

CO₂ İLE ÇALIŞAN TRANSKRİTİK SOĞUTMA ÇEVİRİMİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Orkan KURTULUŞ
Burak OLGUN
Emre OĞUZ
Hasan HEPERKAN

ÖZET

Uzun yıllardan beri soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar olarak CFC ve HCFC gazlarının ozon tabakasına zarar verdiğinin anlaşılması üzerine bu gazlar Montreal Protokolü ile yasaklanmıştır. Son yıllarda Ozon tabakasına zarar veren gazların yerine yapılan alternatif gaz arayışı sonucunda CO₂ gazına olan ilgi artmıştır. Diğer gazlara oranla daha az kirleticiliği ve Termofiziksel özellikleri sayesinde günümüzde CO₂ uygulamaları artmıştır. Uygulamada yüksek kapasiteli kaskat soğutma sistemlerinde veya yine yüksek kapasiteli endüstriyel uygulamalarda bolca kullanılmaya başlanmıştır. Buzdolabı uygulamalarında 100 W ila 300 W arasında soğutma kapasiteleri kullanılmaktadır. Piyasadaki CO₂ ile çalışan kompresörlerin buzdolabı uygulamalarında kullanılan sıcaklıklarda test değerleri mevcut değildir. Yıldız Teknik Üniversitesinde hazırlanan deney düzeneği ile bir kompresör kalorimetre test sistemi oluşturulmuştur. Bu sayede düşük kapasiteli CO₂ soğutma sisteminde istenilen çalışma sıcaklıklarına göre kompresör performans değerleri ortaya çıkarılmış ve değerlendirme sonuçları çalışma içerisinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: CO₂, Transkritik soğutma çevrimi, Soğutma

ABSTRACT

The vapor compression cycle using refrigerant CFC and HCFC is widely used in refrigeration, air-conditioning and water heating industries. Utilization of these gases are prohibited by the Montreal Protocol. The critical temperature of CO₂ is much lower than that of the other refrigerants, namely 31.06°C. The gas cooling process which occurs at a constant pressure but at variable temperatures takes the place of the condensation process that occurs at both constant pressure and temperature. Domestic type refrigerators use smaller compressor capacities between 100 W to 300 W. Data on CO₂ refrigeration cooling cycle applications and calorimetric measurements are not available in the market and literature. In Yıldız Technical University laboratories a setup has been built to test the refrigerator model. Utilizing the experimental setup, our research group is determining the performance characteristics of commercially available CO₂ compressors at different pressures and temperatures. In this article, the performance characteristics will be presented and discussed.

Key Words: CO₂, Transcritical cooling cycle, refrigeration

1. GİRİŞ

Soğutma, iklimlendirme ve sıcak su hazırlama endüstrilerinde kullanılan buhar sıkıştırımlı çevrim, düşük sıcaklıkta buharlaşarak ısı çeken ve yüksek sıcaklıkta yoğunlaşarak bu ısıyı farklı bir ortama taşıyan soğutucu akışkanlara ihtiyaç duymaktadır. Uzun yıllardan beri bu tür sistemlerde kullanılan CFC ve HCFC gazlarının ozon tabakasına zarar verdiğinin anlaşılması üzerine, bu maddelerin kullanımı Montreal Protokolü ile yasaklanmıştır. CFC ve HCFC soğutkanlarına alternatif olarak geliştirilen HFC gazlarının ise, küresel ısınma etkisi olduğu tespit edilmiş ve bu gazların kullanımı da Kyoto Protokolü ile kısıtlanmıştır. Bu bağlamda, ozon tabakasına zarar vermeyen ve küresel ısınma etkisi olmayan alternatif soğutucu akışkanlar üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda artmıştır.

1900'lü yılların başında özellikle gemilerdeki soğutma sistemlerinde soğutkan olarak kullanılan karbondioksit [1], CFC, HCFC ve HFC soğutkanlarının çevreye verdiği zararın anlaşılması, doğal soğutkanlar olan amonyağın zehirli, hidrokarbonların (HC) ise yanıcı olması nedeniyle 1990'lı yılların ortalarında tekrar gündeme gelmiş ve soğutma, klima ve su ısıtıcısı uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar, günümüze kadar artarak devam etmiştir.

