

DEĞİŞKEN HIZLI SOĞUTMA KOMPRESÖRÜNÜN BULANIK MANTIK ALGORİTMASI İLE KONTROLÜ

Orhan EKREN
Serhan KÜÇÜKA

ÖZET

Bu çalışmada değişken hızlı kapasite modülasyonu kullanılan bir soğutma sisteminde bulanık mantık kontrolün uygulanması araştırılmıştır. Günümüzde sera etkisi nedeniyle küresel ısınmanın arttığı artık gözardı edilemez bir gerçektir. Elektrik dönüşüm sistemlerinin verimsiz kullanımı dolaylı olarak atmosferdeki sera gazı emisyonlarını arttırmakta ve küresel ısınmayı hızlandırmaktadır. İklimlendirme sistemlerinde, kullanıcı ihtiyacının karşılandığı durum için enerji tasarrufu yapılabilecek çok fazla potansiyel bulunmaktadır. Bu amaçla daha verimli çalıştırılabilen evsel ve ticari iklimlendirme sistemlerinin kullanılması geliştirilmelidir. Soğutma sistemlerinde enerji dönüşümünü verimli hale getirmenin bir yolu, yük ile soğutma sistemi kapasitesini eşitleyen kapasite modülasyon yöntemlerinin etkin kullanımudur. Kapasite modülasyon yöntemlerinden değişken hızlı kompresör kullanımı en verimli yöntemlerdendir. Bu çalışmada, 5 kW soğutma kapasiteli soğuk su üretim grubu sistemine ait scroll kompresörün, PWM inverter ve bulanık mantık algoritması kullanılarak değişken hızlı olarak çalıştırılması incelenmiştir. Sözü edilen sistem, ilk olarak sabit devirli olarak işletilerek performans incelenmiş, daha sonra aynı sistemin değişken hızlı ve bulanık mantık kontrollü olarak işletilmesi durumunda sistemden elde edilen su sıcaklığının değişimi, elektrik tüketimi, genişleme elemanının etkisi gibi parametreler incelenmiştir. Böylece soğutma sistemlerinde yeni kontrol tekniklerinin uygulanması ile daha verimli enerji kullanımı imkânları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık kontrol, değişken hızlı kompresör, su soğutma grubu verimi, enerji tasarrufu

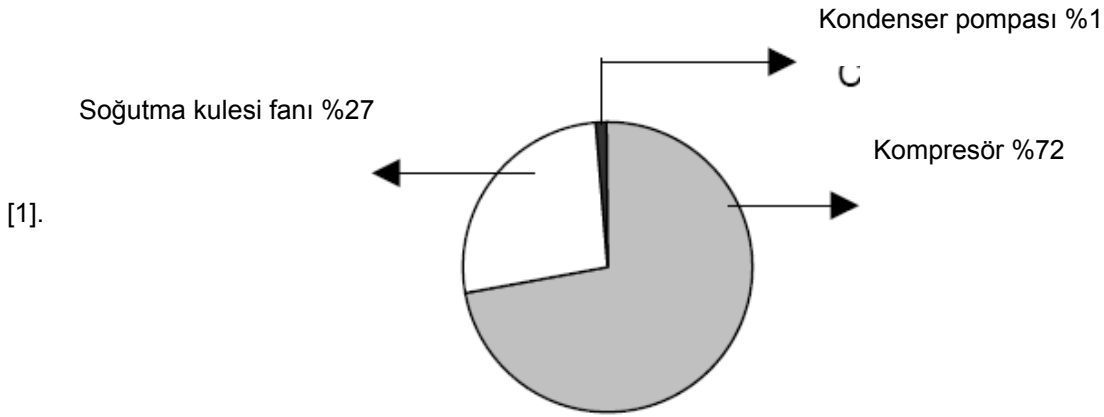
ABSTRACT

In this study, fuzzy logic control application for the refrigeration system with variable speed capacity modulation has been investigated. Recently, increasing the global warming because of the green house effect is obvious. Inefficient using of the electricity conversion systems accelerates global warming and increases green house gases. Since HVAC systems have so much potential to save energy, more efficient domestic and commercial systems should be improved. Using the capacity modulation methods is one of the method to make more efficient refrigeration system. Variable speed compressor is the most efficient capacity modulation method. In this study, fuzzy logic control of the variable speed scroll compressor by using PWM inverter in 5 kw cooling capacity chiller system has been investigated. This system was operated as fixed speed firstly and monitored the performance of the system afterwards changing of the water outlet temperature, electricity consumption, expansion valve effect has been investigated while the same system was being operated as variable speed by fuzzy logic algorithm. By means of this, possibility of using more efficient energy on refrigeration systems by application of the new control technics.

