



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

R-404A VE R-407C SOĞUTKANLARIYLA ÇALIŞAN DENEYSEL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN EKSERJİ ANALİZİ

**GAMZE BAYRAM
ARZU ŞENCAN ŞAHİN
SAMED ŞENTÜRK
BÜLENT KOPUZ
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**

R-404A VE R-407C SOĞUTKANLARIYLA ÇALIŞAN DENEYSEL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMİNİN EKSERJİ ANALİZİ

Gamze BAYRAM
Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Samed ŞENTÜRK
Bülent KOPUZ

ÖZET

Bu çalışmada R-404A ve R-407C soğutucu akışkanlarıyla çalışan iki ayrı buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi tasarlanmış ve deneysel olarak imal edilmiştir. Her iki sistemin buharlaştırıcısında plakalı ısı eşanjörü kullanılmıştır. Su soğutma amaçlı yapılan deneylerde suyun hacimsel debisi 1 L/dk ile 2,5 L/dk arasında, suyun sıcaklığı ise 20 °C ile 25 °C arasında değiştirilmiştir. Bu çalışma aralıklarında çalışan soğutma sistemlerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler ile buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin ve plakalı ısı eşanjörlerinin ekserji analizi yapılarak ekserji verimleri ve tersinmezlik değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plakalı ısı eşanjörü, soğutma, R-404A ,R-407C, ekserji analizi.

ABSTRACT

In this study, two separate vapor compression refrigeration system were designed and constructed. R-404A and R-407C were used as refrigerant in refrigerating systems. The plate exchanger as evaporator in both systems was used. In experiments, flow rate of water was varied between 1 L/min and 2,5 L/min. Temperature of water was varied between 20 °C and 25 °C. Exergy analysis of vapor compression refrigeration systems and plate heat exchangers as a result of measurements in refrigerating systems was carried out. The exergy efficiency and irreversibility values of vapor compression refrigerating systems were determined.

Key Words: Plate heat exchanger, refrigerating, R-404A, R-407C, exergy analysis.

1. GİRİŞ

Farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimini sağlayan ısı eşanjörleri endüstrinin en önemli ısı tekniği cihazları olup; bunlar buharlaştırıcı, yoğuşurucu, ısıtıcı, soğutucu vb. değişik adlar altında kimya, petrokimya endüstrilerinin, termik santrallerin, soğutma, ısıtma ve iklimlendirme tesislerinin hemen her kademesinde değişik tip ve kapasitelerde görülebilir. Çoğunlukla ısı eşanjörlerinde akışkanlar, birbiriyle karıştırılmadan ısı geçişinin doğrudan yapıldığı, genelde metal malzeme olan katı bir yüzey ile birbirinden ayrılırlar.[1,2]

Isı eşanjörlerinin kullanıldığı alanlardan biride soğutma sistemleridir. Soğutma sistemlerinde eşanjörler buharlaştırıcı ve yoğuşurucu olarak kullanılabilir. Bu çalışmada lehimli plakalı ısı eşanjörü, buhar

sıkıştırılmalı soğutma çevriminde evaporatör olarak kullanılmıştır. Su soğutma amaçlı tasarlanan bu sistemde farklı soğutucu akışkanların eşanjörün ısı performansını ve tüm soğutma sisteminin soğutma performansını nasıl değiştirdiği incelenmek istenmiştir. Bu sebeple iki ayrı soğutma sistemi imal edilmiş ve soğutkan olarak birinde R-404A diğ erinde ise R-407C kullanılmıştır. Plakalı ısı eşanjöründe dolaş an sıcak akışkanın debileri ve sıcaklıkları değiştirilerek deneyler yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Sistem Tasarımı ve İmal i

Deneysel çalışmanın amacı, lehimli plakalı ısı eşanjörü kullanılan soğutma sistemi imal etmek ve farklı soğutucu akışkanların kullanılması ile buharlaştırıcı olarak kullanılan eşanjörün performans karakteristiklerini belirlemektir. Bu amaçla iki ayrı buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Soğutma sistemlerinin birinde soğutkan olarak R-404A, diğ erinde R-407C akışkanı dolaşmaktadır. Şekil 1’de deneysel sistem görülmektedir.