Diğer soğutkanlarla karşılaştırıldığında, 31.06°C gibi oldukça düşük bir kritik sıcaklığa sahip olan karbondioksitin (CO₂) farklı çevrimlerdeki uygulamalarında, ısının atıldığı ortam sıcaklığının kritik sıcaklıktan yüksek olması durumunda, kritik altı bölgede sabit sıcaklık ve basınçta gerçekleşen yoğunlaşma prosesinin yerini sabit basınç – değişken sıcaklıkta gerçekleşen gaz soğuma prosesi almakta ve böylelikle transkritik soğutma / ısı pompası çevriminden bahsedilmektedir. CO₂ çevrimlerinin transkritik olma özelliğinin yanısıra, aynı doyma sıcaklıklarında doyma basıncının diğer soğutkanlara göre 10–20 kat daha yüksek olması, sistemde kullanılan kompresör, ısı değiştiricisi ve kısılma cihazı gibi komponentlerin tasarımında da önemli değişiklikler gerektirmekte ve bu konular literatürde detaylı olarak çalışılan başlıklar arasında yer almaktadır.

Her ne kadar literatürde bazı sayısal ve deneysel çalışmalar mevcut olsa da, özellikle -10°C'tan daha düşük buharlaşma sıcaklığı gerektiren uygulamalar için yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Derin dondurucu bölmesine sahip ev tipi buzdolaplarında buharlaşma sıcaklığının -30°C mertebesinde olması nedeniyle, -10°C'tan daha düşük sıcaklıkların da incelenmesi ve bu sıcaklıklar için optimum egzoz basıncı değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada ticari olarak üretilen bir CO₂ kompresörünün belirli kondenzasyon ve evaporasyon sıcaklıklarında sağlamış olduğu soğutma kapasiteleri ortaya çıkarılmıştır.

2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

Hazırlanan deney tesisatı klasik buhar sıkıştırımlı soğutma sistemini modellemektedir. Hazırlanan deney düzeneğinde aşağıda liste olarak verilen elemanlar mevcuttur.

