



**Bu bir MMO  
yayıdır**

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

## **ÇOKLU BUHARLAŞTIRICILI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

**HİKMET DOĞAN  
MUSTAFA AKTAŞ  
GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**ŞAFAK ATAŞ  
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ**



# ÇOKLU BUHARLAŞTIRICILI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Hikmet DOĞAN  
Mustafa AKTAŞ  
Şafak ATAŞ

## ÖZET

Çoklu buharlaştırıcı buhar sıkıştırıcı soğutma sistemleri, en fazla (maksimum) yükü karşılayacak şekilde tasarlanmış olmalarına rağmen, ömürlerinin çoğunu kısmi yükte çalışarak geçirirler. Bu sistemler, termostatik kontrol yöntemi ile sabit hızda (50 Hz) çalışan bir kompresörü aç/kapa döngüsü şeklinde çalıştırdıklarından, işlem daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu deneysel çalışmada, sıcaklık değerleri (0°C, +5°C, -5°C) olan üç buharlaştırıcı buhar sıkıştırıcı bir soğutma sisteminin tasarımı ve tasarım sonrası deneysel olarak analizi yapılmıştır. Tasarlanan ve imal edilen bu sistemde ortak dönüş basıncı değerine göre kompresör değişken hızlarda çalıştırılmış ve karşılaştırma yapabilmek için aynı sistem aç/kapa termostat kontrol döngüsünde de çalıştırılmıştır. Deneylerin birinci aşamasında kompresör sabit hızda (50 Hz) çalıştırılarak ortak dönüş basıncı ölçülmüş ve bu değerler analiz edilerek kompresör çalışma frekansı belirlenmiştir. Deneylerin ikinci aşamasında, sistemde bulunan kompresör, Programlanabilir Mantık Kontrolörü (PLC) tarafından sürülen bir invertör ile değişken hızlı hale getirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda aynı şartlarda çalıştırılan her iki sistem için, geliştirilen program dâhilinde PLC kontrolünün yapıldığı sistemin, aç/kapa termostat kontrol döngüsü ile çalışan sisteme göre %20 daha az elektrik enerjisi tükettiği belirlenmiştir. Enerji verimliliği açısından PLC kontrolü ile sağlanan elektrik enerjisi tüketimindeki düşüş değeri oldukça önemlidir. Özellikle, soğutma yükünün fazla olduğu uygulamalarda geliştirilen bu model ciddi oranda enerji tasarrufu sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Buhar Sıkıştırıcı Soğutma, Programlanabilir Mantık Kontrolörü, Ortak Dönüş Basıncı

## ABSTRACT

Although the vapor compression cooling systems with multi evaporators are designed to meet the maximum cooling load, they operate at partial loads for most of their lifespan. Since these systems operate with thermostatic control method, their compressors operate at a constant 50 Hz frequency as on/off cycles which increases energy consumption. In this experimental study, belong to that temperatures values (0°C, +5°C, -5°C), a vapor compression cooling system with three evaporators designed and tested experimental analysis after design. Designed and manufactured in this system the variable speed compressor was operated in accordance with the common suction pressure value and the same system to make comparisons on / off thermostat has operated in the control loop. The first stage of the experiment, the common suction pressure was measured by running at constant speed compressor (50 Hz) and compressor operating frequency is determined with this values by analyzing. In the second stage of the experiment, the compressor in the system, Programmable Logic Controller (PLC) has been made by an inverter driven by variable speed. As a result of experiments performed for both systems operated in the same conditions, including the development of the program the PLC control is done by the system on / off according to a running system with thermostat control cycle of 20% was determined to less energy is consumed. Decrease in electrical energy consumption value provided by the PLC control is quite important in terms of energy efficiency.

