

# TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALARINDA CO<sub>2</sub> KULLANIMI

Hilmi Cenk BAYRAKÇI  
Arif Emre ÖZGÜR

## ÖZET

Son yıllarda fosil esaslı enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ve küresel ısınma sebebiyle çoğu dünya ülkesi atmosfere olan salınımların azaltılması yönünde çalışmalar yapmaktadır. Bu amaçla konfor şartlarının sağlanmasında, fosil yakıtlarla çalışan ısıtma sistemleri haricinde, alternatif ısıtma ve buna bağlı olarak da soğutma sistemleri ortaya konmuştur. Isı pompaları, enerji tasarrufu ve çevresel kaynakların kullanılması açısından bugün daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Bilindiği üzere ısı pompaları hava, su ve toprak kaynaklı olarak çalışmaktadır. Müstakil konutlarda toprak kaynaklı ısı pompaları, son yıllarda daha çok tercih edilir olmuştur. Genelde yüksek verimli ve pahalı olması nedeniyle özel bir müşteri profili olan bu sistem, son 15 yılda sağladığı enerji tasarrufu nedeniyle, artan kullanım ve ucuzlayan fiyatlarla çok farklı bir kullanıma oturmuştur. Bugün Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Avrupa Amerika'da enerji amaçlı ve Amerika da tasarruf olarak Devlet ve Çevre örgütlerince tavsiye edilen bir sistem niteliğine kavuşmuştur. Ülkemizde de son zamanlarda villa ve müstakil evlerde bu sistemin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompalarında, birçok soğutucu akışkan kullanılmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle, soğutma sistemleri ve ısı pompalarında alternatif soğutucu akışkan kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu akışkanlardan biri de CO<sub>2</sub> olup, son yıllarda özellikle ticari tip soğutucularda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada toprak kaynaklı bir ısı pompasında yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkanlar yerine alternatif olarak CO<sub>2</sub>'in kullanımı teorik olarak incelenmiş, örnek bir hesaplama yapılarak sistem performansına etkileri grafiklerle sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub>, 410A, 407C, toprak kaynaklı ısı pompası

## ABSTRACT

Because fossil based energy resources go down, alternative energy resources are used and because of the global warming, most of the world countries have been doing scientific researches so as to lessen oscillations towards atmosphere. For this purpose, except fossil fuel heating systems in order to provide comfort requirements, alternative heating and in parallel with this cooling systems have been introduced. Today, heat pumps are increasingly becoming favorite in terms of energy saving and usage of environmental resources.

As it is known, heat pumps work on air, water and soil source. Recently, there has been much demand on soil source heat pumps in detached houses. Because this system is generally efficient and expensive, it has got a special customer profile. However, this system has been aimed to use in the last fifteen years thanks to its energy saving, increasing usage and falling prices. Today, soil source heat pumps have been made as an advisable system quality by Government and Environment Organizations (in Europe and the U.S.A for energy purpose and only in the U.S.A for saving). Recently in our country, the usage of this system has also become widespread in villas and detached houses. In soil source heat pumps, plenty of refrigerant is used. Because of global warming, usage of

alternative refrigerants is becoming widespread in cooling systems and heat pumps. One of these refrigerants is CO<sub>2</sub> and the usage of this refrigerant has been widespread especially in refrigerated display cabinets.

Alternatively, in this study the usage of CO<sub>2</sub> has been analyzed theoretically instead of refrigerants used widely in a soil source heat pump. A sample calculation has been done and its effects to the system performance have been shown with graphics.

**Key Words:** CO<sub>2</sub>, 410A, 407C, ground sourced heat pump

## 1. GİRİŞ

Isı pompalarının konutlarda konfor amaçlı olarak kullanılması, son yıllarda giderek artmaktadır. Özellikle ABD ve Avrupa ülkelerinde fosil kaynaklı yakıtlar olan petrol, doğalgaz ve türevlerinin giderek tükenmesi, ısıtma sorununa alternatif arayışları getirmiştir ve ısı pompaları uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır.