Key Words: Fuzzy logic control, variable speed compressor, chiller efficiency, energy saving

1.GİRİŞ

Küresel ısınmanın etkilerinin daha belirgin hale gelmesiyle birlikte temiz enerji kaynakları ve enerjinin tasarrufu her geçen gün büyük önem kazanmaktadır. Elektrik dönüşüm sistemlerinin verimsiz kullanımı dolaylı olarak atmosferdeki sera gazı emisyonlarını ve küresel ısınmayı arttırmaktadır. Enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı ile sera gazı emisyonlarının azaltılması mümkündür. Bu nedenle, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerin başında gelen soğutma sistemlerinin enerji tüketimi açısından verimli hale getirilmeleri için birçok çalışma yapılmıştır[1]. Bu çalışmalar soğutma kapasitesi modülasyon yöntemleri başlığı altında toplanabilir. Bu yöntemler, yük ile soğutma sistemi kapasitesini eşitleyerek soğutma sistemlerinde enerji dönüşümünü verimli hale getirmektedir. Bir iklimlendirme sisteminde elektrik tüketimi aydınlatma, asansör, vb. cihazlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bu nedenle enerji maliyetlerini, düşürebilmek için iklimlendirme sistemlerinde elektrik tüketimini düşürme, verimli sistemlerin kurulması ve işletilmesi ile sağlanabilir. Şekil.1'de görüldüğü gibi tipik bir iklimlendirme sisteminde elektrik tüketiminin büyük kısmı kompresör tarafından gerçekleştirilmektedir



Şekil 1. Tipik İklimlendirme Sistemi Elektrik Tüketimi [1].

Soğutma sistemlerinde sistem verimini arttırmak amacıyla yapılacak birçok işlem vardır;

- İhtiyaca uygun sistem tasarlamak,
- Soğutma kapasite modülasyonu kullanarak daha verimli soğutma çevrim elde etmek,
- Sistem elemanlarının elektrik tüketimini azaltmak,
- Sistemde gerekli izolasyonları yaparak kayıpları azaltmak,
- Sistemin uygun kontrolü ile çalışma verimini arttırmak

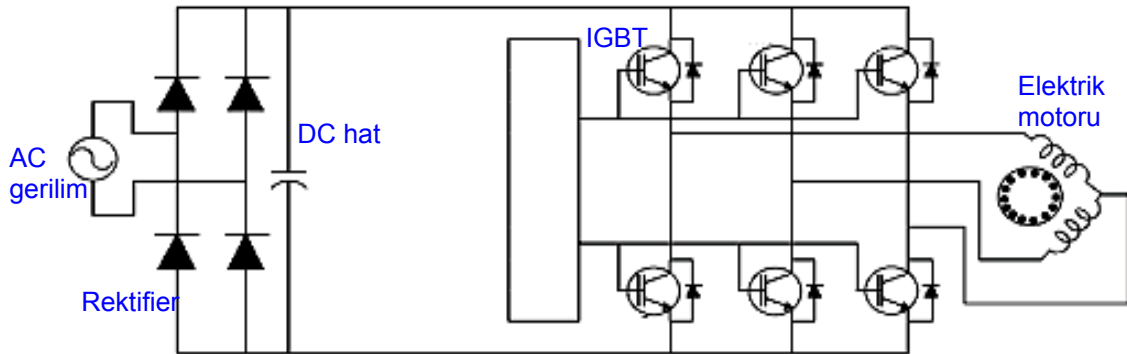
Soğutma sistemleri maksimum yükü karşılayabilecek şekilde dizayn edilirler. Ancak yüklerdeki büyük değişime bağlı olarak bu sistemler ömürleri boyunca çoğu kez kısmi yüklerde çalışmaktadır. Kısmi yüklerde işletme sağlayan açık/kapalı (on/off) kompresör kontrolü çevrim kayıplarına, kötü sıcaklık kontrolüne, düşük güvenilirliğe, yüksek bakım maliyetlerine ve kararlı durumdaki verim düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu durumda gereğinden fazla elektrik tüketimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle iklimlendirme sistemlerinde soğutma kapasite modülasyon yöntemleri gereksiz elektrik tüketimini önleme ve sistem verimini artırması bakımından çok büyük önem taşımaktadır [1,2]. Soğutma sistemlerinde kullanılan kapasite modülasyon yöntemleri şunlardır [2,3] ; Açık-kapalı kontrol, değişken devirli kompresör, kompresöre sıcak gaz atlatma (by-pass), emme basıncı kontrolü, çoklu kompresör, silindirik yük boşaltma, sürgü valfi, dijital scroll ile kontrol. Bu yöntemlerin kullanımındaki temel amaç, çevrim içindeki soğutucu akışkan akış debisini değiştirmektir. Bu çalışmada kompresör ilk olarak 30 Hz ile 50 Hz arasında 5 Hz aralıklarla, fakat sabit devirde işletilerek sistemin davranışı gözlenmiştir. Daha sonra istenen su çıkış sıcaklığını sağlayacak şekilde bulanık mantık algoritması ile kontrolü yapılmıştır.