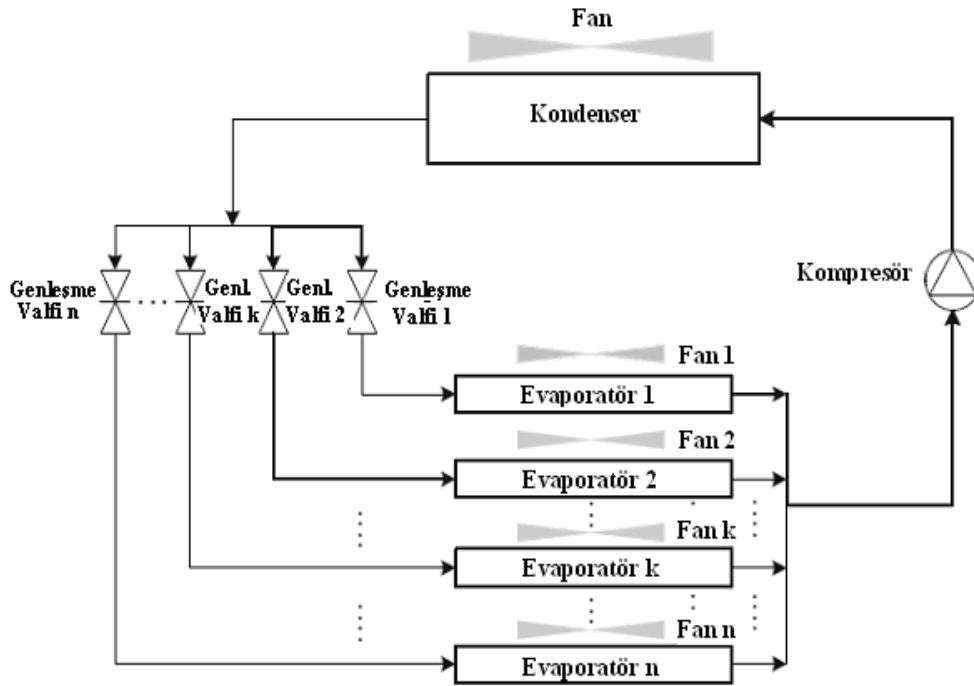
Especially when in applications where over the cooling load, improved this model will provide substantial energy savings.

**Key Words:** Vapor Compression Cooling, Programmable Logic Controller, Common Suction Pressure

## 1. GİRİŞ

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin endüstride kullanılan birçok türü bulunmasına rağmen, farklı binaların tek bir soğutma ünitesinde korunabilmesini sağlayan çok buharlaştırıcılı buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri bunlar içerisinde en yaygın kullanıma sahip olanıdır.

Çoklu buharlaştırıcılı soğutma sistemlerinin çalışma şekli temel olarak buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri gibidir. Çoklu buharlaştırıcılı sistemler bir kompresör, bir yoğuşturucu, birden fazla sayıda buharlaştırıcı ve aynı sayıda genişleme elemanından oluşurlar. Bu sistemlere ait soğutma çevrim şeması Şekil 1.1 de gösterilmiştir [Lin ve Yeh, 2009].