Isı pompaları bilindiği üzere soğutma çevriminin ters çevrilmesiyle mekânların soğutulması yerine, düşük ısı kaynağından ısı çekilmesi ve dışarıya atılan atık ısının iç ortama verilmesi esasına dayanır. Isı pompaları ısıyı çektiği ortamlara göre toprak, su ya da hava kaynaklı olabilirler. Isı enerjinin aktarıldığı kısım ise hava (iç mekân) olabildiği gibi, ısıtma suyu da olabilir [1]. Özellikle villa uygulamalarında, toprak kaynaklı ısı pompaları, konutun bulunduğu konum ve toprağın sıcaklık avantajı nedeniyle daha çok tercih edilir olmuştur. Havanın ülkemizde kış ve yaz mevsimlerinde ortalama -20°C'den +45 °C değişkenlik göstermesi ısı pompaları için bir dezavantaj oluştururken, toprak sıcaklığının ise +10°C'den +20 °C 'ye değişmesi, yaz – kış ısı pompasının atık enerjisi atabileceği ve en verimli çalışabileceği ideal değerler olarak avantaj getirmektedir[2].

Isı pompalarında ve soğutma uygulamalarında çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları R407C, R410A ve CO<sub>2</sub>'dir. CO<sub>2</sub> hacimsel ısı transfer kapasitesi yüksek bir akışkandır (0 °C için 22.545 kJ/m<sup>3</sup>). Bu değer CFC, HCFC, HFC ve HC akışkanların volümetrik ısı transfer kapasitelerine göre 3-10 kat daha yüksektir. Bu sebeple aynı kapasite değerleri için CO<sub>2</sub> akışkanlı sistem boyutları, diğer konvansiyonel sistemlerin boyutlarına göre küçük olmaktadır. CO<sub>2</sub>'in kritik nokta sıcaklığı ve kritik nokta basıncı (T<sub>kr</sub> = 31,1 °C, P<sub>kr</sub>=73,8 bar) sistem tasarımını etkilemektedir. Sistemden ısı atılması, kritik nokta üzerinde gerçekleşmektedir ve CO<sub>2</sub> bu süreçte yoğunlaşmamaktadır. Yoğuşma, kısımla işlemi sonrasında olmaktadır. Bu sebeple konvansiyonel sistemlerdeki yoğuşurucu yerine, CO<sub>2</sub> akışkanlı sistemlerde gaz soğutucu kullanılmaktadır[3,4,5]. Bu çalışmada, R407C, R410A ve CO<sub>2</sub>'in kullanıldığı aynı şartlara sahip bir toprak kaynaklı bir ısı pompasında her üç akışkanın teorik olarak incelenmiş, örnek bir hesaplama yapılarak sistem performansına etkileri grafiklerle sunulmuştur.

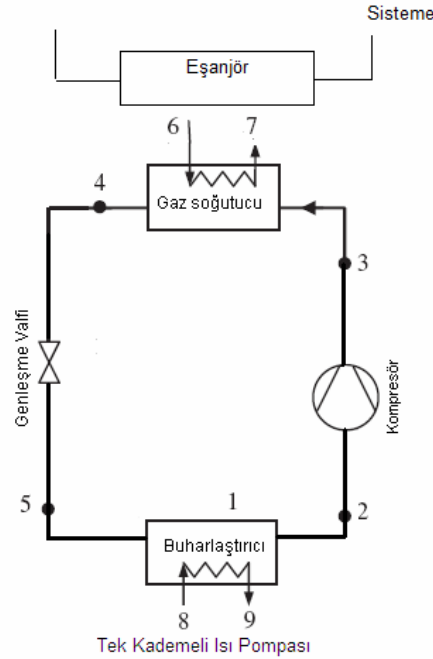
## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada R407C, R410A ve CO<sub>2</sub>'in kullanıldığı toprak kaynaklı bir ısı pompası teorik olarak modellenerek, her üç akışkan için bir bilgisayar programı (Engineering Equation Solver-EES) ile analiz yapılmıştır. Tüm termodinamik özellikler ve değerler bu programın kütüphanesinden alınmıştır [6]. Sistem için yapılan kabuller şu şekildedir:

