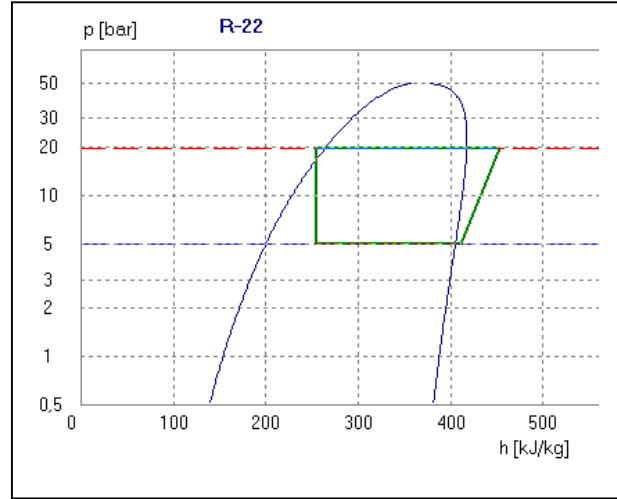
2. DEĞERLENDİRİLEN SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF EVALUATED COOLANT FLUIDS)

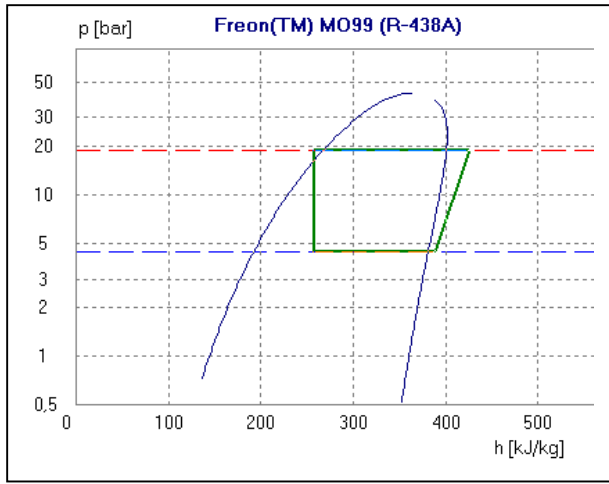
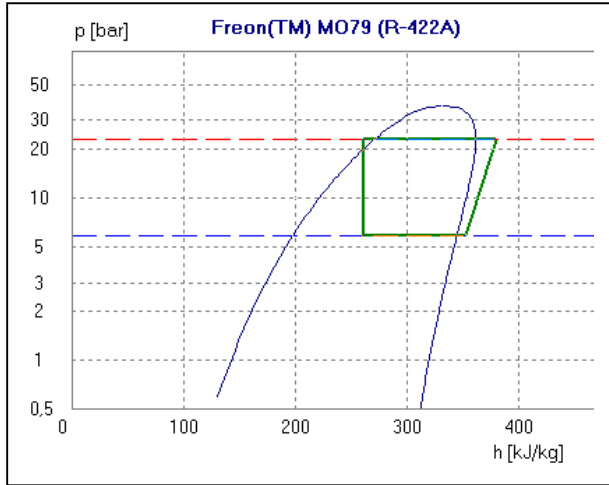
Soğutucu akışkanda aranan özellikler, uygulama ve çalışma şartlarının durumuna göre değişir. Soğutucu akışkanın çalışma durumuna ve şartlara göre bazı özellikleri daha önemli olur ve bu durumda diğer özellikler göz ardı edilebilir. Bir soğutucu akışkanda olması gereken özelliklerin hepsinin birden yerine getirebilen bir soğutucu akışkan yoktur. Çevreye en az zarar veren ve verimi en yüksek olan akışkanlar kullanılmalıdır. Farklı araştırmacılar, CFC (kloroflorokarbon) ve HCFC (hidrokloroflorokarbon) soğutucu akışkanlara uygun alternatif olarak birkaç HFC (hidroflorokarbon) ve HC (hidrokarbon) soğutucu akışkanı önermiştir. CFC ve HCFC soğutucularına kıyasla sıfır ODP'ye kısmen yüksek GWP'ye sahip bazı HFC (R417A, R422A, R422D, R438A) soğutucu akışkanların özellikleri Çizelge 1'de gösterilmektedir [10, 11].