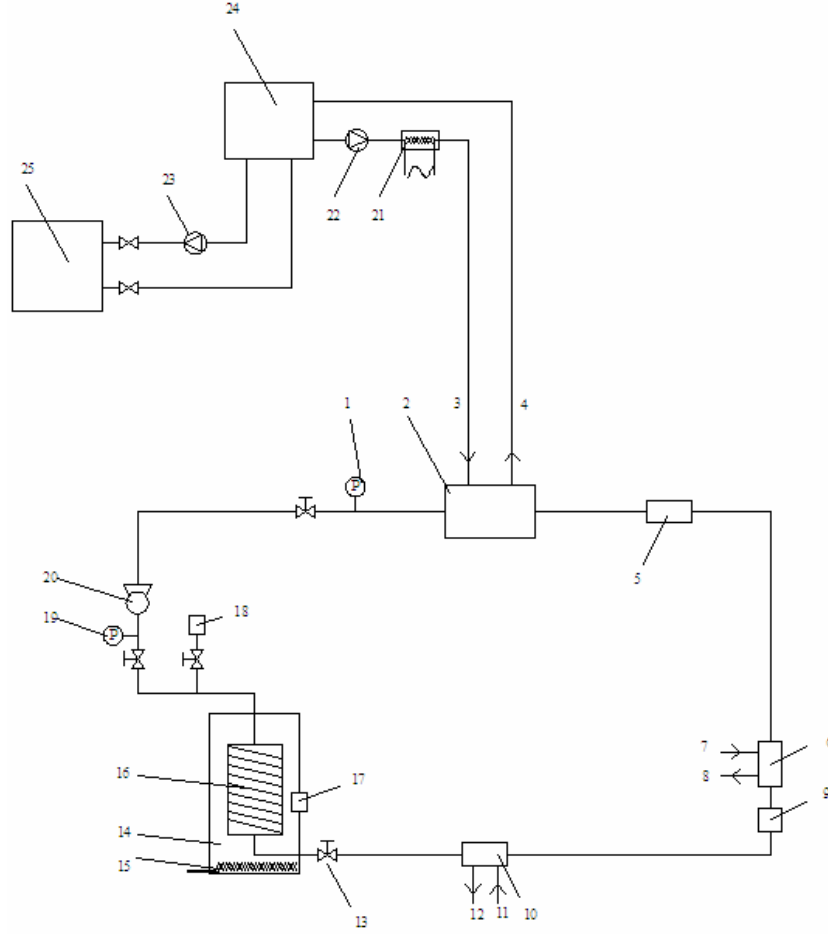
Soğutma çevrimini oluşturan elemanlar

1. Kompresör
2. Kondenser
3. Evaporatör
4. Çok turlu kısılma vanası

Ölçüm sisteminde kullanılan cihazlar

1. Yüksek basınç sensörü
2. Düşük basınç sensörü
3. Debimetre
4. Isılçift (thermocouple)

Şekil 1’de Yıldız Teknik Üniversitesi Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı laboratuvarında hazırlanmış bulunan deney düzeneğinin akış şeması görülmektedir.



Şekil 1 Deney Düzeneği Akış Şeması

Tablo 1 Akış Şeması Numaralandırılmış Elemanların Listesi

1. Yüksek basınç sensörü	2. Kondenser	3. Kondenser Soğutma suyu giriş
4. Kondenser Soğutma suyu çıkış	5. Sıvı Deposu	6. Subcooler1
7. Subcooler su giriş	8. Subcooler su çıkış	9. Debimetre
10. Subcooler 2	11. Subcooler su giriş	12. Subcooler su çıkış
13. Kısılma vanası	14. I tüpü	15. Elektrikli ısıtıcı
16. Soğutucu serpantin	17. Gözetleme camı	18. Şarj/Vakum Noktası
19. Düşük basınç sensörü	20. Kompresör	21. Kondenser soğutma suyu şartlandırma havuzu
22. Pompa 1	23. Pompa 2	24. Su deposu
25. Chiller		

Test düzeneği şartlandırılmış iki adet kabinden oluşturulmuştur. Kabinlerden biri kompresörün içerisinde bulunduğu kabindir. Diğer kabin ise ısı değiştiricisinin içerisinde bulunduğu kabindir.

Hazırlanan sistemde kondenser, harici bir chiller (hava soğutmalı kondenserli su soğutucu) yardımıyla soğutulan su ile beslenmektedir. Hazırlanan sistemde chiller deney düzeneğinin ihtiyacı olan soğutmayı sağlamaktadır. Chiller kullanılarak, Subcoolerlar, kondenser, kabin şartlandırmalarının soğutması sağlanmaktadır. Subcoolerlar ile çevrimde kullanılan CO2 gazının sıvı fazda kısılma vanasına girmesi amaçlanmaktadır. Chillerin devreye giriş çıkışları sırasında sistemin sıcaklık

değişiminden fazla etkilenmemesi için chiller ile deney düzeneği arasında bir depo kullanılması planlanmıştır.

Kondenser soğutma suyu şartlandırma havuzu kullanılarak kondenserin ihtiyacı olan su soğutma ihtiyacı sabit sıcaklıkta PID kontrolü ile elde edilmektedir. Su şartlandırma havuzunun kullanılmasının nedeni ise chillerin devreye girip çıkması sırasında arada her ne kadar bir su deposu bulunsa da soğutma suyunun sıcaklığında bir dalgalanma yaşanmasıdır. Su şartlandırma havuzu ise bu dalgalanmanın önüne geçmek ve istenilen sabit sıcaklıkta suyun hazırlanması görevini üstlenmektedir. Şekil 2'de kompresör kabini görülmektedir. Şekil 3'de ısı değiştirici kabini görülmektedir.



Şekil 2 Kompresör Kabini



Şekil 3 Isı Değiştirici Kabini

2.1. Ölçüm Ekipmanları

Yüksek basınç sensörü: CO₂ ile çalışmaya uygun kalibrasyonlu 4-20mA elektronik çıkış verebilen 0–150 bar gibi yüksek basınçlarda çalışmaya uygun bir basınç sensörüdür. Hassasiyeti %2'dir.

Düşük basınç sensörü: CO₂ ile çalışmaya uygun 0–30 bar aralığında çalışan, 4-20mA çıkış sinyali verebilen bir basınç sensörüdür. Hassasiyeti %2'dir.

Termokupl: Hazırlanan deney düzeneğinde akış şemasında verilen noktaların sıcaklık ölçümlerini yapmak amacı ile T tipi termokupllar ile sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır.

PLC: Hazırlanan tesisatta sıcaklık kontrolleri, datalogging, ve otomasyon yapabilmek amacı ile Panasonic/NAİS marka bir PLC grubu kullanılmıştır.