**Şekil 1.1.** Çoklu buharlaştırıcılı soğutma sistem şeması [Lin ve Yeh, 2009]

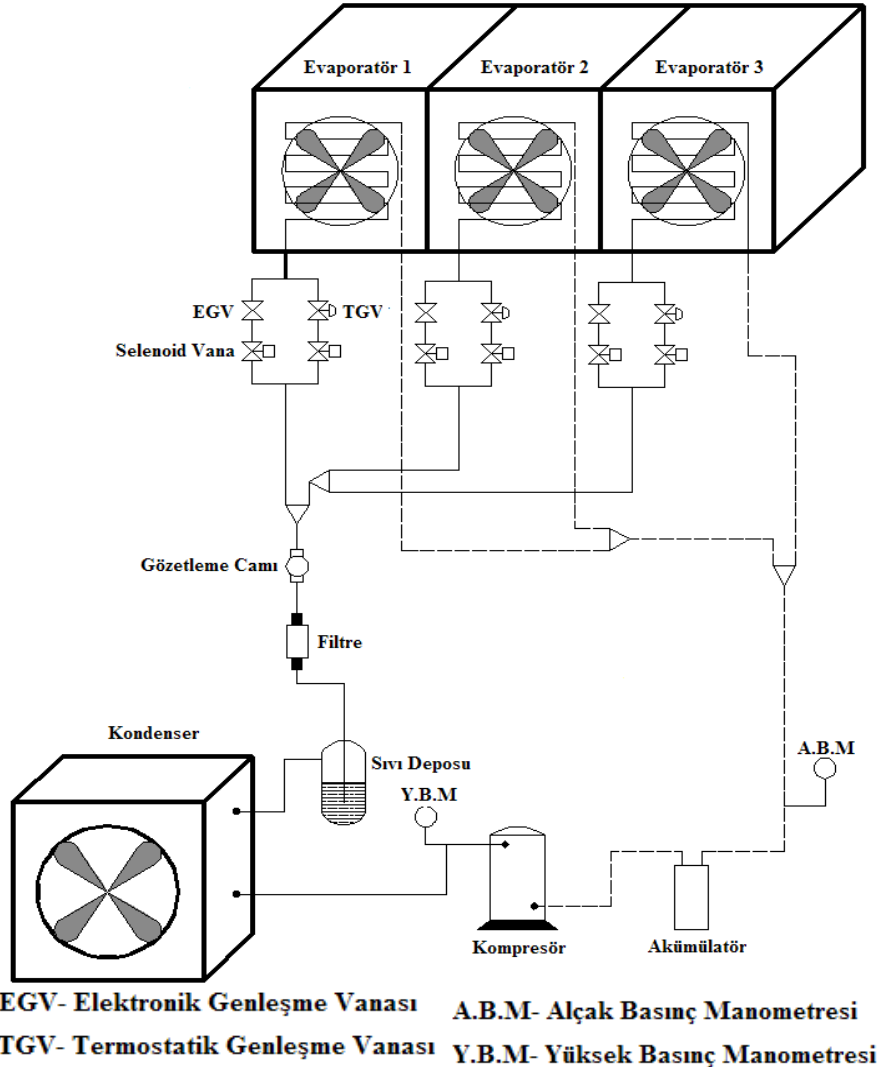
Çoklu evaporatörlü soğutma sistemleri bir evaporatörlü soğutma sistemlerine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Çoklu evaporatörlü sistemlerde her bir odanın soğutma yükü zamanla farklılıklar gösterir, evaporatörlerden birindeki basınç ve soğutucu akışkan miktarı gibi işletme parametreleri diğer evaporatörlerin uygun şekilde çalışmasını etkileyebilmektedir [Lin ve Yeh, 2009; Wu vd, 2005]. Bu yüzden geleneksel aç-kapa kontrol sistemleri çoklu evaporatörlü soğutma sistemleri için uygun değildir [Lin ve Yeh, 2009].

Bu sistemlerde farklı soğutucu oda sıcaklıkları farklı kapasitelerde kullanılan buharlaştırıcı vasıtası ile sağlanmaktadır. Sistemde kullanılan kompresör ise bir termostat vasıtası ile aç/kapa (on-off) mantığı ile çalışmaktadır. Bu tip bir kontrol türünde kompresör hızı sabittir. Bu yüzden soğutulan oda sıcaklıklarından bağımsız olarak kompresörün harcadığı enerji aynı kalmaktadır. Endüstriyel soğutma sistemlerinde enerji tüketimini artıran en önemli etkenlerden biride kompresörün enerji ihtiyacından bağımsız olarak sabit hızda çalışmasıdır.

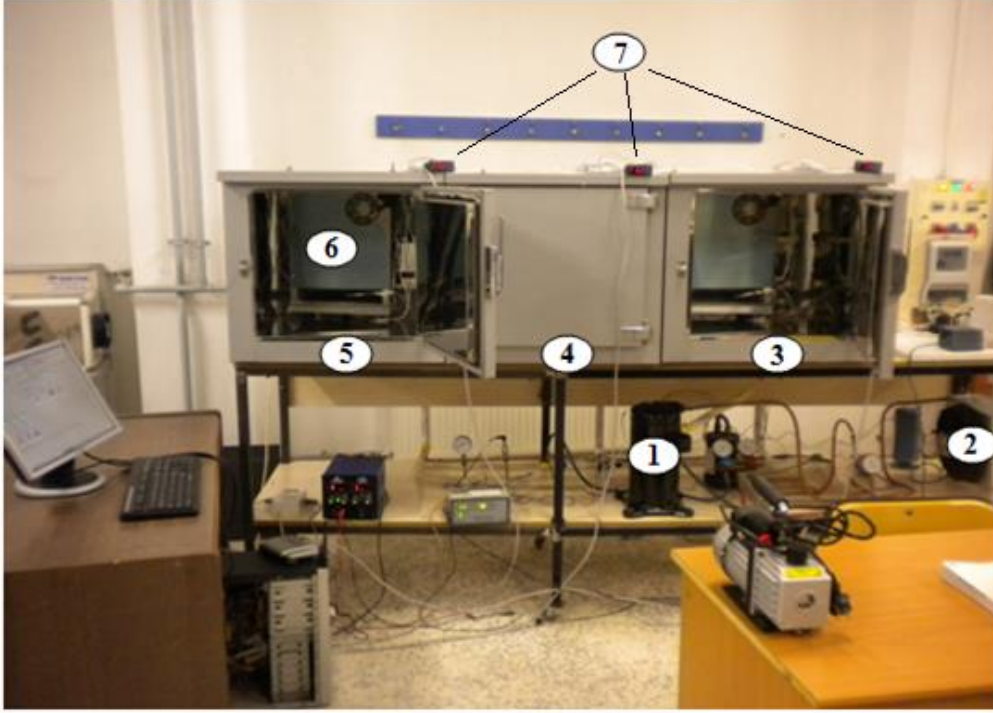
Soğutma sistemlerinde, belirli bir soğutma kapasitesi için kullanılan kompresörün hızının ayarlanması ile kompresör aç-kapa çevrim sayısı azaltılarak, çoğunlukla termostatik kontrolle çalışan sistemlerin enerji tüketimleri azaltılabilir. Böylece sistem verimi de artırılmış olur. Kompresörü tahrik eden elektrik motorunun frekansının ayarlanması ile farklı soğutma yükü şartları için kompresör kapasitesi değiştirilerek büyük oranda enerji tasarrufu sağlanabilir [Aprea vd, 2004(1); Aprea vd, 2004(2); Tian vd, 2008; Lin ve Yeh, 2009; Park vd, 2001; Choi ve Kim, 2003; Wu vd, 2005]. Çeşitli soğutma kapasitesi kontrol metodlarının teorik olarak kıyaslanması sonucunda kompresör hızının değiştirilmesi yönteminin en etkili enerji tasarrufu yöntemi olduğu görülmüştür.