2. DEĞİŞKEN DEVİRLİ KOMPRESÖR İLE SOĞUTMA KAPASİTESİ MODULASYONU

Günümüzde soğutma sistemlerinin değişken devirli kompresörlerle sürülmesi yaygınlaşmaktadır. Bu yöntem sistemin değişen yükler ve çalışma koşullarında daha etkin kontrolü edilmesine ayrıca kısmi yüklerde performans katsayısının artmasına olanak sağlamaktadır. Yapılan çalışmada değişken devirli kompresör kullanılan soğuk su üretim grubunun farklı çalışma şartlarındaki performansı deneysel olarak izlenmiştir. Soğutma sistemleri yaygın olarak basit ve ucuz yöntem olan açık/kapalı şekilde işletilmektedir. Sistemdeki termostat, ortam sıcaklığının önceden belirlenen değere ulaştığını işaret eder ve kompresörü kapatır. Sıcaklık ayar sıcaklığı üstüne çıktığında kompresör tekrar çalışır. Bu yöntemde, kısmi yüklerde çalışma sırasındaki çevrim kayıpları ve kalkış kayıpları yüksektir. Sistem verimi düşer, kötü sıcaklık kontrolü, düşük güvenilirlik ve yüksek bakım maliyeti ortaya çıkar ve enerji tüketimi artar [1,2, 4].

Literatürde açık-tip pistonlu kompresörlerin değişken devirli kapasite kontrolüne en uygun yapılanma olduğu belirtilmiştir. Bu kompresör düşük hızlarda (değişken ve sabit kondenser basıncında) COP de önemli artış sağlamıştır. Scroll kompresörde 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 (2,3,5,6,7). Değişken devirli sistemler uzun yıllardır birçok endüstri uygulamasında kullanılıyor olmasına rağmen, soğutma sistemleri uygulamasında bazı problemler mevcuttur. Karşılaşılan bu problemler; kompresör ve değişken devir sürücülerinin uyumu, genel amaçlı değişken devirli sürücülerin kullanılıyor olmasından dolayı yüksek sürücü maliyeti, değişken devirli sistemlerin performans karakteristikleri konusunda üreticilerden yetersiz bilgi gelmesi, beklenen enerji tasarrufunu gösterecek deneysel çalışmaların yaygın olmaması ve kontrol sistemlerindeki problemlerdir [2,3]. Bu problemlerin giderilmesi için özellikle sistem kontrol algoritmaları, değişken hızlarda soğutma sistemi karakteristikleri ile ilgili deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Değişken devirli kompresör kullanarak soğutma kapasitesi modülasyonu yaklaşık 20 yıldır inceleme ve araştırma konusudur. Bu yöntemde kompresörde besleme gerilimi ve frekansı değiştirilerek, motor hızının değiştirilmesiyle soğutma kapasitesi de değiştirilir. Gerilim ve frekans değişimi elektronik değişken hız sürücüsü (inverter) ile sağlanabilmektedir. Genel olarak kullanılan üç farklı elektronik değişken hız sürücü vardır [2,3]; voltaj dönüştürücü (VSI), akım dönüştürücü (CSI), sinyal-genişlik modülasyon kaynaklı dönüştürücü (PWM). Bu yöntemlerden her biri avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla birlikte, en verimli değişken hız sürücüsü PWM inverterlerdir [2,8]. Şekil 2.'de görülen, PWM inverterde AC besleme gerilimi DC gerilime dönüştürülür ve çok hızlı anahtarlama yapabilen IGBT (integrated gate bipolar transistörler) elemanlar ile PWM sinyal üretilir. Bu PWM sinyalin genliği anahtarlama süresi değiştirilerek ayarlanabilir. Böylece elde edilen DC gerilim tekrar genliği ayarlanabilen AC gerilime dönüştürülür [8Tryznadlowski].



