

BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN SOĞUTUCU AKIŞKAN SEÇİMİ

Ö. Ercan ATAER
Mehmet ÖZALP
Atilla BIYIKOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine kullanılacak ozon tabakasını etkilemeyen soğutucu akışkanlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için R 134a, R 404A, R 407A, R 410a, R 507 ve R 290 (Propan) alternatif akışkanlar olarak seçilmiş ve bu soğutucu akışkanlar için tek kademeli bir buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Farklı alternatif soğutucu akışkanlar ve yoğuşturucu sıcaklıkları için, soğutma çevriminin basınç oranı, kompresör gücü, soğutucu akışkan kütle debisi, etkinlik katsayısı (COP), yoğuşturucu kapasitesi ve alternatif soğutucu akışkanların COP'lerinin R 12 kullanılan soğutma sisteminin etkinlik katsayısına oranının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi grafikler halinde verilmiştir.

1. GİRİŞ

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde düşük sıcaklıktaki ortamdan ısı çekilir. Kompresör çıkışındaki soğutucu buharı yoğuşturucuda çevreye ısı atılarak yoğuşturulur. Yüksek basınç ve sıvı fazdaki soğutucu akışkanın, genişleme valfinden basıncı düşer. Soğutma sistemi, soğutucu akışkanın kompresör girişinde kızgın buhar fazında olmasını sağlayacak biçimde tasarlanır[1, 2]. Buharlaştırıcıyla kompresör arasındaki bağlantı, akış sürtünmesinin yol açtığı basınç kaybı ve çevreden soğutucu akışkana olan ısı transferinden dolayı kompresör girişinde akışkan kızgın buhar durumuna gelir. Soğutucu akışkanın sıcaklığı arttıkça özgül hacmi, buna bağlı olarak kompresör işi artar. Gerçek sıkıştırma işleminde, akış sürtünmesi entropiyi artırır.

İdeal çevrimde, soğutucu akışkanın yoğuşturucudan çıkış durumu, kompresör çıkış basıncında doymuş sıvıdır. Gerçek çevrimde ise kompresör çıkışıyla kısılma vanası girişi arasında basınç düşüşü vardır. Yoğuşturucudan çıkışta, soğutucu akışkan genellikle sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir. Kısılma vanasıyla buharlaştırıcının birbirine yakındır ve bağlantı borusunda basınç düşüşü küçüktür. Buharlaşma sıcaklığı azaldıkça, istenen soğutma yükü için gereken kompresör gücü gereksinimi ve kompresör hacmi artarken sistemin COP'si azalır.

2. TERMODİNAMİK ANALİZ

Termodinamik analizde, çevrimin referans noktalarındaki basınç, sıcaklık, entalpi, özgül hacim gibi termodinamik özelliklerinin değerleri hesaplanmıştır. Belirlenen yoğuşturucu ve buharlaştırıcı sıcaklıklarına karşılık gelen sistemin yüksek ve düşük basınçlarının hesaplanması ile analize başlanılmıştır. Daha sonra yoğuşturucu çıkışındaki termodinamik özellikler belirlenmiştir. Analizde akışkanların özellikleri literatürden alınmıştır[3, 4].

Kompresör girişindeki sıcaklık, buharlaştırıcı ve kompresör arasındaki emme borusunda, çevreden soğutucu akışkana olabilecek ısı aktarımı dikkate alınarak belirlenmiştir. Emme borusundaki 0,02 bar basınç kaybı alınmıştır. Kompresör girişindeki sıcaklık ve basınç kullanılarak diğer termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Kompresör verimi kullanılarak kompresör çıkışındaki entalpi,

$$\eta_k = \frac{h_{k,g} - h_{k,\zeta,s}}{h_{k,g} - h_{k,\zeta}} \quad (1)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Bu değer belirlendikten sonra, bilinen basınç değerleri kullanılarak diğer özelliklerin büyüklükleri hesaplanmıştır. İstenilen soğutma yükü için, soğutucu akışkanın kütle debisi