## 2. MATERYAL

Sıcaklıkları +5°C, 0°C ve -5°C olması istenilen odalar için, üç buharlaştırıcı olarak tasarlanarak imal edilen deney düzeneğinin soğutma çevrim şeması Şekil 2.1 de, genel görünümü de Resim 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deney düzeneği soğutma çevrim şeması



**Resim 2.1.** Deney setinin genel görünümü

1- Kompresör  
2- Yoğuşturucu  
3- Soğuk oda (0°C)

4- Soğuk oda (-5°C)  
5- Soğuk oda (+5°C)  
6- Buharlaştırıcı

7- Soğuk oda kontrolörü

Deney düzeneği üzerinde üç farklı buharlaştırıcı sıcaklığına sahip soğuk odalar bulunmaktadır. Her bir buharlaştırıcı için kullanılan elektronik genişleme vanalarının (EGV) görünümü Resim 2.2 de gösterilmiştir.



**Resim 2.2.** Genleşme elemanlarının genel görünümü

Soğutma sisteminin imalatında kullanılan ekipmanların ve ölçüm cihazlarının özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

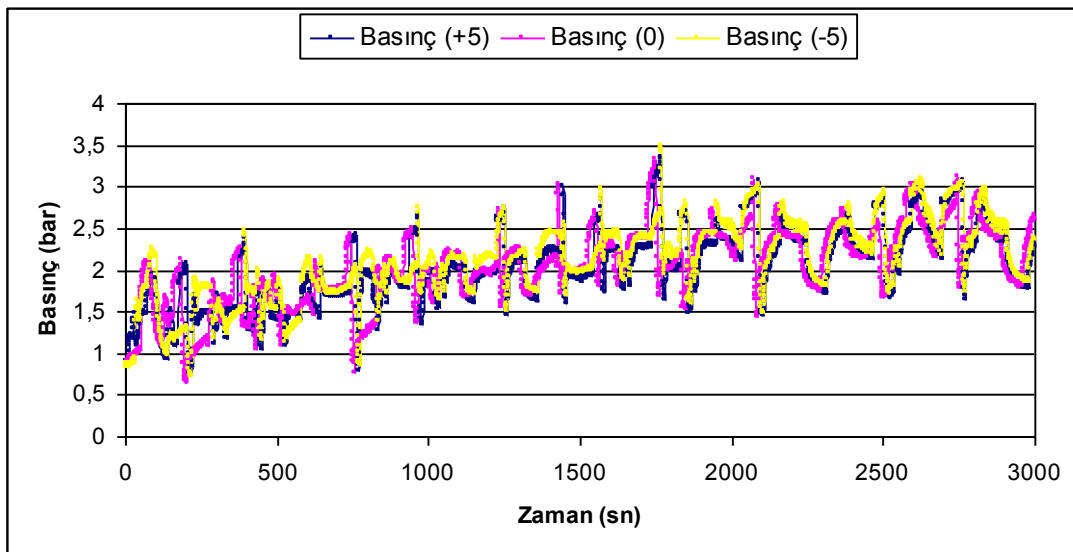
**Çizelge 2.1.** Üç buharlaştırıcılı soğutma sisteminde kullanılan ekipmanların ve ölçüm cihazlarının özellikleri