R22 soğutucu akışkanın GWP değeri alternatifi olan akışkanlardan daha düşüktür. Ancak ODP değerlerinin sıfır olması sebebiyle orta vadede R22 ile çalışan sistemlerde kullanılmasının uygun olacağı düşünülebilir. İçerdiği klor atomları sebebiyle R22, ozon tabakasının yok olmasına yol açmaktadır. Bu yüzden R22 ile çalışan sistemleri, uzun vade de ozon yok etme potansiyeli (ODP) değeri sıfır olan düşük küresel ısınma potansiyeline (GWP) sahip soğutucu akışkanlarla değiştirilmelidirler. Yüksek GWP, yüksek çevresel etki demektir. Sonuç olarak düşük GWP soğutucularının benimsenmesi toplam çevresel etkilerin azaltılması açısından etkili bir çözüm olmadığına varılmıştır.

F-Gaz terimiyle, hidroflorokarbon (HFC) kastedilmekte olup endüstriyel soğutma ve iklimlendirme sistemleri uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. R22'ye alternatif olarak incelediğimiz dört soğutucu akışkan bu gruptandır. HFC gazları, CFC ve HCFC'lerin yerini alan, ozon tabakasına zararlı olmayan, düşük toksit değerlere sahip ve çoğu yanıcı olmayan maddeleri içermektedir. Bununla beraber, küresel ısınma potansiyelleri (GWP) bağlı olarak yüksektir.

R22 soğutucu akışkanının ekserji verimi daha iyi performans göstermiştir. Ancak bu soğutucu akışkanın yüksek ODP tüketme potansiyelinin bulunması önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu akışkana alternatif olarak seçilen dört akışkan temelli bir değerlendirme yapılmıştır.



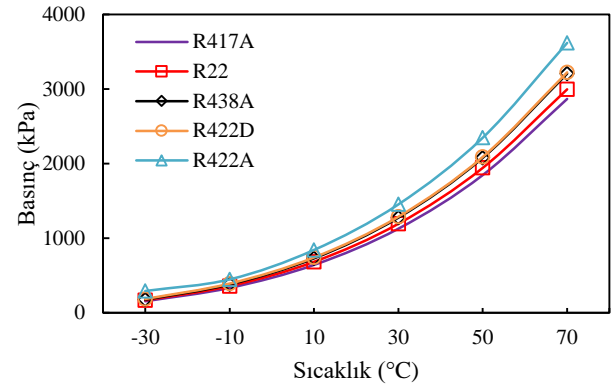


Şekil 1. R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanlara ait ln p-h diyagramları (ln p-h diagrams of R22, R417A, R422A, R422D and R438A refrigerants)

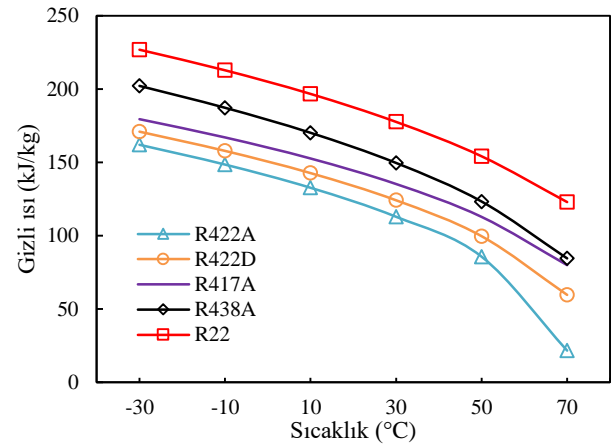
Şekil 1’de bu çalışmada incelenen beş farklı soğutucu gazı için ln p-h diyagramları (0 °C evaporasyon ve 50 °C yoğuşma sıcaklığı için) ve ele alınan çevrimler görülmektedir.