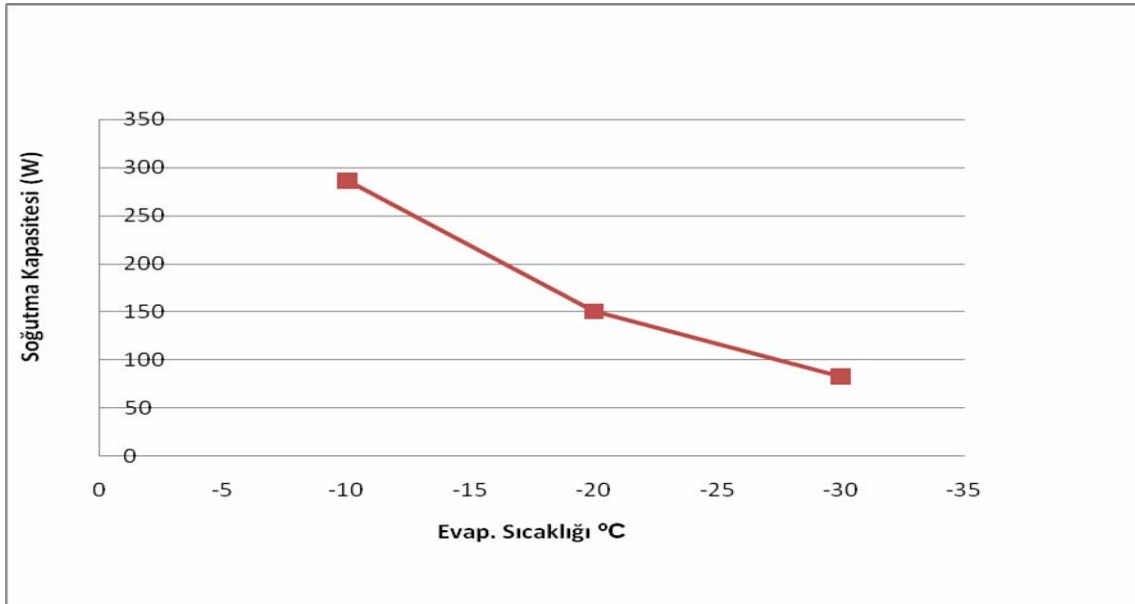
Debimetre: CO₂ ile çalışmaya uygun Siemens marka kalibrasyonlu 4-20mA çıkış sinyali verebilen %1 hassasiyetli coriolis tip debimetre temin edilmiştir.

Sistemde çeşitli kondenzasyon ve evaporasyon sıcaklıklarına göre sağlanan soğutma miktarı ölçülmüştür. Bu çalışmada aşağıda sıralanan şartlarda yapılan testler ele alınmıştır.

- 70 Bar Kondenser Basıncı / -10 °C evaporasyon sıcaklığı
- 70 Bar Kondenser Basıncı / -20 °C evaporasyon sıcaklığı
- 70 Bar Kondenser Basıncı / -30 °C evaporasyon sıcaklığı