Şekil 1. Deneysel Sistem

Eşanjörlerin çalışma prensibine göre sıcak ve soğuk akışkanlar aynı anda eşanjörde dolaşır ve sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transferi gerçekleşir. Deneysel sistem çalıştırıldığında, soğutucu akışkan olan R-404A ve R-407C plakalı eşanjöre (evaporatöre) gelir ve buradan doymuş buhar olarak çıkar. Doymuş buhar halinde çıkan soğutucu akışkan bir kompresör yardımıyla basıncı artırılarak kondansere basılır. Yüksek basınçta kompresörden çıkan soğutucu akışkan kondansere girer ve burada ısını dış ortama atarak sabit basınçta yoğuşur. Yoğuşan akışkan genleşme valfine girer. Genleşme valfinden geçen soğutucu akışkan sabit entalpide genleşerek ıslak buhar haline gelir. Islak buhar halinde eşanjöre giren soğutucu akışkan sıcak akışkanın ısını çekerek buharlaşır [3,4]. Aynı anda sıcak akışkan olan su, eşanjörde ısını vererek soğur ve eşanjörden çıkıp tekrar su tankına gelir.

Su soğutma amaçlı dizayn edilen bu sistemlerde deneyler dört farklı hacimsel debi ve dört farklı sıcaklık için yapılmıştır. Tablo 1’ de bu deneylerde kullanılan diğ işken parametreler ve aralıkları verilmiştir.

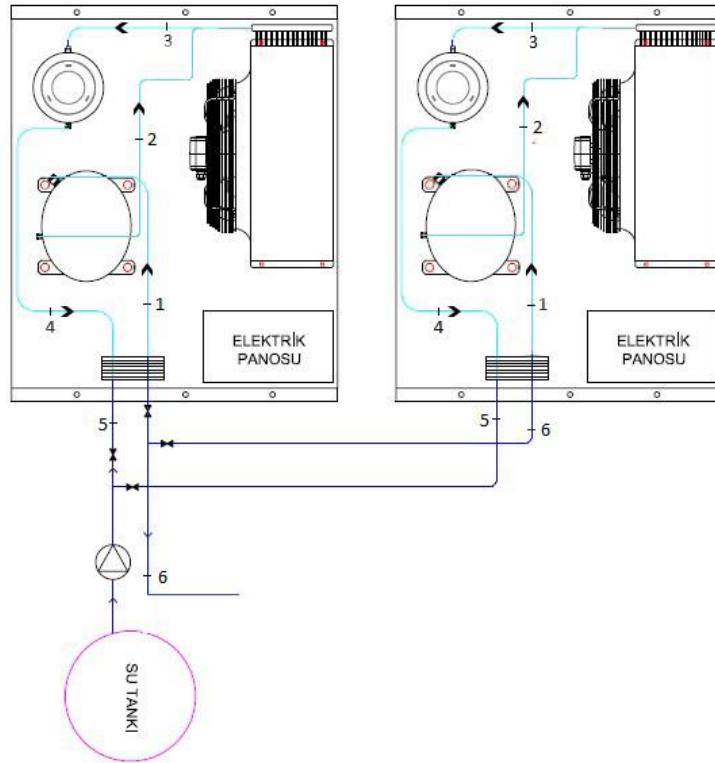
Tablo 1. Deneylerde kullanılan değişken parametreler

Değişken Parametreler	Değer
Sıcaklık (°C)	20-35 °C
Debi (L/dk)	1-2,5 L/dk

Yapılan deneyler sonucunda her iki buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi için ölçüm verileri alınmış ve bu veriler doğrultusunda plakalı ısı eşanjörünün ve soğutma sisteminin ekserji analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları soğutma sisteminde kullanılan iki farklı soğutucu akışkan için karşılaştırılmıştır. Çalışmayla ilgili ayrıntılı bilgi ve birinci yasa analizi [5] numaralı kaynakta verilmiştir.