Tek kademeli ısıtmada, konvansiyonel sistemlerden farklı olarak, CO<sub>2</sub> akışkanını kullanan sistemlerde yoğuşma olmadığı için, yoğuşurucu yerine gaz soğutucu kullanılmaktadır. Bu işlem kritik nokta üzerinde olduğu için, yüksek basınç değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca,

- Buharlaştırıcı sıcaklığı -10 ila +20 °C,
- İzentropik verim 0,7

- Evaporatör kızgınlık 7 °C,
- Gaz soğutucu basıncı 100 bar,
- Kondenser sıcaklığı 40 °C,
- Toprakta gelen su sıcaklığı, buharlaştırıcı sıcaklığından 7 °C fazla olarak alındı.
- Gaz soğutucuya/kondensere gelen su sıcaklığı 35 °C (Isı pompasında ısıtılacak su sıcaklığı)
- Buharlaştırıcı kapasitesi 1 kW,
- Gaz soğutucu etkinliği 0,9 olarak alınmıştır.



**Şekil 1.** Tek Kademeli toprak kaynaklı ısı pompası

Sistem için yapılan hesaplamalar ise şu şekildedir;

Adyabatik verim ifadesi;

$$\eta_k = \frac{(h_{3s} - h_2)}{(h_3 - h_2)} \quad (1)$$

ifadesi ile verilir. Bu ifadeden, kompresör çıkışındaki gerçek soğutkan entalpisi ( $h_3$ ) değeri elde edilir. Burada  $h_{3s}$  izentropik sıkıştırma işlemi sonucunda, kompresör çıkışında elde edilecek  $CO_2$ 'nin entalpisidir.

Kompresör tarafından tüketilen enerji miktarı;

$$W_c = \dot{m}_r (h_3 - h_2) \quad (2)$$

$$W_k = h_3 - h_2 \quad (3)$$

İfadeleri ile hesaplanır. Akışkan debisi;

$$Q_{ev} = \dot{m}_r (h_2 - h_5) \quad (4)$$

formülünden çekilerek bulunur.

Gaz soğutucu/kondenser ısı yükü ;