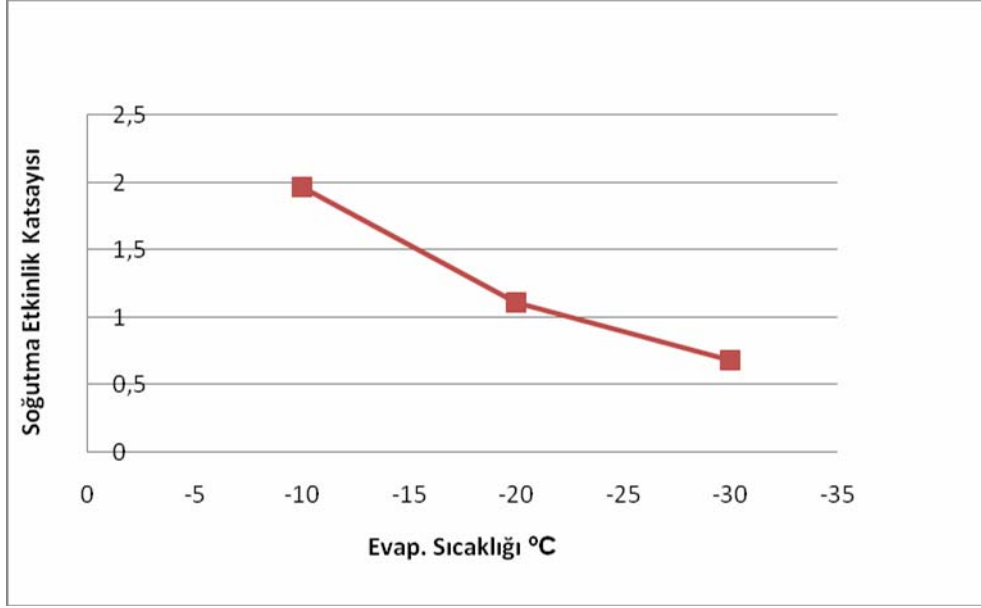
SONUÇ

CO₂ ile çalışan transkritik soğutma sisteminde 70 bar kondenser basıncına karşılık olarak -10/-20/-30 °C evaporasyon sıcaklıklarına göre deney sonuçları Grafik 1.'de verilmiştir.



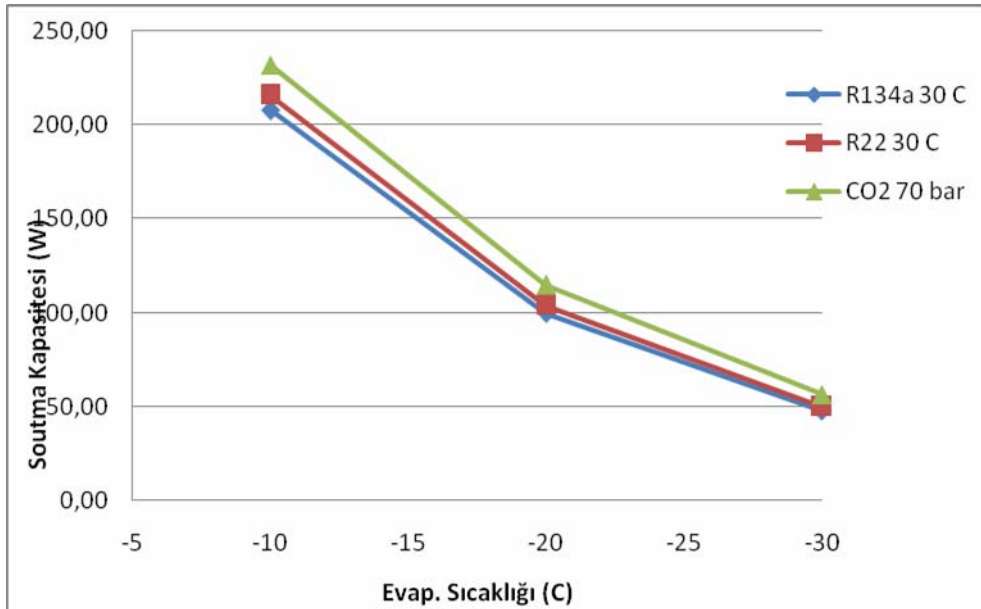
Grafik 1. Evaporasyon Sıcaklıklarına Göre Soğutma Kapasitesi (W)

Deney düzeneğinde yapılan testlere göre soğutma etkinlik katsayısı Grafik 2'de verilmiştir.