2.2.İkinci yasa analizi

Ekserji ya da kullanılabilir enerji termodinamiğin ikinci yasasına dayanmaktadır. Ekserji belirli bir enerjiye sahip akışkanın çevre şartlarına indirgenerek kendisinden maksimum iş elde edilmesine denir. Plakalı ısı eşanjörlü soğutma sisteminin ekserji analizi yapılırken Şekil 2’de verilen deneysel sistemin şematik görünümünden yararlanılmıştır.

**Şekil 2.** Deneysel Sistemin Şematik Görünümü

Çevresel parametreler referans durum olarak kabul edildiğinde, ikinci yasa yazılacak olursa, özgül ekserji (Ψ) (sürekli akışlı sistemler için kullanılabilirlik), eşitlik (1)’deki gibi ifade edilir [6].

$$\Psi = (h - h_0) + \frac{1}{2}v^2 + gz - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

Denklemden görülen “0” alt indisi çevre şartları (ölü hal) referans alınarak bulunmuş değerlerdir. Çevre sıcaklığı (T_0) ile gösterilmiş olup (h) özgül entalpi, (s) özgül entropidir. v akışkan hızı, g yerçekimi ivmesi ve z yüksekliktir. Birim zamanda kontrol hacmine giren ve çıkan soğutucu akışkanla birlikte

gerçekleşen entropi transferi ($s - s_0$) olarak ifade edilmiştir. Akış ekserjisi denklemindeki, potansiyel ve kinetik enerji miktarları çok küçük olduğu için ihmal edildiğinde denklem (2) elde edilir.

$$\Psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2)$$

Toplam ekserji ise eşitlik (3) ile bulunur.

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot \Psi \quad (3)$$

Kompresörlü teorik soğutma sistemdeki tüm elemanların ekserji kayıplarının hesaplanmasında eşitlik (4) kullanılmıştır.

$$E_{\text{kayıp}} = \sum \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - \dot{W} + \sum_{\text{giren}} \dot{m} \Psi - \sum_{\text{çıkan}} \dot{m} \Psi \quad (4)$$

Buhar sıkıştırmalı soğutma sistem elemanlarından kompresörün ekserji balans denklemini eşitlik (5) ile hesaplanmaktadır. Buradan tersinmezlik eşitlik (6)'daki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{E}_1 + W = \dot{E}_2 + I_{\text{komp.}} \quad (5)$$

$$I_{\text{komp.}} = \dot{E}_1 - \dot{E}_2 + W \quad (6)$$

Kondanser için ekserji balans denklemini eşitlik (7) 'de tersinmezlik ise eşitlik (8) 'de verilmiştir.

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_3 + \dot{E}_{\text{Qk}} + I_{\text{K}} \quad (7)$$

$$I_{\text{K}} = \dot{E}_2 - \dot{E}_3 \quad (8)$$

Kısma valfinde ekserji balansı ve tersinmezlik formülü denklem (9) ve (10)'da verilmiştir.

$$\dot{E}_3 = \dot{E}_4 + I_{\text{k.v}} \quad (9)$$

$$I_{\text{k.v}} = \dot{E}_3 - \dot{E}_4 \quad (10)$$

Plakalı ısı eşanjörlü evaporatörde tersinmezlik eşitlik (11)'de verilmiştir. Evaporatördeki toplam tersinmezliğin hesaplanabilmesi için sıcak akışkan ve soğuk akışkan taraflarındaki ekserji kayıpları ayrı ayrı hesaplanır [7].

$$I_{\text{E}} = \dot{E}_h + \dot{E}_c \quad (11)$$

$$\dot{E}_h = T_0 [m_h (s_{h,\text{ç}} - s_{h,\text{g}})] \quad (12)$$

$$\dot{E}_c = T_0 [m_c (s_{c,\text{ç}} - s_{c,\text{g}})] \quad (13)$$

Buhar sıkıştırmalı soğutma sisteminin ikinci yasa verimi denklem (14)'deki gibi ifade edilir [8].

$$\eta_{\text{II}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen ekserji}}{\text{Kullanılan ekserji}} = \frac{\dot{E}_{\text{Q,E}}}{W} \quad (14)$$

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada R-404A ve R-407C soğutucu akışkanlarıyla çalışan buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin ikinci yasa analizi yapılmıştır. Soğutma sisteminde oluşan ekserji kayıpları (tersinmezlikler) hesaplanarak, soğutma sisteminin toplam tersinmezlikleri bulunmuştur. Tablo 2 ve Tablo 3’de R-404A ve R-407C soğutucu akışkanları ile çalışan soğutma sistemindeki her bir noktanın termodinamik özellikleri verilmiştir. Tablo 4’te ise her iki soğutma sistemi için sistem elemanlarının tersinmezlikleri ve toplam tersinmezlik değeri verilmiştir.