Şekil 2’de bu çalışmada araştırılan beş farklı soğutucu gazın -30°C ile 70°C sıcaklık aralığı için basıncının değişimi görülmektedir. Doyma basınçlarına dikkat edildiğinde, gazların termodinamik özelliklerinin birbirine yakın oldukları anlaşılabilir. Düşük sıcaklık değerlerinde (-10°C’den düşük olan) doyma basınçları neredeyse aynıdır. Sistemin düşük basınç değerlerinde çalışması kompresör ömrünün daha uzun olmasına sebep olur.

Şekil 3’de analiz edilecek beş soğutucu akışkanın gizli ısının sıcaklığa göre değişimi görülmektedir. Sıcaklık artışıyla gizli ısının azaldığı anlaşılmaktadır. Evaporasyon gizli ısısı yüksek olmalıdır. Evaporasyon gizli ısısı ne kadar yüksek olursa sistemde o oranda soğutucu akışkan kullanılacaktır. Gizli ısının yüksek olması istenen bir sonuçtur çünkü daha büyük gizli ısı değeri, soğutma kapasitesinin artmasına yol açar.



Şekil 2. Çalışmada incelenen soğutucu akışkanlar için sıcaklığa karşı doyma basıncının değişimi (Change of saturation pressure to temperature for refrigerants examined in the study)



Şekil 3. Soğutucu akışkanlar için gizli ısının sıcaklıkla değişimi (The variation of latent heat with temperature for the refrigerants)

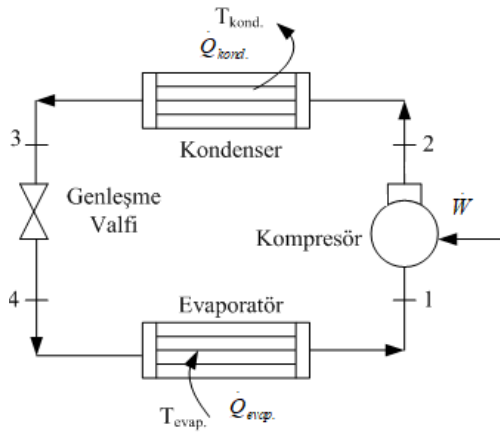
3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Yapılan bu çalışmada, R22’ye alternatif olabilecek R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanları incelenmiştir. CFC gazların tüketiminin yasaklanması ile birlikte gelen süreçte ozon tabakasına zarar veren diğer bir gaz grubu olan HCFC gazların da kullanımı önce sınırlandırılmış ardından tamamen yasaklanmıştır. Bu gazlardan en çok kullanılanı R-22 gazıdır. Bu gaz, klimalardan soğuk hava depolarına kadar birçok sistemde kullanılmaktadır. R-22 gazının alternatifi olarak çeşitli gazlar kullanılmıştır.

Bunlardan en sık kullanılanları R404A, R407c ve R410A gazlarıdır. Ancak bu gazların mevcut sistemlere entegre edilmesinde önemli bir problem ortaya çıkmaktadır. R-22 yerine bu gazlardan herhangi birinin sisteme alınabilmesi için sistem boru hatlarında ve ekipmanlarında değişiklikler yapmak gerekmektedir. Bu durum, uygulamada önemli güçlükler çıkarır. Bu problemi ortadan kaldırabilmek amacıyla dört yeni alternatif HFC grubu gaz piyasaya sürülmüştür. Bunlar; R417A, R422A, R422D ve R438A gazlarıdır. Bu

gazların ön önemli avantajı; sistem boyutlandırmasında herhangi bir değişikliğe gerek kalmaması ve sadece kurutucu-filtre değişimi ile sisteme uyum sağlayabilmesidir [9, 12-14].