Şekil 2. PWM İnverter Şematik Gösterimi [8Tryznadlowski]

Değişken devirli kapasite kontrol yönteminde, kompresör dönme hızı, ihtiyaç olan soğutma kapasitesini karşılayacak şekilde ayarlanır yani değişen işletme şartlarında yük ile sistem soğutma kapasitesinin eşit olması sağlanır. Değişken devirli ve normal soğutma sistemi arasındaki temel fark kısmi yüklerde kontroldür. Değişken devirli kompresöre sahip soğutma sistemlerde kılcal boru yerine

TXV yada EEV kullanımı, ani değişimlere cevap verdiği için, tüm sistemin değişken devre uygun olarak verimli çalışabilmesini sağlamaktadır[3,9].

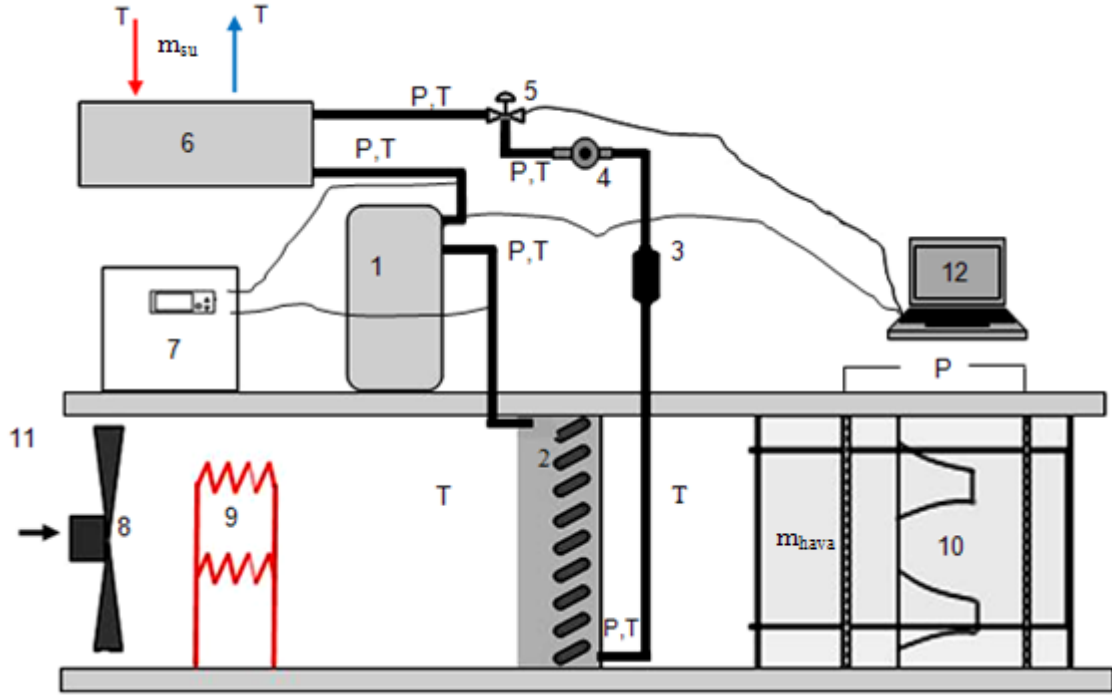
3. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLER

Bu çalışmada, 5 kW soğutma kapasiteli bir soğuk su üretim grubu kullanılmıştır. Sistemin kompresörü sabit devirli scroll tipdedir. Kondenseri ise hava soğutmalı olup kesit alanı 0,417 m² olan izole edilmiş bir kanal içine yerleştirilmiştir. Kanal içine, dış ortam şartlarını simüle etmek için kapasitesi ayarlanabilir ısıtıcı ve fan yerleştirilmiştir. Hava, kanaldaki difüzörler üzerinden geçirilmekte, difüzör öncesi ve sonrası basınçlar ölçülerek hava hızı ve debisi hesaplanmaktadır. Difüzörler ASHRAE 40-1986'ya uygun olarak boyutlandırılmıştır. Evaporator su debisi, soğutma sistemiyle su deposu arasındaki ventüri yardımıyla ölçülmüştür. Soğutma sisteminde, su, hava ve soğutucu akışkan taraflarında çeşitli noktalara bağlı ısı çiftleri yardımıyla sıcaklıklar ölçülmüştür. Soğutucu akışkanın çeşitli noktalardaki basınçları ise rotometrik tip basınçölçerler yardımıyla yapılmıştır. Kompresör gücü, bilgisayar bağlantılı ampermetre ile okunmuştur. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 1. de verilmiştir.

Tablo 1. Deney Düzeneği Özellikleri

Eleman	Özellikler
Kompresör	Tip : Copeland ZR34K3-PFJ, Dik scroll (R134a soğutucu akışkanlı) Kapasite: 2.8 Hp, 380 V, 50 Hz
Kondenser	Tip : Hava soğutmalı
Evaporatör	Tip : Su soğutmalı
Genleşme elemanı	Elektronik tip, step motor kontrollü, 1.8 mm nozul açıklığı.
Basınç ölçer	Tip : Carel SPKT, Rotometrik Ölçüm aralığı: (-1/9) bar ve (0/45) bar mutlak Hata : ±%1.2
Sıcaklık ölçer	Tip : Isıl çift "T" Ölçüm aralığı: -200 ile 350 oC Hata : ±%1.5
Güç ölçer	Tip : BR157 Ölçüm aralığı: 220/600 V , 50/60 Hz Hata : ±%1.5
Data ölçüm ve kontrol sistemi	Agilent-34970 data logger ve 34901 kartı PC paralel port ve step motor kontrol devresi

Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil-3 'de verilmiştir. Bu gösterimde, "P" harfinin bulunduğu noktalar basınç ölçümlerini, "T" harfinin bulunduğu noktalar sıcaklık ölçümlerini, "m" ise debi ölçümlerini göstermektedir. Suyun evaporatöre giriş çıkışı oklarla gösterilmiştir.

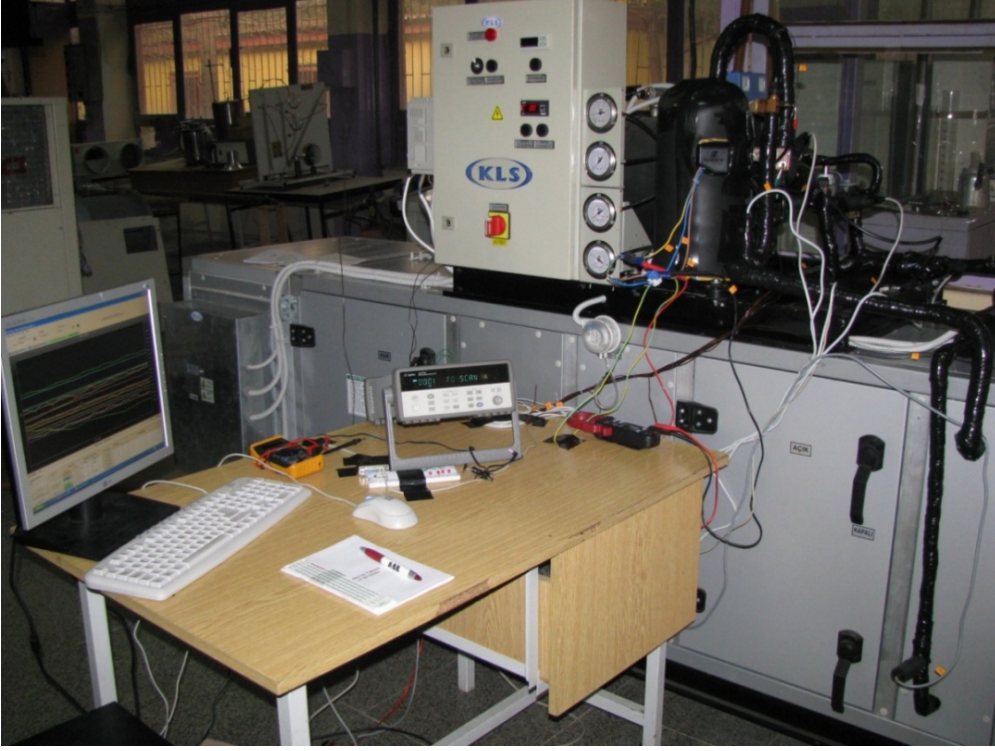


Şekil 3. Deney Düzeneği Şeması

Sistemde;