Soğutma sisteminin her bir elemanı için yapılan tersinmezlik hesabında en yüksek tersinmezliğin her iki soğutma sistemi için de evaporatörde olduğu görülmektedir. Ayrıca aralarında çok fark olmasada, R-407C soğutkanı kullanılan soğutma sisteminin toplam tersinmezliği, R-404A soğutkanı kullanılan soğutma sisteminden daha yüksektir.

Tablo 2. R-404A soğutucu akışkanıyla soğutma sistemi için termodinamik özellikler

Durum	T (°C)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
(1)	-30	0,0026	349,61	1,62
(2)	42,53	0,0026	395,92	1,65
(3)	25,26	0,0026	237,16	1,12
(4)	-30	0,0026	237,16	1,16
(5)	20	0,016	83,06	0,29
(6)	15,5	0,016	62,94	0,21

Tablo 3. R-407C soğutucu akışkanıyla soğutma sistemi için termodinamik özellikler

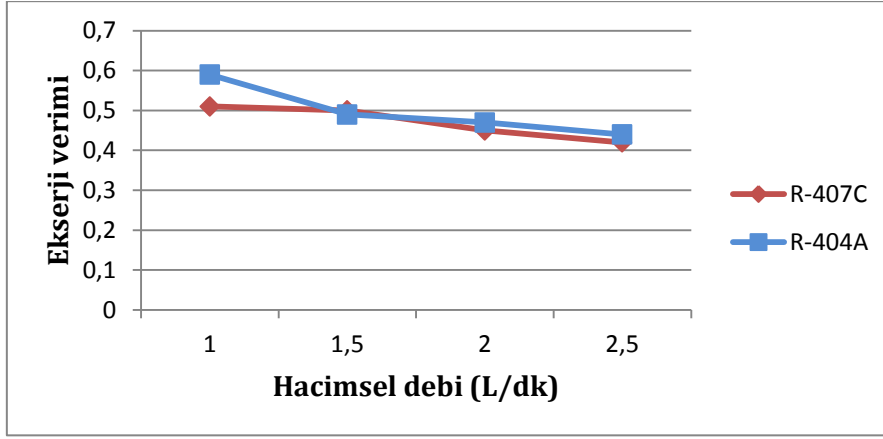
Durum	T (°C)	\dot{m} (kg/s)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
(1)	-40	0,0013	387,90	1,84
(2)	67,95	0,0013	464,74	1,88
(3)	19,39	0,0013	228,39	1,09
(4)	-40	0,0013	228,39	1,14
(5)	20	0,016	83,06	0,29
(6)	16,8	0,016	62,94	0,24

Tablo 4. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrim elemanlarının tersinmezlikleri

Sistem Elemanları	Tersinmezlik (kW) (R-404A)	Tersinmezlik (kW) (R-407C)
Kompresör	0,0156	0,0086
Kondanser	0,0012	0,001
Kısmi Valfi	0,019	0,038
Evaporatör	0,063	0,071
Toplam Tersinmezlik	0,10	0,12