Bu çalışmada incelenen soğutma sistemi Çizelge 3'deki tasarım parametreleri kullanılarak Chemours Refrigrant Expert programı ile simüle edilmiştir. Chemours Refrigrant Expert programı, yenileme veya yeni sistem tasarımı için farklı çalışma koşullarında ve sistem düzeneklerinde hızlı ve kolay soğutucu seçimi sağlar [15]. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şematik gösterimi ve sisteme ait çevrim noktaları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi (Ideal vapor compression refrigeration cycle)

Çalışmada tek kademeli, teorik buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma çevrimi incelenmiştir. Termodinamik ve çevresel analiz R22, R417A, R422A, R422D ve R438A soğutucu akışkanları için yapılmıştır. Sistemi oluşturan temel elemanlar kompresör, kondenser, genleşme valfi ve evaporatördür. Sistemin çözümlenmesinde bazı kabuller yapılmıştır; sistemin sürekli rejim şartlarında çalıştığı, soğutma sistemi elemanları ile borulardaki, ısı ve basınç kayıplarının ihmal edildiği, evaporatör ve kondenser fanlarının enerji tüketiminin ihmal edildiği varsayılmıştır. Çevrim elemanlarında sürekli rejim çalışma şartları geçerlidir[16]. Ayrıca soğutma sisteminin teorik analizinde kullanılan değerler Çizelge 2'de belirtilmektedir.

Çizelge 2. Analiz İçin Kabuller (Assumptions for Analysis)

Soğutma Kapasitesi, \dot{Q}_e (kW)	5
Evaporasyon Sıcaklığı, T_{evap} (°C)	0, -8, -25, -31
Kondenser Sıcaklığı, T_{kond} (°C)	50
Aşırı Kızdırma, (°C)	8
Aşırı Soğutma (°C)	6
Kompresör Mekanik Verimi (%)	85
Kompresör Elektrik Verimi (%)	98

3.1. Enerji Analizi (Energy Analysis)

Sistemin performans analizi termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemine ait birinci kanun analizinde, kondenser, evaporatör ve kompresör kapasiteleri, Şekil 4'deki çevrim noktaları göz önüne alınarak, sırasıyla aşağıdaki eşitlikler aracılığıyla hesaplanmıştır.

Kompresör kapasitesi aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$\dot{W}_{komp.} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

Kompresöre uygulanan elektrik gücü ise kompresör gücünün, elektrik ve mekanik verimlere bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$\dot{W}_{komp,el} = \frac{\dot{W}_{komp}}{\eta_{el} \times \eta_{mek}} \quad (2)$$

Kondenserde, soğutucu akışkandan çevreye olan birim zamandaki ısı geçişi şu şekilde bulunabilir.

$$\dot{Q}_{kond.} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

Soğutulan ortamdan birim zamanda çekilen ısı şu şekilde bulunabilir.

$$\dot{Q}_{evap.} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (4)$$

Soğutma çevriminin etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap.}}{\dot{W}_{komp,el}} \quad (5)$$

3.2. Ekserji Analizi (Exergy Analysis)

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin korunumu ile ilgilidir ve sistem performansını belirlemede yetersiz kalmaktadır. İkinci kanun analizi ise enerjinin kullanılabilirliği ile ilgilidir ve gerçek sistem performansını belirlemek için oldukça önemlidir.

Akış halindeki bir sistemde, kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edilmesi durumunda birim kütle için ekserji, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\Psi = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

Her bir nokta soğutucu akışkan kütleli debi miktarı ile çarpıldığında eşitlik aşağıdaki hali almaktadır.

$$\dot{E}x = \dot{m}[(h - h_0) - T_0(s - s_0)] \quad (7)$$

Bu eşitlikte ölü hal şartları olarak referans sıcaklık T_0 , 25 °C ve P_0 , 1 atm olarak alınmıştır.