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_b}{h_{b,\zeta} - h_{b,g}} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu eşitlikteki, \dot{Q}_b soğutma yükü, $h_{b,\zeta}$ ve $h_{b,g}$ sırasıyla buharlaştırıcı çıkış ve girişindeki entalpilerdir. Kompresör gücü, kompresör giriş ve çıkışındaki entalpiler kullanılarak

$$W_k = \dot{m}(h_{k,\zeta} - h_{k,g}) \quad (3)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Yoğuşturucunun, buharlaştırıcıda çekilen ısı ile soğutucu akışkanın emme ve basma borularında çevreden kazandığı ısıyı, çevreye atacak kapasitede olması gerekir. Yoğuşturucu kapasitesi, yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki entalpilerin fonksiyonu olacak şekilde

$$\dot{Q}_y = \dot{m}(h_{y,g} - h_{y,\zeta}) \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Bu bağıntıdaki \dot{Q}_y , yoğuşturucudan çevreye atılan ısı enerjisi, $h_{y,g}$ ve $h_{y,\zeta}$ sırasıyla yoğuşturucu giriş ve çıkışındaki entalpilerdir.

3. SONUÇLAR

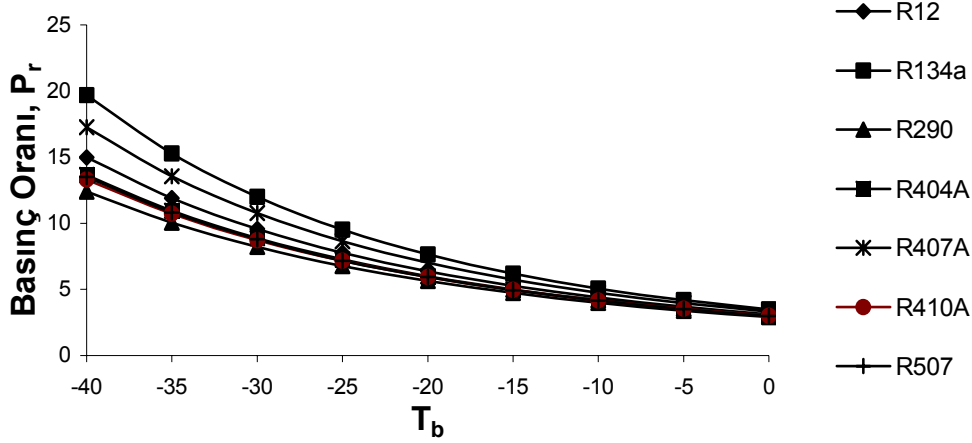
R 134a, R 404A, R 407A, R 410a, R 507 ve R 290 (Propan), buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri için alternatif akışkanlar olarak seçilmiş ve bu soğutucu akışkanlar için soğutma çevriminin termodinamik analizi yapılmıştır. Farklı alternatif soğutucu akışkanlar ve yoğuşturucu sıcaklıkları için, soğutma çevriminin basınç oranı, kompresör gücü, soğutucu akışkan kütle debisi, soğutucunun etkinlik katsayısı, yoğuşturucu kapasitesi ve bu alternatif soğutucu akışkanların etkinlik katsayılarının R 12'nin etkinlik katsayısına oranının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi hesaplanmıştır. Bu çalışmada, analizde kullanılan buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin çalışma parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

500 W soğutma yükünde ve 40°C yoğuşturucu sıcaklığında buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin farklı alternatif akışkanlara göre basınç oranının, P_r , buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi Şekil 1'de verilmiştir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin basınç oranı yoğuşturucu basıncının, P_y buharlaştırıcı basıncına, P_b oranı şeklinde tanımlanmıştır.

Tablo 1. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin analizde kullanılan çalışma parametreleri.