- Kompresör(1)
- Hava soğutmalı kondenser(2)
- Kurutucu(3)
- Gözetleme camı(4)
- Elektronik genişleme vanası(5)
- Sulu tip evaporatör(6)
- Sistem kontrol panosu(7)
- Fan(8)
- Isıtıcı(9)
- Difüzör(10)
- Hava kanalı giriş tarafı(11)
- Elektronik genişleme vanasının kontrol ve veri depolama birimi(12)

olarak işaretlenmiştir. Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil-4 de verilmiştir.



Şekil 4. Deney Düzeneği

Kompresör çalışma devrinin düşürülmesi kompresörlerde yağlama problemi ve titreşime neden olmaktadır. Pistonlu kompresörlerde hızın düşmesi ile yağlama problemi oluşumu daha fazla olmaktadır. Scroll kompresörlerde ise yağlama problemi olmadan daha düşük hızlara inilebilmektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada scroll kompresör tercih edilmiştir. Değişken devirli çalıştırılmak üzere üretilen soğutma kompresörlerinde kompresör hızı 20 Hz ile 120 Hz arasında değiştirilebilmektedir. Bu tip sistemlerde genelde fırçasız DC motor kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 3 fazlı elektrik motoruna sahip scroll kompresörün besleme frekansı inverter yardımıyla 30 Hz ile 60 Hz arasında değiştirilerek, kompresör farklı hızlarda sürülmüştür. Sabit devirde çalıştırılmak üzere dizayn edilmiş bu kompresörde, en düşük çalışma frekansı kompresör yağlama probleminin olmayacağı 30 Hz seçilmiştir. En yüksek frekans ise elektrik motor sargılarının izin verdiği 60 Hz seçilmiştir.

Kompresör hız değişimini sağlayan inverter, gerilim-frekans (V/f) oranını sabit tutma prensibine göre hız ayarlamaktadır. Kompresörlerde elektrik motoru genellikle asenkron tiptedir. Üç fazlı asenkron motorlarda, temel eleman stator ve rotordur. Üç fazlı motorda stator üzerinde üç fazlı alternatif akım sargıları bulunmaktadır. Bu sargılar uygun şekilde düzenlenerek motorun istenilen kutup sayısında çalışması sağlanmaktadır. Motorun kutup çifti sayısı p ile gösterilir ve toplam kutup sayısının yarısı kadardır[8]. Uygulanan gerilim frekansı f ise, statorun devir/dakika cinsinden senkron hızı;

(1)

Yapılan çalışmada, kondenser üzerinden geçirilen havanın ve evaporatör üzerinden geçirilen suyun debileri ve sıcaklıkları sabit tutulmuştur. Deneylerde soğutucu akışkanın çevrim üzerinde farklı noktalarda (Şekil 4.) sıcaklık ve basınçları okunarak bilgisayar ortamına veri toplama ve kontrol birimi yardımıyla kaydedilmiştir. Her bir yeni çalışma durumunda, sistemin denge durumuna ulaşması için yeterli süre (en az 30 dk.) beklenmiştir. Denge durumuna ulaştıktan sonra her ölçüm noktasında 5'er sn ara ile 10 dk boyunca ölçüm alınmış ve alınan ölçümlerin ortalama değeri kullanılmıştır. Bu şekilde

ölçülen sıcaklıklar ve basınçlar, hava ve su debileri ile kompresör gücü Tablo-2 de verilmiştir. Ayrıca basınç ve sıcaklıklar kullanılarak soğutucu akışkanın ölçüm noktalarındaki diğer termodinamik özellikleri belirlenmiştir. Kondenser yükü hava debisi ve sıcaklık değişiminden hesaplanmıştır.