İncelenen sisteme ait ikinci kanun analizi için kondenser, evaporatör, kompresör ve genleşme valfindeki ekserji yıkımları sırasıyla aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilir [9].

$$\dot{E} x_{Yık.,kond.} = \dot{E} x_2 - \dot{E} x_3 - \dot{Q}_{kond} \left(1 - \frac{T_0}{T_{kond}}\right) \quad (8)$$

$$\dot{E} x_{Yık.,evap.} = \dot{E} x_4 - \dot{E} x_1 + \dot{Q}_{evap} \left(1 - \frac{T_0}{T_{evap}}\right) \quad (9)$$

$$\dot{E} x_{Yık.,komp.} = \dot{E} x_1 - \dot{E} x_2 + \dot{W}_{komp.el} \quad (10)$$

$$\dot{E} x_{Yık.,GV.} = \dot{E} x_3 - \dot{E} x_4 \quad (11)$$

Toplam yıkım,

$$\begin{aligned} \dot{E} x_{Yık.,Toplam} = & \dot{E} x_{Yık.,kond.} + \dot{E} x_{Yık.,evap.} \\ & + \dot{E} x_{Yık.,komp.} + \dot{E} x_{Yık.,GV} \end{aligned} \quad (12)$$

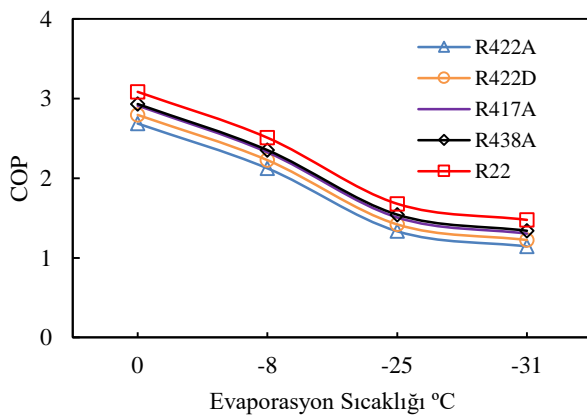
Sistemin ekserji verimi ise aşağıdaki eşitlik ile bulunmuştur.

$$\eta_{Ex} = \frac{\dot{E} x_4 - \dot{E} x_1}{\dot{W}_{komp.el}} \quad (13)$$

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Yapılan çalışmada ticari soğutma sistemlerinde, R22 akışkanına alternatif olarak piyasaya sürülen R417A, R422A, R422D ve R438A akışkanlarının performans analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre yapılmıştır. Analizler sonucu elde edilen değerler grafikler halinde sunulmuştur.

Şekil 5’de analiz edilen akışkanların COP değerlerindeki değişim farklı evaporasyon sıcaklığına göre karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Yapılan analizlerde yoğuşma sıcaklığı sabit (50°C) tutulmuştur. COP değerlerine bakıldığında zaman R22 akışkanının yüksek bir değere sahip olduğu, onu takiben R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının olduğu görülmektedir.

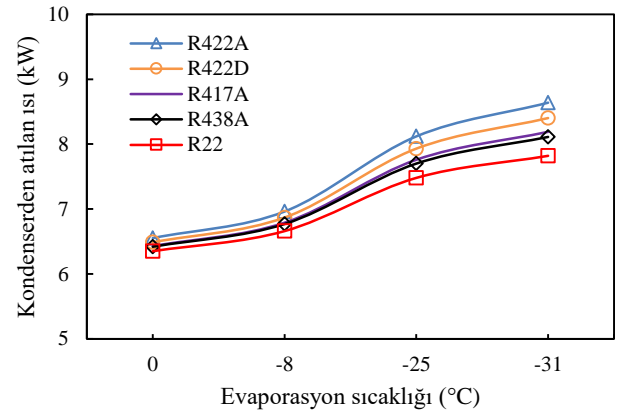


Şekil 5. Akışkanlara ait COP değerleri (COP values of refrigerants)

R22 akışkanında COP değerleri 1.4-3.1 arasında, R438A akışkanında COP değerleri 1.4-3 arasında, R417A’da