$$Q_{gs} = \dot{m}_r (h_3 - h_4) \quad (5)$$

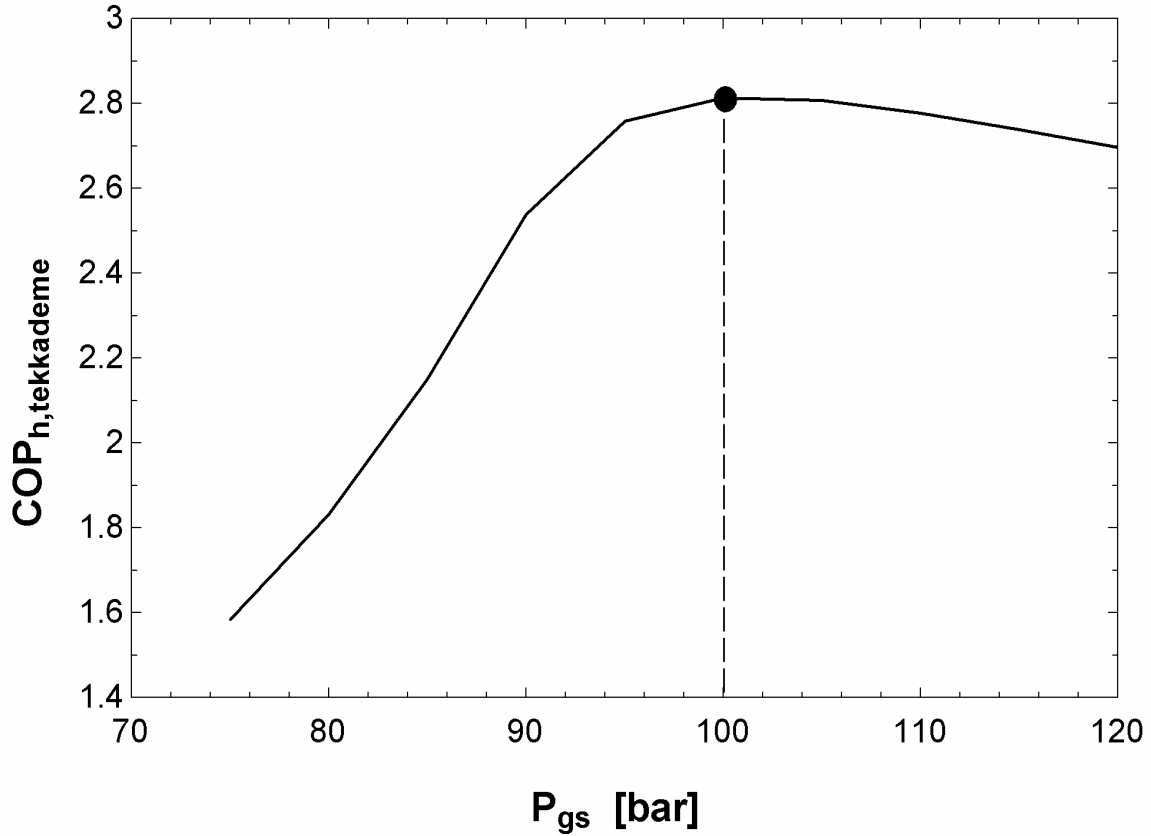
olmaktadır. Isıtma etkinlik katsayısı ( $COP_h$ ) ise;

$$COP_h = \frac{Q_{gs}}{W_c} \quad (6)$$

ifadeleriyle hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR

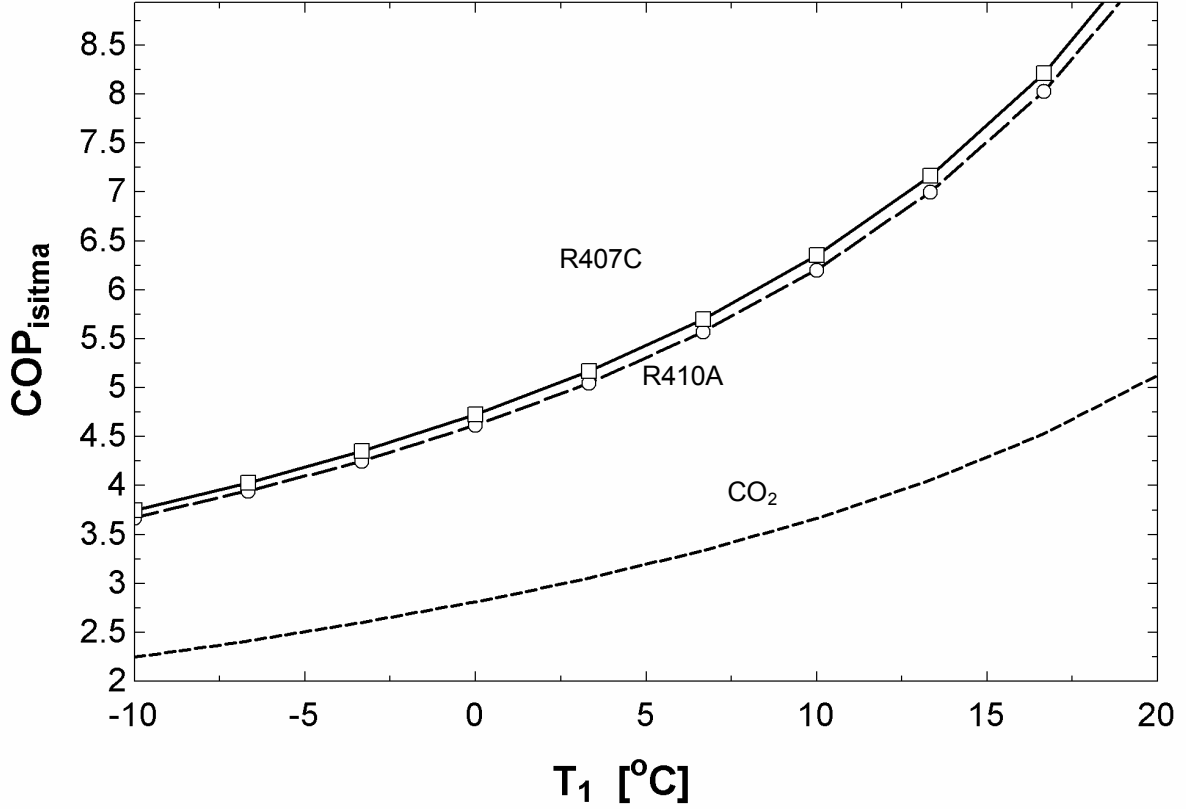
Yapılan kabuller ve hesaplamalar neticesinde, Şekil 2 incelendiğinde  $CO_2$ 'in soğutucu akışkan olarak tek kademeli ısı pompasında kullanıldığı durumda, gaz soğutucu basıncına göre  $COP$  değerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Gaz soğutucu basıncına göre  $COP$  değerinin değişimi