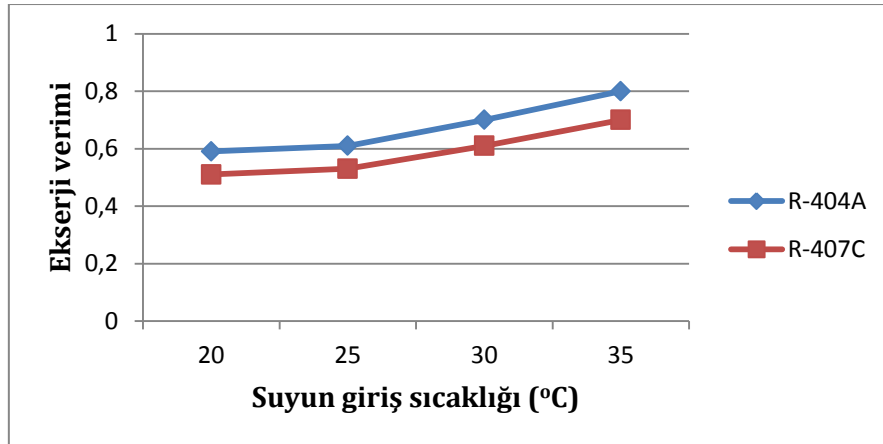
Termodinamiğin ikinci yasa analizine göre buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin ekserji verimi hesaplanmıştır. Sıcak akışkan ve soğuk akışkan debisinin artmasıyla sistemde oluşan ekserji kayıpları

artmaktadır. Buda ekserji veriminin düşmesine neden olmaktadır. Şekil 3’de ekserji veriminin hacimsel debiye göre değişimi verilmiştir. R-407C soğutkanıyla çalışan soğutma sisteminin tersinmezlik değeri daha yüksek olduğu için ekserji verimi, R-404A soğutkanıyla çalışan soğutma sisteminin ekserji veriminden daha düşüktür. Her iki soğutma sisteminde hacimsel debi 1,5 L/dk iken ekserji verimleri eşittir. Hacimsel debinin artmasıyla ekserji verimleri düşüş göstermektedir.



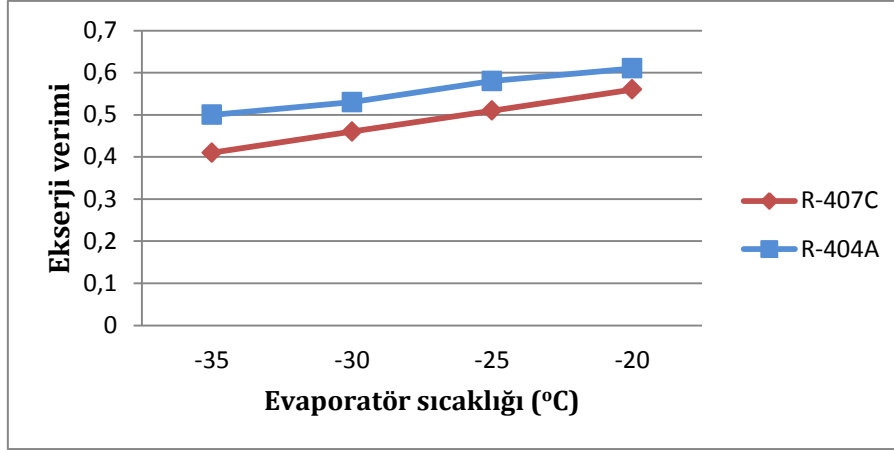
Şekil 3. Ekserji veriminin hacimsel debiye değişimi

Şekil 4’te ekserji veriminin suyun eşanjöre giriş sıcaklığına göre değişimi görülmektedir. Suyun eşanjöre giriş sıcaklığı arttıkça her iki akışkanında ekserji verimide artmaktadır.