Tablo 2. Farklı İşletme Hızları İçin Deney Sonuçları

SICAKLIKLAR	Kompresör Hızı				
	50 Hz	45 Hz	40 Hz	35 Hz	30 Hz
Kompresör Çıkış Sıcaklığı (°C)	111.27	102.86	93.46	84.08	73.02
Kondenser Çıkış Sıcaklığı (°C)	47.60	46.35	45.97	45.22	44.84
EEV Giriş Sıcaklığı (°C)	46.56	45.34	44.99	44.24	43.91
Evaporatör Giriş (EEV çıkış) Sıcaklığı (°C)	1.95	3.71	4.07	4.09	5.27
Kompresör Emme Sıcaklığı (°C)	10.05	9.30	8.79	8.65	5.52
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	13.76	13.61	13.67	13.85	13.56
Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	11.8	11.6	11.8	12.1	12.0
Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	30.6	30.6	30.1	29.8	30.2
Hava Çıkış Sıcaklığı (°C)	40.84	40.30	38.79	36.88	36.10
Evaporasyon Sıcaklığı (°C)	-2	1	2	2	4
Yoğuşma Sıcaklığı (°C)	59	57	55	52	49
Kompresör Gücü (kW)	1.90	1.63	1.31	1.00	0.84
Hava Debisi (kg/sn)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Su Debisi (kg/sn)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
BASINÇLAR					
Kompresör Çıkış Basıncı (kPa)	1705.90	1663.90	1544.70	1403.50	1295.30
EEV Giriş Basıncı (kPa)	1644.40	1604.10	1490.40	1353.60	1250.60
EEV Çıkış (Evaporatör giriş) Basıncı (kPa)	304.90	324.10	328.10	329.30	343.20
Kompresör Emiş Basıncı (kpa)	276.20	301.10	310.70	317.70	336.00
ENTALPİ VE ENTROPİ					
Kompresör Çıkış Entalpisi (kJ/kg)	487.30	478.30	469.40	461.00	450.50
EEV Giriş Entalpisi (kJ/kg)	266.20	264.30	263.80	262.70	262.30
Kompresör Emiş Entalpisi (kJ/kg)	408.00	406.70	406.00	405.70	402.40
Kompresör Emiş Özgül Hacmi (m ³ /kg)	0.0777	0.0704	0.0680	0.0663	0.0612
Kompresör Emiş Entropisi (s) (kJ/kgK)	1.765	1.754	1.749	1.747	1.730
Kompresör İsentropik Çıkış Entalpi (hs) (kJ/kg)	448.30	443.90	440.60	437.80	430.50
KAPASİTE HESAPLARI					
Kondenser Kapasite (hava tarafı) (kW)	6.95	6.64	5.89	4.85	4.00
Soğutucu Akışkan Debisi (kondenser tarafı esas alındı) (kg/s)	0.0314	0.0310	0.0287	0.0245	0.0213
Evaporatör Kapasitesi (Q _{kond} - W _{komp}) (kW)	5.05	5.01	4.58	3.85	3.16
Kompresör İsentropik Verimi (η _{isent})	0.51	0.52	0.55	0.58	0.58
Kompresör Emme Hacmi (m ³ /h)	8.79	7.86	7.02	5.84	4.68
Soğutma Etkinlik Katsayısı (COP)	1.79	1.99	2.24	2.59	2.91
Aşırı Kızgınlık (°C)	12	9	7	6	2
Aşırı Soğutma (°C)	11	11	9	7	4