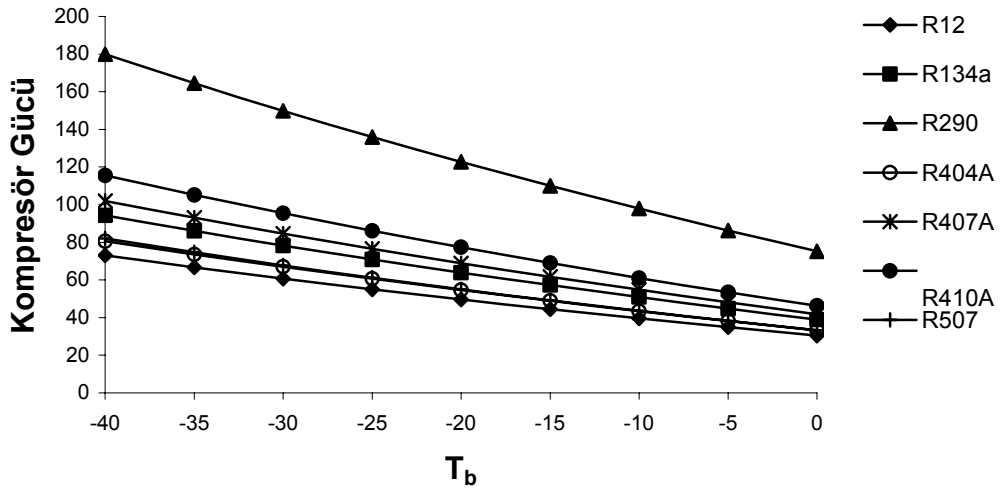
Soğutma Yükü	500 W
Buharlaştırıcı sıcaklığı çalışma aralığı	-40 °C — 0°C
Aşırı soğutma sıcaklık farkı	10 °C
Aşırı ısıtma sıcaklık farkı	4 °C
Kompresör verimi	0.7
Yoğuşturucu sıcaklığı	40 °C
Emme hattı basınç kaybı	0.02 bar
Basma hattı basınç kaybı	0.01 bar
Alternatif soğutucu akışkanlar	R 134a, R 290, R 404A, R 407A, R 410A, R 507

Şekil 1’de görüldüğü gibi R 134a basınç oranı en yüksek ve R 290 (Propan) basınç oranı en düşük olan soğutucu akışkandır. Bu fark, düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarında daha açık olarak görülürken, yüksek buharlaştırıcı sıcaklıklarında azalmaktadır. Farklı soğutucu akışkanlar için buhar sıkıştırıcı soğutma sisteminin yüksek ve düşük çalışma basınçları karşılaştırıldığında, çalışılan buharlaştırıcı sıcaklığı aralığında basınç oranları R 12’ye yakın olan akışkanlar R 404A, R 410A, R 507’dir.



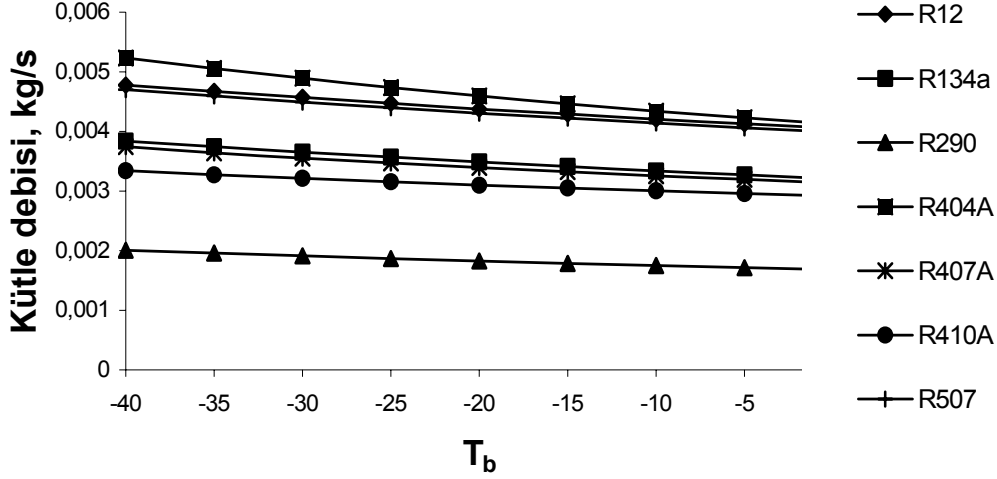
Şekil 1. Farklı akışkanlar için soğutma yükü 500 W olan soğutucunun basınç oranının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi ($T_y=40\text{ }^\circ\text{C}$)