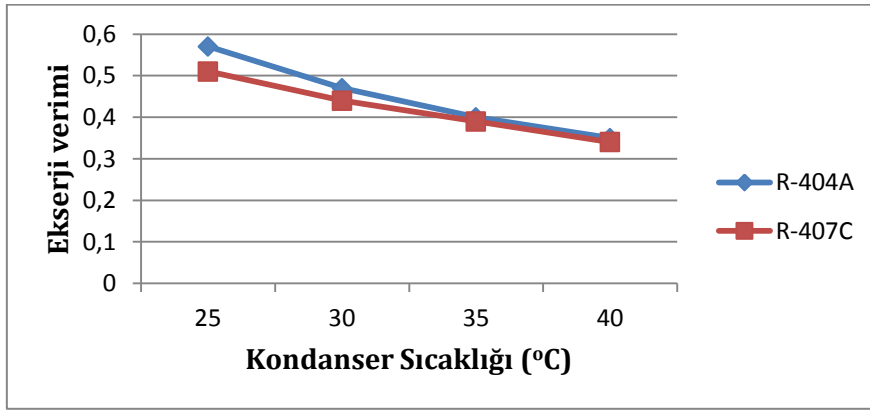


Şekil 4. Ekserji veriminin suyun giriş sıcaklığıyla değişimi

Soğutma yükü ve akışkan debileri sabit tutulup evaporatör sıcaklığı artırıldığı zaman kompresörün yaptığı iş azalır ve sistemin birinci yasa ve ikinci yasa verimi artar. Kondanser sıcaklıkları artırıldığı zaman kompresörün yaptığı iş artar ve sistemin birinci yasa verimleri düşer. Şekil 5 ve Şekil 6’ da ekserji veriminin kondanser ve evaporatör sıcaklıklarına bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5. Ekserji veriminin evaporatör sıcaklığı ile değişimi



Şekil 6. Ekserji veriminin kondanser sıcaklığı ile değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada farklı soğutucu akışkanlar kullanılan plakalı ısı eşanjörlü iki ayrı soğutma sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Plakalı ısı eşanjörü buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde evaporatör olarak kullanılmıştır. Buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde soğutucu akışkan olarak R-404A ve R-407C soğutkanları kullanılmıştır. Su soğutma amaçlı dizayn edilen bu sistemlerde deneyler dört farklı hacimsel debi ve dört farklı sıcaklık için yapılmıştır. Deneysel sonuçlar alınarak buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin ve plakalı ısı eşanjörlerinin ikinci yasa analizleri yapılmıştır. Yapılan ikinci yasa analizine göre buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin ekserji verimi ve bütün sistem elemanları için tersinmezlik değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplar sonucu R-407C soğutucu akışkanıyla çalışan buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin toplam tersinmezlik değerinin R-404A soğutkanıyla çalışan soğutma sistemine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla R-404A soğutkanı kullanılan soğutma sisteminin ekserji verimi, R-407C kullanılan soğutma sistemine göre daha yüksektir.



TEŞEKKÜR

Bu çalışma **3789-YL1-13** Nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar maddi desteklerinden dolayı SDÜ BAP yönetimine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] ÇALIŞKAN, H., HEPBAŞLI, A., “Isı Değiştiricilerin Ekserjetik Yönleri”, Mühendis ve Makina, 2013.
- [2] GENÇELİ, O., “Isı Değiştiricileri”, Birsen Yayınevi, 424s. İstanbul, 2005.
- [3] KILIÇ, B., “Plakalı Isı Eşanjörlerinin Isıtma ve Soğutma Uygulamaları İçin Optimum Çalışma Şartlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008.
- [4] YAMANKARADENİZ, R., “Soğutma Tekniği ve Uygulamaları”, VİPAŞ A.Ş., 607s., Bursa, 2009.
- [5] BAYRAM, G., “Farklı Soğutucu Akışkanlar Kullanılan Plakalı Isı Eşanjörlü Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2014.
- [6] ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, McGraw-Hill, 867s. İstanbul, 2012.
- [7] KHAİRUL, M. A., ALİM, M. A., MAHBUBUL, I. M., SAİDUR, R., HEPBASLI, A., HOSSAIN, A., “Heat Transfer Performance and Exergy Analyses of a Corrugated Plate Heat Exchanger Using Metal Oxide Nanofluids”, International Communications in Heat and Mass Transfer, 50, 8–14, 2014.
- [8] EKİN, A. B. “Buzdolaplarında Kullanılan Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Çevrimlerinin Ekserji Analizi ile İncelenmesi”, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 31s., Manisa, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Gamze BAYRAM

1988 yılı İzmir doğumludur. 2012 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünü bitirmiştir. 2014 yılında aynı üniversitede Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünden yüksek lisansını tamamlamıştır.

Arzu ŞENCAN ŞAHİN

1975 yılı Isparta doğumludur. 1996 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 1999 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansını, 2004 yılında doktorasını tamamlamıştır. Halen Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır.

Samed ŞENTÜRK

1992 yılı Balıkesir doğumludur. 2014 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa devam etmektedir.

Bülent KOPUZ

1989 yılı Rize doğumludur. 2012 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa devam etmektedir.