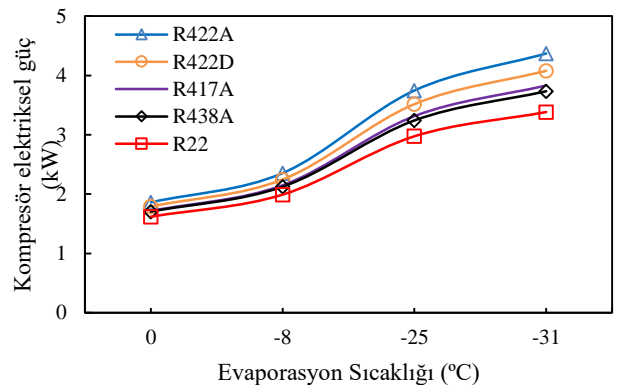
COP, 1.3-2.9, R422A akışkanında 1.2-2.7 arasında değişirken, R422D akışkanında ise COP, 1.2 ile 2.8 arasında değişim olmaktadır. R22’nin COP değerlerinin, tüm uygulama aralıkları için incelenen alternatif akışkan COP değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, R422A soğutucu akışkanının COP değerlerine bakıldığında R22 için en kötü yenileme ve değişim akışkanı olduğu söylenebilir.

Şekil 6’te kondenser yüklerinin incelenen beş akışkan için evaporasyon sıcaklıklarına göre değişimi verilmiştir. Yapılan analizlerde yoğuşma sıcaklığı sabit (50°C) tutulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi R22, R417A ve R438A gazları için kondenser yükleri büyük benzerlik göstermektedir. Düşük evaporasyon sıcaklıklarında kondenser yükleri daha fazla olmakta ve evaporasyon sıcaklığı yükseldikçe kondenser yükleri azalmaktadır. Bunun nedeni, düşük evaporatör sıcaklıklarında kompresör için daha fazla güç çekilmesidir.

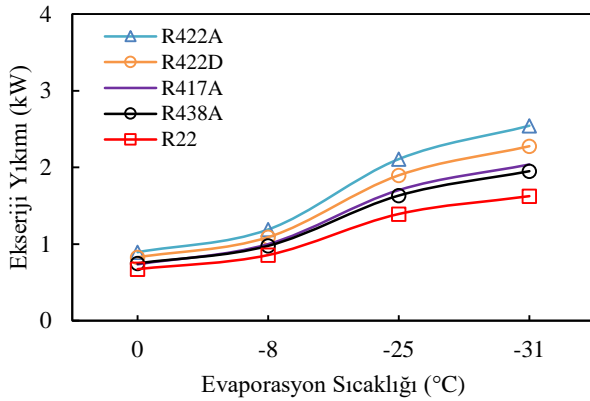


Şekil 6. Sistemin farklı akışkanlara göre kondenser yükleri (Condenser load of system by different refrigerants)

Şekil 7’de sistemin kompresör elektriksel gücü verilmiştir. Yapılan analizlerde yoğuşma sıcaklığı sabit (50°C) tutulmuştur. Şekil 5 ve 6 beraber değerlendirildiğinde, R22 akışkanı için daha az kompresör gücü gerektiği ve kondenser yükünün az olduğu görülmektedir. Bu akışkan baz alındığında, R22 akışkanına en yakın performansın R438A’da daha sonra sırası ile R417A, R422D ve R422A akışkanlarında olduğu gözlemlenmiştir.