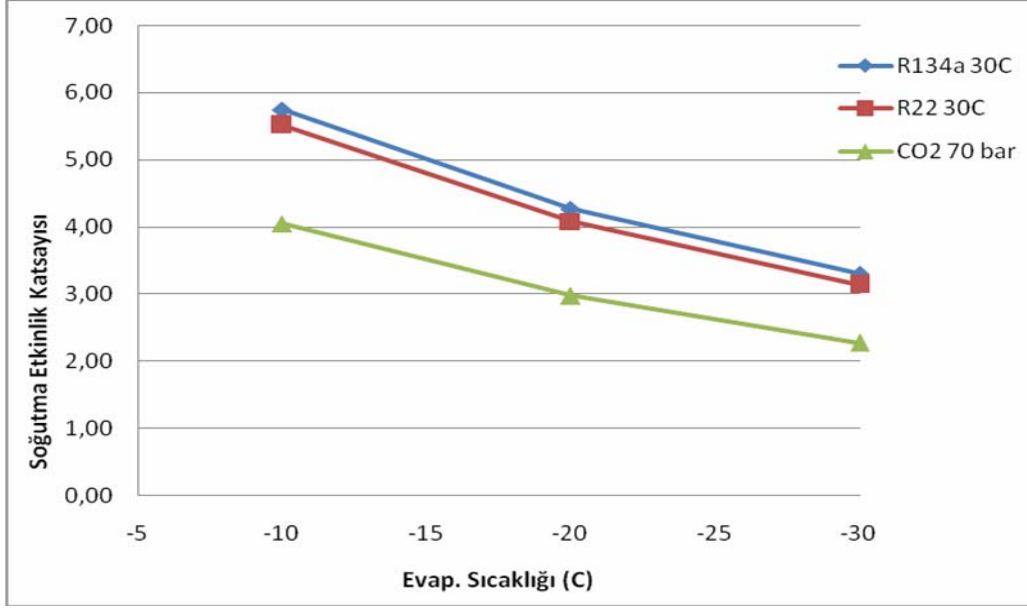


Grafik 2. Evaporasyon Sıcaklıklarına Göre Sistemin Soğutma Etkinlik Katsayısı

Deney setinden elde edilen sonuçlara göre debiler, -10°C evaporasyon sıcaklığı için $3,98\text{ kg/h}$, -20°C evaporasyon sıcaklığı için $1,90\text{ kg/h}$, -30°C evaporasyon sıcaklığı için $0,91\text{ kg/h}$ olarak ölçülmüştür. Teorik olarak diğer soğutkanlar ile karşılaştırma yapmak amacı ile belirtilen debi değerleri kullanılarak hesap yapılmıştır. Yapılan hesaplamalarda 30°C kondenzasyon sıcaklığındaki R134a veya R22 ile çalışan bir soğutma çevrimi ile 70 bar kondenser basıncındaki CO_2 ile çalışan bir soğutma çevrimi karşılaştırılmıştır. R134a ve R22 gazı için yapılan hesaplamalarda kondenzasyon sıcaklığı 30°C , kısılma vanası giriş sıcaklığı 25°C ve kompresör giriş sıcaklığı 25°C olarak alınmıştır. Yapılan hesaplamalar belirtilen değerlere göre çalışan buhar sıkıştırıcı bir soğutma sistemindeki soğutma miktarı (W) ve SEK değerleri, Grafik 3. ve Grafik 4 olarak verilmiştir.



Grafik 3. CO_2 ile Diğer Soğutma Gazlarının Soğutma Kapasitelerinin Karşılaştırması



Grafik 4. CO₂ ile Diğer Soğutma Gazlarının SEK Karşılaştırması - Teorik

Grafik 3'ten görüldüğü üzere CO₂ kullanılan bir sistemde aynı debi değerinde olsa dahi diğer akışkanlara göre daha fazla soğutma elde edilebilmektedir; fakat Grafik 4'e bakıldığında SEK değeri karşılaştırılan diğer akışkanlara göre biraz daha düşüktür. Başlıca neden kompresörün transkritik bölgede daha fazla iş yapıyor olması olarak özetlenebilir. Bu sonuçlardan görülmektedir ki CO₂'nin diğer akışkanlara göre soğutma kapasitesi daha yüksektir. Sonuçlara bakıldığında CO₂'nin teorik SEK değeri 4 olarak görülmektedir. Deneysel değerler ise 2 olarak bulunmuştur. Her ne kadar soğutma performansı olarak rekabetçi bir akışkan olsa bile SEK değerlerine bakıldığında bu akışkanların daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Çevreye olan olumlu etkilerinin bedeli özgül enerji sarfiyatındaki artış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Araştırma ve Geliştirme Genel Müdürlüğü'nün desteğiyle, 00238.STZ.2008–1 kodlu proje kapsamında gerçekleştirilmiş olup yayındaki hiçbir görüş, tespit veya kanaat Bakanlık'ın resmi görüşü değildir.