Grafikte  $CO_2$ 'in ısı pompası sistemi için kullanılabilir durumda, gaz soğutucuda bir optimum basınç değerinin alınması gerektiği görülmektedir. Şekilde  $COP$  değerinin maksimum olduğu değer 100 bar'a karşılık gelmektedir. Yani  $CO_2$ 'in ısı pompası sisteminde kullanılması için gaz soğutucu değerinin 10 bar değerinde olması en yüksek  $COP$  değerini sağlamakta, dolayısıyla gaz soğutucu basıncının bu değerinde seçilmesi gerekmektedir [7].

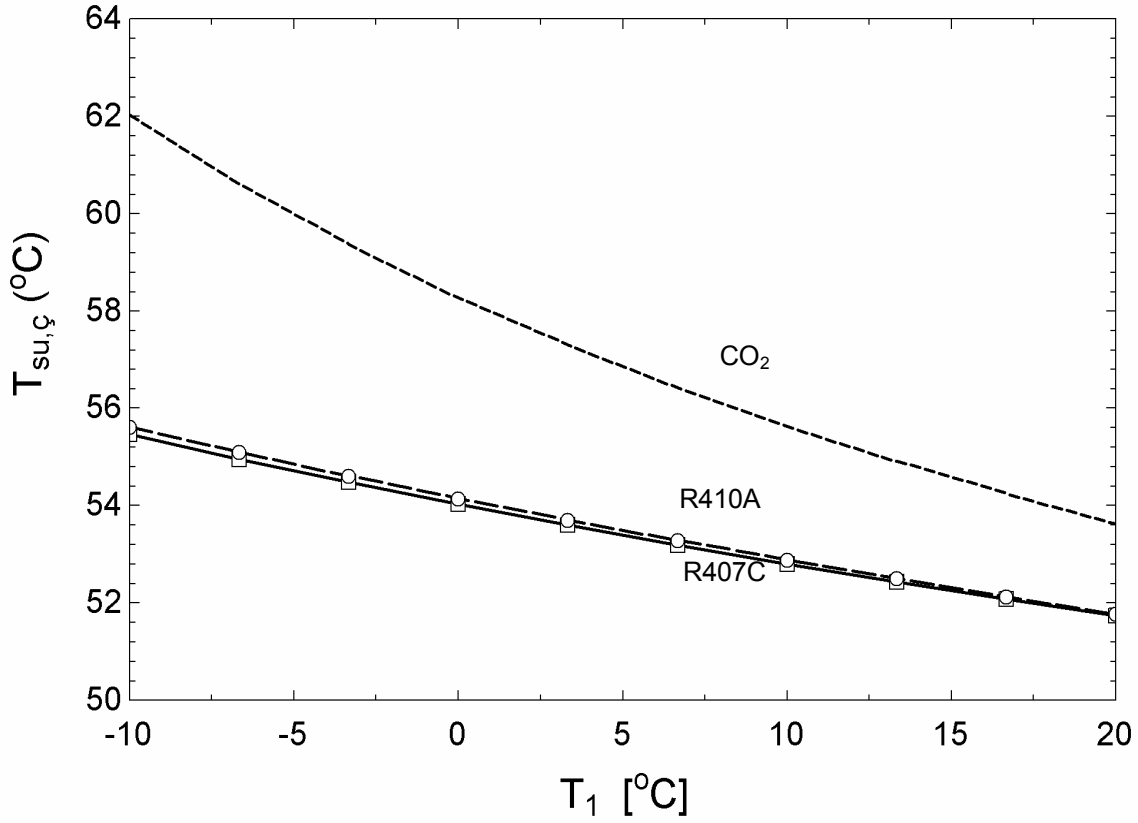
Seçilen bu değere uygun olarak ise, R407C ve R410A için kondenser sıcaklıkları CO<sub>2</sub>'li sistemdeki basınç değerine karşılık gelen 40 °C alınmıştır. Her üç akışkan için COP değerinin evaporatör sıcaklıkları ile değişimi Şekil 3'de görülmektedir.



**Şekil 3.** Evaporatör sıcaklığına göre her üç akışkan için COP değerinin değişimi

Şekil 3 incelendiğinde değişen evaporatör sıcaklıkları için R407C ve R410A akışkanlarının COP değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı, CO<sub>2</sub> için ise bu değerlerin düşük çıktığı görülmüştür. Ancak evaporatör sıcaklığına bağlı olarak, su çıkış sıcaklıkları göz önüne alındığında ise Şekil 4'deki gibi bir durum söz konusudur.

Şekil 4'de CO<sub>2</sub>'li ısı pompası çevriminde elde edilen su çıkış sıcaklıklarının daha yüksek olduğu, R407C ve R410A çevrimleri için ise sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. CO<sub>2</sub>'li çevrimden elde edilen su çıkış sıcaklıklarının yüksek olmasının sebebi, CO<sub>2</sub>'in transkritik (kritik üstü) bölgede çalışması ve eşanjöre CO<sub>2</sub>'in daha yüksek sıcaklıklarda girmesidir.



**Şekil 4.** Evaporatör sıcaklığına göre her üç akışkan için su çıkış sıcaklıklarının değişimi

## SONUÇ

Yapılan analizler neticesinde her ne kadar R407C ve R410A akışkanlarının COP değerleri yüksek olsa da, CO<sub>2</sub> için ek tedbirlerle (örneğin ara ısı değiştirici kullanmak, çift kademeli çevrim kullanmak gibi), COP değerinin artırılması mümkündür. CO<sub>2</sub>'li ısı pompası sistemlerinde CO<sub>2</sub> yüksek basınç değerlerinde ve kritik üstü çevrimle çalıştığı için 2 kademeli bir çevrimin kullanılması sistem performansına olumlu etkiler yapabilir. Ayrıca ara ısı değiştiricisi kullanımı da sistem performansı açısından büyük öneme sahiptir.