Kullanılan Ekipmanlar	Teknik Özellikleri
Kompresör	ZR22K3E-TFD, 50 Hz, 3-Faz, 380/420, R407C, 1,8HP
EGV (EX2-100)	PWM, ASC 24V, 0.1...1A
İnvertör	2,2 kW (3 HP), 0...60 Hz
PLC (S7-1200)	S7-1200
Soğuk Oda Kontrolörü (EC2-352)	24VAC $\pm$ 10%, 50/60Hz, TCP/IP 10MBit/s
Basınç Algılayıcı	PT5-07M -0,8...7 bar, 4...20 mA, AC1 0...25 bar, 4...20 mA,
Sıcaklık Algılayıcı	NTC 10 k $\Omega$ , -50...500C, T.kupl K Tip Sıcaklık -50...1372 °C

Bu çalışmada, scroll kompresör kullanılmıştır. Scroll kompresör elektrik motoru besleme frekansı 15 Hz'e kadar düşürülebilmektedir. Yarı-açık pistonlu kompresörlerde 30 Hz'den daha düşük devirlerde çarpmalı yağlama sisteminden dolayı yağlama problemleri, gürültü, titreşim ortaya çıkmaktadır [Aprea ve ark., 2004(1), Aprea ve Mastrullo, 2006, Erken, 2009]. Scroll kompresörde ise bu problem daha azdır. Bu çalışmada, sabit hızlı çalıştırılmak üzere tasarlanmış scroll kompresör, değişken hızlı olarak çalıştırılacağı için kompresör hızı 30 Hz'den daha aşağı indirilmemiştir.

### 3. DENEYLERİN YAPILIŞI VE VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

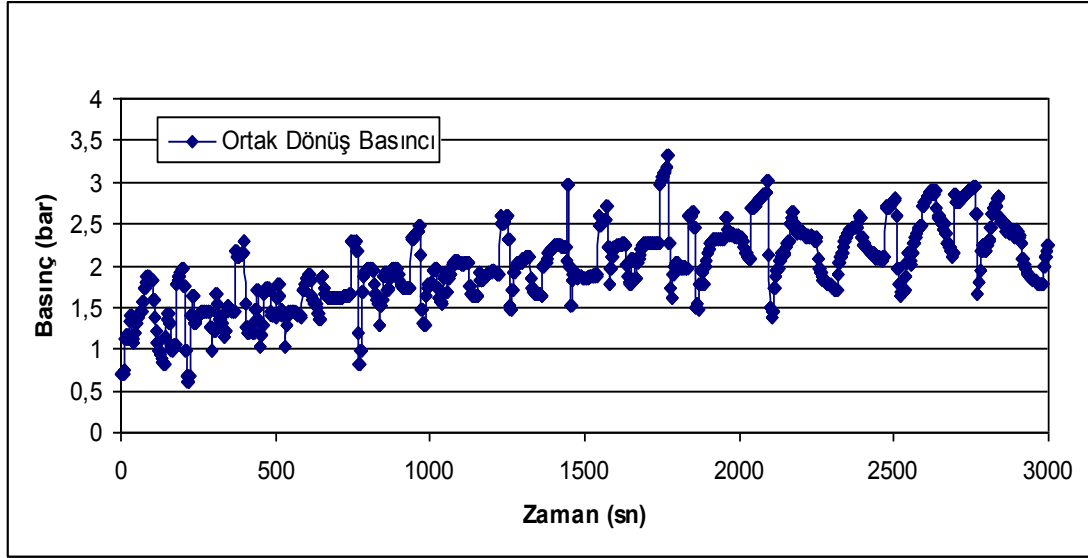
Soğutma sistemin kompresörü öncelikle 50 Hz sabit frekansa ayarlanarak deneyler yapılmıştır. Ölçüm noktalarından alınan veriler 1 saniye aralıklar ile kayıt edilmiştir. Yapılan çalışmada her bir buharlaştırıcının zamana bağlı olarak basınç değişimi Şekil 3.1 de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Zamana bağlı olarak buharlaştırıcılardaki basınçların değişimi

Şekil 3.1 de farklı sıcaklıklara sahip odalar için buharlaştırıcılara ait basınç değişimleri görülmektedir, her bir buharlaştırıcı için basınç değerleri farklılıklar göstermesine rağmen, ortak bir dönüş basıncına ulaşmak için birbirlerine benzer bir salınım göstermektedirler.