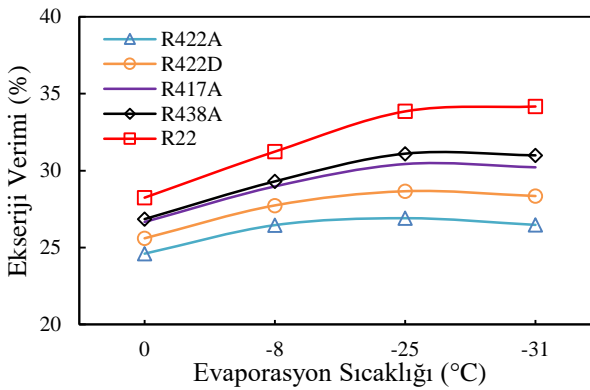


Şekil 7. Sistemlere ait kompresör elektriksel güçleri (Electrical power of the compressor of the systems)



Şekil 8. Sistemlere ait ekserji yıkımları (Exergy destructions of systems)

Şekil 8’de evaporasyon sıcaklıklarının ekserji yıkımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Yapılan analizlerde yoğunlaşma sıcaklığı sabit (50°C) tutulmuştur. Evaporasyon sıcaklıklarındaki artış ile ekserji yıkımının tüm soğutucu akışkanlar için arttığı görülmektedir. Şekil 7’de görüldüğü üzere en düşük ekserji yıkımı R22 akışkanında tespit edilmiştir. Ardından R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanları gelmektedir. R22 akışkanında en düşük ekserji yıkımı 0.671 kW, R417A için 0.737 kW, R422A için 0.896 kW, R422D için 0.828 kW ve R438A akışkanında ise 0.75 kW olarak hesaplanırken, evaporasyon sıcaklıklarının düşmesiyle birlikte her bir sistem için ekserji yıkımları da artmaktadır.



Şekil 9. Sistemlerin ekserji verimleri (Exergy efficiencies of systems)

Sistemin gerçek performansını belirleyen ekserji verimleri ise Şekil 9’de görülmektedir. Yapılan analizlerde yoğunlaşma sıcaklığı sabit (50 °C) tutulmuştur. R22 akışkanını için ekserji verimi %28-34 arasında değişirken, R417A için %26-30 arasında, R438A için %26-31 arasında, R422A için %24-27 arasında, R422D için ise %25-28 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Kompresör işi arttıkça ekserji verimi düşmektedir. Ayrıca COP değeri yüksek olan soğutucu akışkanın ekserji verimliliği de yüksek olmaktadır. R22’nin COP değerleri diğer soğutucu akışkanlara göre yüksektir,

kompresör işi de diğer soğutucu akışkanlara göre düşük çıkmaktadır.

Seçilen soğutucu akışkanların ikinci yasa verimlerinin -25 °C’ye kadar artarken, -31 °C’de azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni ise, -31 °C’de kompresörün yaptığı iş tüketimi artmaktadır. Bu durum ekserji yıkımında artışa, ekserji veriminde ise azalmaya neden olmaktadır.

5. ÖNERİLER (SUGGESTIONS)

Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen birinci ve ikinci kanun analizlerine göre birtakım öneriler tespit edilmiştir.

Soğutucu akışkan olarak R22 kullanan buhar sıkıştırma soğutma sisteminin performans katsayısı (COP) referans kabul edilerek R422A, R422D, R417A ve R438A kullanılan sistemin COP değerleri karşılaştırılmıştır. R22 kullanılarak elde edilen COP değerlerine en yakın sonuç veren soğutucu akışkanlarının sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu görülmüştür. Düşük COP değerine sahip akışkanlar daha fazla enerji tüketecek ve bu da çevre üzerinde olumsuz etki yaratacaktır.

Çalışmanın sonucunda R22 soğutucu akışkanının diğer alternatif akışkanlardan daha fazla ekserji verimliliğine sahip olduğu görülmüştür.

Enerji ve ekserji analizi, değerlendirilen alternatif akışkanların her birinin, R22 için potansiyel bir yenileme akışkanı olduğunu, ancak R22’ye göre en cazip olanların R417A ve R438A olduğunu göstermektedir.

Yüksek kompresör gücü gerektiren alternatif soğutucu akışkan R422A, düşük kompresör gücü gerektiren alternatif akışkan ise R22’den sonra sırası ile R438A, R417A ve R422D’dir.