CO<sub>2</sub> kullanılan ısı pompaları ya da soğutma çevrimlerinin gaz soğutucularında, kritik üstü sıcaklıklarda ısı atımı gerçekleştirdiğinden, gaz soğutucudaki yüksek nitelikli (enerji açısından) CO<sub>2</sub> akımından faydalanılmalıdır. Yapılan analizlerde CO<sub>2</sub>'li çevrimde eşanjör çıkışında su çıkış sıcaklıklar değerinin yüksek olduğu görülmüştür.

Günümüzde sıklıkla kullanılan ısı pompalarında ve buna bağlı olarak soğutma sistemlerinde CO<sub>2</sub>'in soğutucu akışkan olarak kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Gelecekte kullanımının daha da yaygın hale gelmesi beklenen karbondioksit soğutkanlı sistemlerin verimliliğinin artırılması ve özellikle yerli sanayide bu konuda üretimin sağlanması önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Bayrakçı, H.C., Özgür A.E., Akdağ, A.E. Aynı Soğutma Yüğü İçin CO<sub>2</sub>'li Isı Pompalarının Enerji Sarfiyatlarının Karşılaştırılması, Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 31-35s. 6-9, Mayıs İzmir, Türkiye, 2009.
- [2] Fındık, N., Toprak Kaynaklı Isı Pompaları, Seminer, Form Endüstri Ürünleri A.Ş., 2004.
- [3] Neksa, P., CO<sub>2</sub> as the refrigerant for systems in transcritical operation principles and technology status Part I, Natural Refrigerants Conference AIRAH's 2004, Cilt: 3, No: 8, 28-33, Sydney, 2004.
- [4] Özgür, A. E., CO<sub>2</sub> Soğutkanlı Sıcak Su Isı Pompalarının Performans Analizi, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s. 177-184, 2007.
- [5] Gürleyen, K., Güngör, S., Çoban, M. T., Güngör, A., Karbondioksit (R-744) Soğutucu Akışkanlı Isı Pompası Sistemleri, *Soğutma Dünyası*, Sayı 41, Yıl 11, 2008.
- [6] Klein, S.A., Engineering Equation Solver, Version 8.158, F-Chart Software, 2010.
- [7] Özgür A.E., The performance analysis of a two-stage transcritical CO<sub>2</sub> cooling cycle with various gas cooler pressures. International Journal of Energy Research, Cilt: 32, s. 1309-1315, 2008.

## ÖZGEÇMİŞ

### Hilmi Cenk BAYRAKÇI

1974 yılında Balıkesir'de doğdu. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1999 yılında, yine aynı üniversitenin Makine Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisans derecesi aldı. 1995–1997 yılları arasında özel şirketlerde montaj ve bakım mühendisi olarak, 1997–2007 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesi Senirkent Meslek Yüksekokulu Teknik Programlarında okutman olarak çalıştı. 2006 yılında doktorasını Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği ana bilim dalından tamamladı. 2007 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Senirkent Meslek Yüksekokulu Teknik Programlarına Yardımcı Doçent Doktor olarak atandı. Halen aynı görevine devam etmektedir. Alternatif soğutucu akışkanlar, izolasyon malzemeleri, ekserji analizi ve temiz ve tükenmez enerji kaynakları konularında çalışmaktadır.

### Arif Emre ÖZGÜR

1977 yılında Eskişehir'de doğdu. 1998 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Tesisat Öğretmenliği Bölümü'nden mezun oldu, 2001 yılında, yine aynı üniversitenin Makine Eğitimi ana bilim dalında yüksek lisans derecesi aldı. 1998–2005 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2005 yılında doktorasını Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği ana bilim dalından tamamladı. Yine 2005 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'ne Yardımcı Doçent Doktor olarak atandı. 2010 yılında Makine Teknolojileri Eğitimi alanında Doçent unvanını aldı. 2011 Yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne Doçent olarak atandı. Halen aynı görevine devam etmektedir. Alternatif soğutucu akışkanlar ve alternatif soğutma sistemleri boyutlandırmaları, ekserji analizi ve temiz ve tükenmez enerji kaynakları konularında çalışmaktadır.