Soğutma sistemi kompresörü sabit hızda çalışırken odalardan birinin ya da bir kaçının istenilen sıcaklık değerine gelmesi durumunda soğuk oda kontrolörü elektronik genleşme vanalarını (EGV) tam olarak kapatarak buharlaştırıcılara gidecek olan soğutkanı engellemektedir. Soğutkan geçişinin engellenmesi ile kompresöre dönen soğutkan miktarı azalacak ve basınç düşecektir. Bu değişim aynı zamanda da sistemin toplam ısı yükündeki değişimi yansıtmaktadır. Şekil 3.2 deki grafik üzerindeki ani basınç düşüşleri bu durumu göstermektedir.



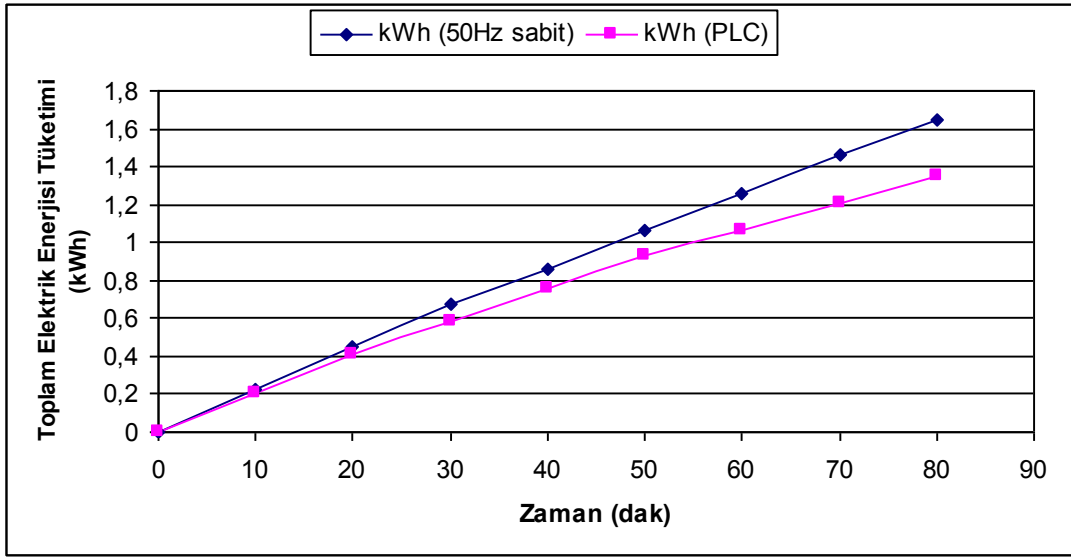
**Şekil 3.2.** Zamana bağlı ortak dönüş basıncının değişimi

Bu ısı yüklerindeki değişimleri irdelemek ve sabit hızlı sisteme ait basınç değişimlerinin değişken hızlı kompresör kontrolüne referans olması açısından Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 deki grafikler oluşturulmuştur.

Deneylerin ikinci aşamasında, kompresör bir frekans invertörü ile sürülerek değişken hızda uygun aralıklarda çalıştırılmış ve ölçüm noktalarından alınan veriler kayıt altına alınmıştır. Bu kontrol sistemi ile çoklu buharlaştırıcılı soğutma sistemi üzerindeki yük değişimlerine göre kompresör değişken hızlı olarak çalıştırılmıştır. Değişken hızlı sistem için ortak dönüş basıncında yer alan basınç algılayıcı PLC cihazı ile bağdaştırılmıştır bu yüzden tekrardan basınç değişimlerini gösteren grafikler değişken hızlı sistem için oluşturulmamıştır.