Kompresör gücünün buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi Şekil 2’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kompresör gücü, buharlaştırıcı sıcaklığı ile yaklaşık doğrusal olarak azalmaktadır. Yüksek kompresör gücü gerektiren alternatif soğutucu akışkan R 290, düşük kompresör gücü gerektiren alternatif soğutucu akışkan ise R 404A ile R 507’dir. R 410A, R 407A ve R 134a soğutucu akışkanlarının kompresör gücü, R 290 ile R 407A ve R 507’nin kompresör güçleri arasındadır. Buharlaştırıcı sıcaklığı ile kompresör güçlerinin değişimi incelendiğinde, R 290 ile R 12 soğutucu akışkanlarının güç gereksinimleri arasındaki fark, 110 Watt ile fark 45 Watt arasında değişmektedir. R 410A ile R12 soğutucu akışkanların güç gereksinimleri arasındaki fark 45 Watt ile 20 Watt arasında değişmektedir. Diğer taraftan R 407A ve R12 soğutucu akışkanların güç gereksinimleri arasındaki fark, 30 Watt ile 10 Watt arasında değişmektedir. Benzer şekilde R 134a ile R 12 soğutucu akışkanların güç gereksinimleri arasındaki fark da, 20 Watt ile 10 Watt arasında değişmektedir. R 404A ve R 507 ile R 12 soğutucu akışkanlarının güç gereksinimleri arasındaki fark çok daha azdır.



Şekil 2. Soğutma yükü 500 W olan soğutucunun kompresör gücünün farklı akışkanlar için buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi ($T_y=40\text{ }^\circ\text{C}$).

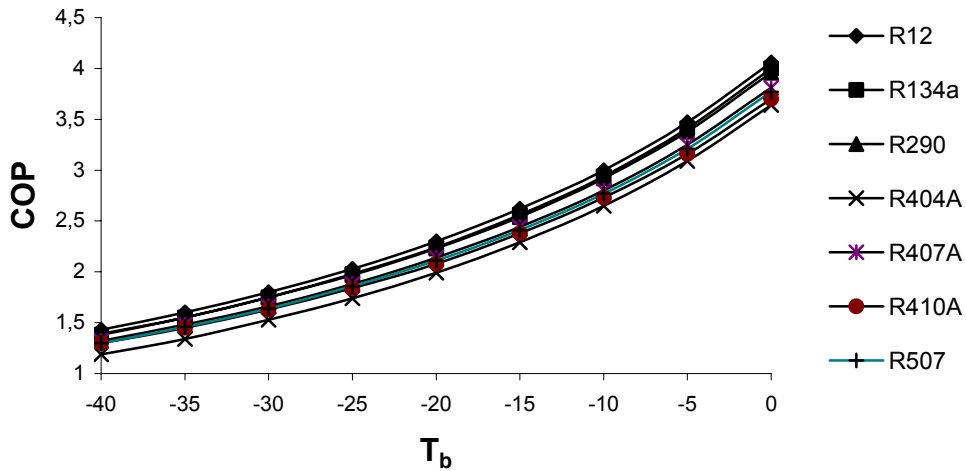
Şekil 3'de soğutucu akışkan dütle debisinin buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi soğutucu akışkanların kütle debileri buharlaştırıcı sıcaklığı ile yaklaşık doğrusal olarak azalmaktadır. - 40 °C ile 0 °C sıcaklık aralığında R 12'nin kütle debisi 0.005 kg/s ile 0.004 kg/s arasında değişmektedir. Kütle debisi R 12'ye en yakın olan alternatif soğutucu akışkan R 507'dir ve aralarındaki maksimum fark yaklaşık 0.0001 kg/s'dir. R 12 ile kütledebileri arasındaki fark en fazla olan alternatif soğutucu akışkan ise R 290'dir ve bu fark 0.0028 kg/s ile 0.0023 kg/s arasında değişmektedir.



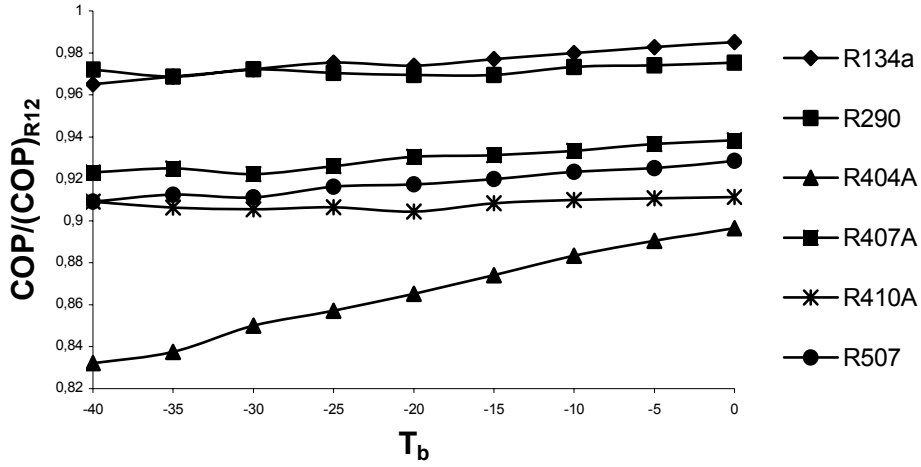
Şekil 3. 500 W soğutma yükündeki soğutucunun kütledebisinin farklı akışkanlar için buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi (T_y=40 °C).