KAYNAKLAR

- [1] Riffat, S.B., Afonso, C.F., Oliveira, A.C. ve Reay, D.A., 1997. Natural refrigerants for refrigeration and air-conditioning systems, *Applied Thermal Energy*, 17, 33-42
- [2] Brown, J.S., Yana-Motta, S.F. ve Domanski, P.A., 2002. Comparative analysis of an automotive air-conditioning systems operating with CO₂ and R134a, *Int. J. of Refrigeration*, 25, 19–32
- [3] Rozhentsev, A. ve Wang, C.C., 2001. Some design features of a CO₂ air conditioner, *Applied Thermal Engineering*, 21, 871-880

ÖZGEÇMİŞ

Orkan KURTULUŞ

1980 yılında Almanya'da doğdu. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2006'da aynı üniversitede yüksek mühendis ünvanı almasını takiben doktora

öğrenimine başlamıştır. 2006 dan itibaren Yıldız Teknik Üniversitesinde Termodinamik ve Isı Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

Burak OLGUN

1977 yılında İstanbul'da doğmuş, Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversitede yüksek mühendis ve doktor ünvanlarını almıştır. Lisansüstü öğrenimi süresinde Yıldız Teknik Üniversite Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı bünyesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. Lisansüstü öğrenimini bitirmesini takiben Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesindeki görevinden ayrılmış, 2009 yılından itibaren Zeta Bilgi Teknolojileri Yatırım Danışmanlığı Proje Araştırma Eğitim İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.'nde enerjinin verimli ve etkin kullanımı ile çeşitli bilişim teknolojilerinin enerji verimliliği uygulamalarında etkin kullanımı konularında Proje Yöneticisi olarak çalışmakta, enerji yönetimi konusunda çalışmalarına devam etmektedir. Aynı zamanda kurucusu ve ortağı olduğu Total Endüstriyel Plan Proje Mühendislik Taah. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.'nde çeşitli endüstriyel ölçüm cihazları ve emisyon ölçüm ve takip sistemlerinin ihracatı konusunda faaliyet göstermektedir. Yabancı dil olarak İngilizce bilen Olgun, çok sayıda endüstriyel çalışma ve projede görev almıştır. Sektördeki çalışmalarının yanı sıra halen vakıf üniversiteleri bünyesinde çeşitli dersler vermekte olan Olgun'un 40'ın üzerinde yayınlanmış makalesi ve bildirisi bulunmaktadır.

Emre OĞUZ

1977 yılında İstanbul'da doğmuş, 1994 yılında İzmir Bornova Anadolu Lisesi'nden, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi'nden mezun olmuştur. 1998–2000 yılları arasında Üniversite-Sanayi İşbirliği Programı çerçevesinde Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde proje asistanı olarak görev alan Oğuz 2000 yılında M.Sc. derecesini İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nden almış ve aynı yıl doktora çalışmalarına başlamıştır. 2000-2006 yılları arasında Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde Ar-Ge mühendisi olarak çalışmış, 2006 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Ph.D. derecesini almıştır. 2008 yılından beri Arçelik A.Ş. Ar-Ge Merkezi Termodinamik Teknolojiler Bölümü'nde Ar-Ge Uzmanı olarak çalışmakta olan Oğuz'un ona yakın uluslar arası konferans bildirisi ve yirmiye yakın uluslar arası patenti / patent başvurusu mevcuttur.

Hasan HEPERKAN

1953 yılında İstanbul 'da doğmuş, 1970 de Ankara Fen Lisesi, 1974 de İTÜ Makina Fakültesi 'nden mezun olmuştur. Fullbright ve TÜBİTAK şeref bursiyeri olarak ABD ne giden Heperkan, 1976 da Syracuse University de M.Sc. ve 1980 de University of California, Berkeley de Ph. D. derecelerini elde etmiş, bu arada Lawrence Berkeley Laboratuvarı 'nda araştırmacı olarak çalışmıştır. Daha sonra ABD de Union Carbide firması Araştırma Merkezi 'inde bir yıl görev yaparak, Alexander von Humboldt bursiyeri olarak Universitaet Karlsruhe (TH) ya gitmiştir. 1984 yılına kadar Almanya 'da kalmış ve geri dönmüştür. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Demirdöküm 'de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi 'ne geçerek 1997 de profesör ünvanını almıştır. 1987 den beri Yıldız Teknik Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yeditepe Üniversitesi ve Hava Harp Okulunda ısı tekniği ve tesisat konularında çeşitli dersler vermekte olup, birçok doktora ve lisansüstü tez yönetmiş, araştırma ve endüstriyel projeler yürütmüştür. İki dil bilen Heperkan çeşitli ulusal ve yabancı ödüller kazanmış ve 60 ın üzerinde kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.