Performans açısından sırasıyla R422A, R422D, R417A ve R438A gazlarının iyi bir alternatif olamamasının en büyük nedenlerinden biri de düşük sıcaklıklarda harcadığı fazla güçtür.

Bu analizlerin sonucunda performans olarak akışkanları karşılaştırdığımızda R422A, R422D, R438A ve R417A akışkanları arasında R22 gazına alternatif olabilecek en iyi akışkanın sırasıyla R438A, R417A, R422D ve R422A olduğu tespit edilmiştir.

R22 soğutucu akışkanının ODP potansiyeli olması ve artık hiçbir yeni sistemde kullanılmıyor olması sebebiyle ODP potansiyeli olmayan ve R22 akışkanına direkt alternatif görünen R438A, R417A, R422D ve R422A akışkanlarının özellikle ticari ve büyük sistemlerde kullanılması uygundur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmamız Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi (No: [2019.21.02.983](https://doi.org/10.21021/2019.21.02.983)) tarafından desteklenmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Llopis R., Torrella E., Cabello R. and Sanchez D., “HCFC-22 replacement with drop-in and retrofit HFC refrigerants in a two-stage refrigeration plant for low temperature”, *Int. J. Refrig.*, 35: 810-816, (2012).
- [2] Yang Z. and Wu X., “Retrofits and options for the alternatives to HCFC-22”, *Energy*, 59: 1-21, (2013).
- [3] Aprea C., Maiorino A. and Mastrullo R., “Exergy analysis of a cooling system: Experimental investigation on the consequences of the retrofit of R22 with R422D”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9: 71-79, (2014).
- [4] Oruç V. and Devcioğlu A. G., “Buhar sıkıştırılmalı bir soğutma sisteminde R22 yerine N20 ve R444B soğutucu akışkanlarını kullanmanın termodinamik performans etkisi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31:4, 859-869, (2016).
- [5] Rocca, V. and Panno, G., “Experimental performance evaluation of a compression refrigeration plant when replacing R22 with alternative refrigerants”, *Appl. Energy*, 88: 2809-2815, (2011).
- [6] Allgood, C.C. and Lawson, C. C., “Performance of R-438A in R22 refrigeration and air conditioning systems,” *Int. Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*, Indiana, 12-15, (2010).
- [7] Elgendy, E. and Schmidt, J., “Rating Charts of R-22 Alternatives Flow through Adiabatic Capillary Tubes, World Academy of Science”, *Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 7:8, (2013).
- [8] Rocca, A., L., Rocca V., L., Messineo, A. and Panno, D., “Use of HFC Fluids as Suitable Replacements in Low-Temperature Refrigeration Plants”, *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9:1, (2014).
- [9] Ergün, A., Gürel, A. E. and Ceylan, İ., “Ticari Soğutma Sistemlerinde R22 Akışkanının Alternatifi Olarak R438a ve R417a Akışkanlarının Performansının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C*, 5:1, (2018).
- [10] <http://www.ethermo.us> (*Thermodynamics&Transport Properties Calculation Platform*)
- [11] http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/hfc_refrigerants/index.html
- [12] Seara, J. F., Uhia, F.J., Diz, R. and Dopazo, J.A., “Vapour condensation of R22 retrofit substitutes R417A, R422A and R422D on CuNi turbo C tubes”, *International Journal Of Refrigeration*, 33:148-157, (2010).
- [13] http://www.bock.de/media/files/PDF/Produktinformation/n/96151_Alternative-refrigerants_R22_Gb.pdf
- [14] http://www.lindegaz.com.tr/en/products_and_supply/refrigerants/hcfc_refrigerants/r22/index.html
- [15] https://www.chemours.com/Refrigerants/en_US/products/DUPREX/DUPREX.html
- [16] Devcioğlu A.G. ve Oruç V., “Soğuk Oda Cihazlarında R404a Yerine R442a Soğutucu Akışkanının Kullanılmasının Teorik Olarak İncelenmesi”, *Soğutma Dünyası*, 75:62-68, (2016)