R 404A ile R12 soğutucu akışkanlarının kütle debileri arasındaki, 0.0005 kg/s ile 0.0002 kg/s arasında değişmektedir. R 134a ve R 407A ile R 12 soğutucu akışkanların kütle debileri arasındaki fark yaklaşık sabit ve 0.0009 kg/s'dir. R 410A ile R 12 soğutucu akışkanlarının kütledebileri arasındaki fark, 0.0014 kg/s ile 0.0011 kg/s saniye arasında değişmektedir.

500 W soğutma yükü ve 40 °C yoğuşturucu sıcaklığı için buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin etkinlik katsayısının (COP), buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Etkinlik katsayısı buharlaştırıcı sıcaklığı ile artmaktadır. R 12 en yüksek etkinlik katsayısına sahip soğutucu akışkandır. R 12'nin etkinlik katsayısı 1.19 ile 4.0 arasında değişmektedir.



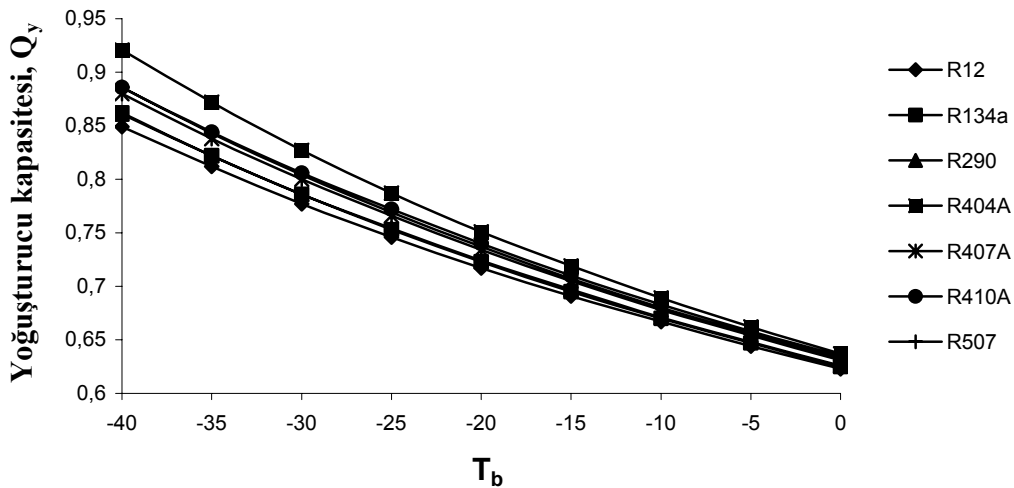
Şekil 4. 500 W soğutma yükündeki soğutucunun soğutma etkinliğinin farklı akışkanlar için buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi.



Şekil 5. 500 W soğutma yükündeki soğutucunun farklı akışkanlar için soğutma etkinliğinin R 12'nin soğutma etkinliğine oranının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi.

Şekil 5'te çeşitli alternatif soğutucu akışkanların etkinlik katsayılarının, R 12 soğutucu akışkanın etkinlik katsayısına oranlarının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Etkinlik katsayısı oranı, COP/COP_{R12} , R 134a ve R 290 alternatif soğutucu akışkanları için 0.96 ile 0.99 arasında değişmektedir. R 407A, R 410A ve R 507 için bu oran, 0.90 ile 0.94 arasında değişmektedir. R 404A'nın etkinlik katsayısı oranı -40°C 'de 0.83 iken 0°C 'de 0.90 değerine ulaşmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi, etkinlik katsayısı oranı en yüksek olan alternatif soğutucu akışkan % 7 ile R 404A'dır.