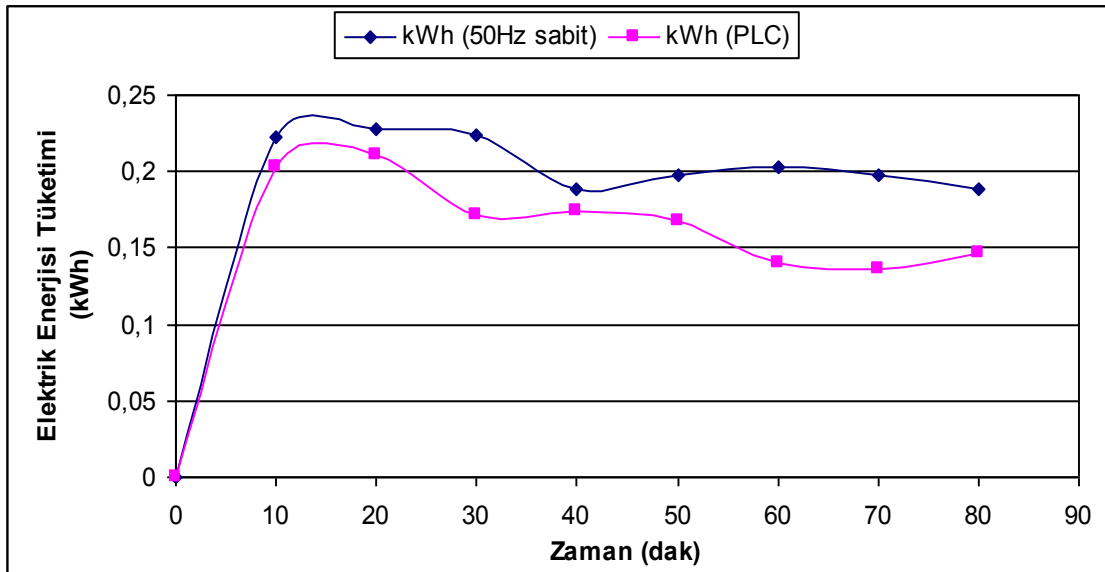
Soğutma sisteminde yapılan her iki deney için zamana göre toplam elektrik enerjisi tüketimini Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 de verilmiştir.





Şekil 3.3. Zamana bağlı toplam elektrik enerjisi tüketimi

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 de, yapılan kontrol sistemi ile toplam elektrik enerjisi tüketiminin, sabit hızda çalışan sisteme göre daha az olduğu görülmektedir. Soğutma sistemi üzerinde yer alan elektronik sayaç ile 10 dakika aralıklarla toplam elektrik enerjisi tüketimi değerleri kayıt edilerek Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 oluşturulmuştur. Şekil 3.3 her iki sistem için toplam elektrik enerjisi tüketimi farkını daha açık ortaya koymaktadır.



Şekil 3.4. Zamana bağlı elektrik enerjisi tüketimi

Şekil 3.4 de ise zaman içinde elektrik enerjisi tüketimlerindeki salınımlar açıkça görülmektedir. Ayrıca sistem ilk çalıştırıldığında enerji tüketiminin yükselişi ve sistem kararlı hale geldiğinde harcanan elektrik tüketimleri arasındaki fark net bir şekilde ortaya konulmuştur.

#### 4.SONUÇ

Tasarlanan ve imal edilen bu sistemde ortak dönüş basıncı değerine göre kompresör değişken hızlarda çalıştırılmış ve karşılaştırma yapabilmek için aynı sistem aç/kapa termostat kontrol döngüsünde de çalıştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda aynı şartlarda çalıştırılan her iki sistem için, geliştirilen program dâhilinde PLC kontrolünün yapıldığı sistemin, aç/kapa termostat kontrol döngüsü ile çalışan sisteme göre %20 daha az elektrik enerjisi tükettiği saptanmıştır. Enerji verimliliği açısından PLC kontrolü ile sağlanan elektrik enerjisi tüketimindeki düşüş değeri oldukça önemlidir. Özellikle, soğutma yükünün fazla olduğu uygulamalarda geliştirilen bu model ciddi oranda enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Bu çalışmada PWM kontrollü elektronik genleşme vanaları başarılı bir şekilde kullanılmıştır. PWM kontrollü elektronik genleşme vanaları kullanılarak daha hassas oda sıcaklıkları elde edilmiştir. Çoklu buharlaştırıcılı soğutma sistemlerinde elektronik genleşme vanalarının uyumlu olarak çalıştığı görülmüştür.

Büyük soğutma yüklerine ihtiyaç duyulan uygulamalarda soğuk oda fanlarının hız kontrolü geliştirilebilir. Bu kontrol ile çok daha hassas sıcaklık değerleri elde edilebilir.