Şekil 6'da 500 W soğutma yükündeki buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin yoğuşturucuda çevreye olan ısı aktarımının buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi görülmektedir. Yoğuşturucuda çevreye olan ısı aktarımı buharlaştırıcı sıcaklığı ile azalmaktadır. Alternatif soğutucu akışkanlar karşılaştırıldığında, en düşük yoğuşturucu ısı kapasitesine sahip soğutucu akışkan R 12, en yüksek yoğuşturucu ısı kapasitesine sahip olan soğutucu akışkan ise R 404A'dır. Elde edilen bu sonuçlar literatürde verilen sonuçlarla uyum içerisindedir[5, 6]



Şekil 6 . 500 W soğutma yükündeki soğutucunun yoğuşturucu kapasitesinin farklı akışkanlar için buharlaştırıcı sıcaklığı ile değişimi.

3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde kullanılacak alternatif soğutucu akışkanların bazı çalışma parametrelerinin değerleri Tablo 2'de görülmektedir. Alternatif akışkan seçiminde sistemin etkinlik katsayısının dikkate alınması gerekir. R404A, R407A, R410A ve R507 alternatif soğutucu akışkanları düşük etkinlik katsayısına sahiptir. R134a ve R290 soğutucu akışkanları yüksek etkinlik katsayısına sahiptir. Kompresör gücü ve soğutucu akışkan kütle debisi açısından R134a uygun bir alternatif soğutucu akışkandır.

R 12 ile karşılaştırıldığında Tablo 3'de görüldüğü gibi, R134a'nın seçimi ile buharlaştırıcı basıncında % 19 kadar bir azalma, yoğuşturucu basıncında ise % 6 kadar bir artış görülmektedir. Diğer taraftan, R134a'nın kompresör gücünde % 29'luk artış vardır.

Tablo 2. 500 W kapasiteli bir soğutucuda farklı soğutucu akışkanlar kullanılması durumunda bazı çalışma parametrelerinin değerleri.

Soğutucu Akışkan	R12	R 134a	R 290	R 404A	R 407A	R 410A	R 507
Buharlaştırıcı basıncı (bar)	0.64	0.52	1.1	1.33	0.98	1.8	1.4
Yoğuşturucu basıncı (bar)	9.62	10.2	13.6	18.2	16.4	23.9	18.8
Yoğuşturucu kapasitesi(W)	849	862	861	921	880	886	886
Kompresör gücü (W)	73.07	94.38	180.00	80.56	102.08	115.56	82.12
Kütle debisi (kg/s)	4.78	3.84	2.01	5.23	3.72	3.34	4.7
COP	1.43	1.38	1.39	1.19	1.32	1.3	1.3

Tablo 3. Alternatif soğutucu akışkanların 500 W kapasiteli bir soğutucu için sistem parametrelerinin R12'ye göre yüzde değişimleri.

Soğutucu Akışkan	R 134a	R 290	R 404A	R 407A	R 410A	R 507
Buharlaştırıcı basıncı (bar)	-19	+72	+108	+53	+18	+119
Yoğuşturucu basıncı (bar)	+6	+41	+89	+70	+148	+95
Yoğuşturucu kapasitesi (W)	+1.5	+1.4	+8.5	+3.7	+4.4	+4.4
Kompresör gücü (W)	+29	+146	+10	+40	+58	+12
Kütle debisi (kg/s)	-20	-58	+9	-22	-30	-2
COP	-3.5	-2.8	-16.8	-7.7	-9.0	-9.0

R134a ve R290 alternatif soğutucu akışkanlarından sonra yüksek COP'ye sahip olan R407A, R410A ve R507 soğutucu akışkanları gelmektedir. Bu üç akışkandan birisini seçmek için kompresör gücü dikkate alınabilir. Kompresör gücü açısından R507 en uygun alternatif soğutucu akışkan olarak görülmektedir.

R507'nin seçimi ile etkinlik katsayısında % 9 kadar bir azalma, kompresör gücünde ise % 12 kadar bir artış gözlenmektedir. Tablo 3 de görüldüğü gibi R134a'nın seçimi halinde etkinlik katsayısında % 3.5 kadar bir azalma, kompresör gücünde ise % 29 kadar bir artış gözlenmektedir. R 12 soğutucu akışkan yerine R134a ve R507 arasında bir seçim yapmak gerekebilir. R 12 yerine R 507 kullanılması halinde etkinlik katsayısında % 9 kadar azalma, R134a kullanımı durumunda ise kompresör gücünde % 29 kadar bir artış olmaktadır. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı basınçları dikkate alındığında R 134a'nın seçimi halinde buharlaştırıcı basıncında % 19 kadar bir azalma, yoğuşturucu basıncında ise % 6 kadar bir artış gözlenmektedir. R 507 kullanımı durumunda buharlaştırıcı basıncında % 119 kadar bir artış, yoğuşturucu basıncında ise % 95 kadar bir artış gözlenmektedir. Yoğuşturucu ve buharlaştırıcı basınçları dikkate alındığında, R134a'nın seçimi uygun olur.

KAYNAKLAR

- [1] UNEP 1995. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, 1994 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, 1995 Assessment, Kenya.
- [2] Stefanutti, L., 1998. New Refrigerants for Air-Conditioning and Refrigeration Systems, III International Mechanical, Installation Science & Technology Symposium 98, 7-9 May 1998, Istanbul, Turkey, pp 321-331.
- [3] Linton, J. W., Snelson, W. K. and Triebe, A. R. 1995. System performance comparison of R 507 with R 502, ASHRAE Transactions, V 101, pp. 502-510.
- [4] Linton, J. W., Snelson, W. K., Triebe, A. R. and Hearty, P. F. 1995. Some performance measurements of four long term R 502 replacements in a test facility containing a scroll compressor, 19th International Congress of Refrigeration, The Hague, The Netherlands.
- [5] Ataer, Ö. E., Türkoğlu, H. and Usta, H. 1999. Küçük üretim kapasiteli ticari soğutucu üreticileri için CFC-12 yerine HFC-134a ve HFC-404A soğutucu akışkanların kullanımı, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, Pro.No. TTGV-P12/P3, Ankara, 29 p.
- [6] Didion, D. A. 1999. The influence of the thermophysical fluid properties of the new ozone-safe refrigerants on performance, Applied Thermodynamics, V. 2, No. 1, pp 19-35.

SEMBOLLER

COP	Etkinlik katsayısı
h	Özgül entalpi [kJ/kg]
\dot{m}	Kütle debisi [kg/s]
P	Basınç [Bar]
P_r	Basınç oranı, P_y/P_b
\dot{Q}_b	Soğutma yükü, [kW]
\dot{Q}_y	Yoğuşturucu kapasitesi, [kW]
T	Sıcaklık (°C)
T_b	Buharlaştırıcı sıcaklığı (°C)
T_y	Yoğuşturucu sıcaklığı (°C)
ΔT_{sub}	Aşırı soğutma sıcaklık farkı (°C)
ΔT_s	Aşırı ısıtma sıcaklık farkı (°C)
\dot{W}	Kompresör gücü (W)
η	Verim

Alt İndisler

b	Buharlaştırıcı
\dot{c}	Çıkış
g	Giriş
k	kompresör
s	İzentropik
y	Yoğuşturucu

ÖZGEÇMİŞLER

Ö. Ercan ATAER

Prof. Dr. Ö. Ercan Ataer, B.Sc Derecesini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1970 yılında almıştır. M.Sc. Derecesini 1974 ve Ph.D. Derecesini 1977 yılında İngiltere'de Lancaster Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi'nde tamamlayan Prof. Dr. Ö. Ercan Ataer, 1977 yılında Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü, daha sonra Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaya başlamıştır. 1986 yılında Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaya başlayan Prof. Dr. Ö. Ercan Ataer, halen aynı Bölümde Lisans ve Yüksek Lisans düzeyinde ısı ve kütle transferi ve termodinamik dersleri vermekte, ısı transferi, soğutma, akışkanlar mekaniği, termodinamik ve Stirling çevrimi ile çalışan makinelerin termodinamik analizi konularında araştırmalar yapmaktadır.

Mehmet ÖZALP

1991 yılında Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1995 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi kadrosuna atandı. 1997 yılında, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü'nden Yüksek Lisans derecesi aldı. Halen Gazi Üniversitesi'nde, aynı bölümde doktora çalışmalarına devam etmekte ve araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Atilla BIYIKOĞLU

1989 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Lisans derecesini aldı. 1990 yılında aynı bölümde araştırma görevlisi kadrosuna atandı. 1992 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden Yüksek Lisans derecesi ve 1998 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden doktora derecesi aldı. Halen Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.