Yapılan çalışmada R407C soğutkanı kullanılmıştır. İstenilen daha farklı oda sıcaklıkları ve soğutma yükleri için termodinamik analizler yapılarak çevresel ve enerji faktörleri açısından uygun soğutkanlar tercih edilebilir.

#### KAYNAKLAR

- [1] LİN, J.-L., Yeh T.-J., “Control of multi-evaporator air-conditioning systems for flow distribution”, Energy Conversion and Management , 50 : 1529-1541 (2009).
- [2] WU, C., Xingxi Z., Shiming D., “Development of control method and dynamic model for multi-evaporator air conditioners (MEAC)”, Energy Conversion and Management, 46 : 451-465 (2005).
- [3] APREA, C., Mastrullo R., Renno C. “Fuzzy control of the compressor speed in a refrigeration plant”. International Journal of Refrigeration, 27, 639-648 (2004-1).
- [4] APREA, C., Mastrullo R., Renno C., Vanoli G.P., “An evaluation of R22 substitutes performances regulating continuously the compressor refrigeration capacity”, Applied Thermal Engineering, 24, 127-139 (2004-2).
- [5] TIAN, J., Feng Q., Zhu R., “Analysis and experimental study of MIMO control in refrigeration system”, Energy Conversion and Management, 49 : 933-939 (2008).
- [6] PARK, Y.-C., Kim Y.-C., Min M-K., “Performance analysis on a multi-type inverter air conditioner”, Energy Conversion and Management, 42 : 1607-1621 (2001).
- [7] CHOİ, J.M., Kim Y.C., “Capacity modulation of an inverter-driven multi-air conditioner using electronic expansion valves”, Energy, 28 : 141-155 (2003).
- [8] Aprea C., Mastrullo R., Renno C. “Experimental analysis of scroll compressor performances varying its speed”. Applied Thermal Engineering, 26, 983-992 (2006).
- [9] ERKEN, O., “Bir soğutma grubunda kompresör hızının ve elektronik genleşme vanasının bulanık mantık algoritma ile kontrolü”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 100-102 (2009).

#### ÖZGEÇMİŞ

##### Hikmet DOĞAN

Malatya 1954 yılı doğumlu olan Hikmet DOĞAN; 1979 yılında Ankara Yük. Tek Öğret. Okulu'ndan mezun oldu. 1980 yılında Almanya'ya gitti ve Wolfenbüttel mühendislik yüksekokulunda (Fachhochschule von Wolfenbüttel ) Tesisat Mühendisliği (Versorgungstechnik) bölümüne kaydoldu.



Daha sonra eğitimini yarıda bırakarak yurda döndü ve 1985 yılında G. Ü. Tek. Eğt. Fak. Mak. Bölümünde Arş. Gör. olarak göreve başladı. 1987 yılında, aynı üniversiteye bağlı Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans'ını, 1995 'de de doktora çalışmasını tamamladıktan sonra "Yrd. Doç. Dr.", 1997 'de "Doçent Dr." ve 2003 tarihinde de "Prof. Dr." unvanını aldı. Halen aynı Üniversite'de görev yapmakta olan Doğan'ın, değişik konuları ihtiva eden bilimsel makaleleri, üç yardımcı ders kitabı, "Siyün-Bike" adlı bir tarihi romanı ve "Hesaplaşma" adlı bir de tiyatro eseri bulunmaktadır.

### **Mustafa AKTAŞ**

Mustafa AKTAŞ, 1979 yılında Bolu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladıktan sonra 2000 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı'ndan mezun oldu. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tesisat Anabilim Dalı'nda Arş. Gör. olarak göreve başladı. 2003 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü'nde Yüksek Lisans çalışmasını ve 2007 yılında da Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü'nde Doktora çalışmasını tamamladı. Kurutma sistemleri, iklimlendirme, soğutma ve güneş enerjisi konularını içeren yaklaşık 50 adet yurt içi ve yurt dışı yayını bulunmaktadır. Halen Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde doçent olarak görev yapmaktadır.

### **Şafak ATAŞ**

1981 yılı Tirebolu doğumludur. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Tesisat Öğretmenliği Bölümünü bitirmiştir. 2005 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisansını tamamlamıştır. 2004-2014 yılları arasında Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Teknolojileri bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmıştır. 2014 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde Doktora çalışmasını tamamladıktan sonra Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak göreve başlamıştır. İklimlendirme ve Soğutma konularında çalışmaktadır.