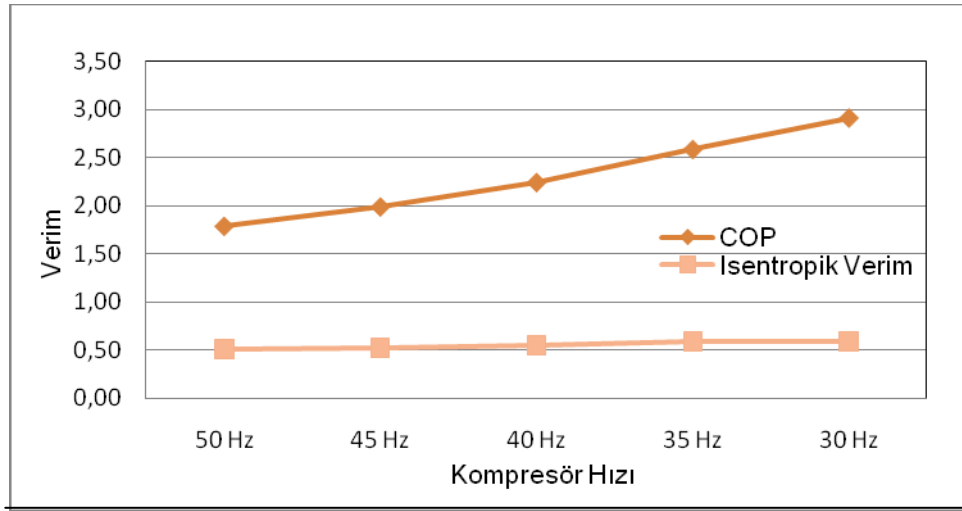
Kondenser yükünün soğutucu akışkan entalpi farkına bölünmesi ile soğutucu akışkan dolaşım debisi hesaplanır:

$$\eta_{ir} = \frac{Q_{kon}}{\Delta h_{kon}} \quad (2)$$

Burada yağın ısı tutumu ihmal edilmiştir. Evaporatör yükü ise kondenser yükünden kompresör gücünü çıkararak hesaplanmıştır:

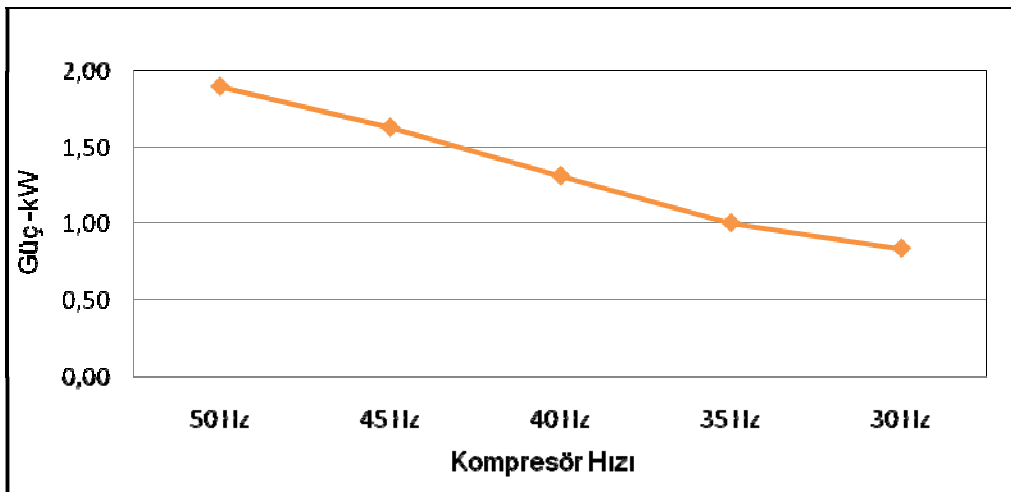
$$Q_{evap} = Q_{kon} - W_{komp} \quad (3)$$

Soğutulan suyun sıcaklık değişiminden ayrıca bir soğutma kapasitesi ölçülmüştür. Ancak bu değer (3) numaralı eşitlik ile verilen değerden %5-20 daha düşük hesaplanmıştır. Aradaki fark su debisinin yeterli hassasiyette ölçülememesinden ve ısı kayıplarından ileri gelmektedir. İsentropik verim, soğutucu akışkanın isentropik sıkıştırma halinde kompresör çıkışında ulaşacağı basınç ve sıcaklıktan hesaplanmıştır. Soğutucu akışkan kütleli debisi ile özgül hacminin çarpımı kompresör emiş hacmini, evaporatör yükünün kompresör işine oranı ise soğutma etkinlik katsayısını vermektedir. Kompresör isentropik verimi ve COP değerinin kompresör hızının artması ile azaldığı görülmüştür bu değişim Şekil 5. de görülmektedir.



Şekil 5. Kompresör Hızı İle Verim Arasındaki İlişki

Deneylerde gözlenen diğer bir sonuç ise kompresörün çektiği gücün hız ile birlikte arttığıdır. Bu değişim Şekil 6. da görülmektedir.



Şekil 6. Kompresör Hızı İle Güç Arasındaki İlişki

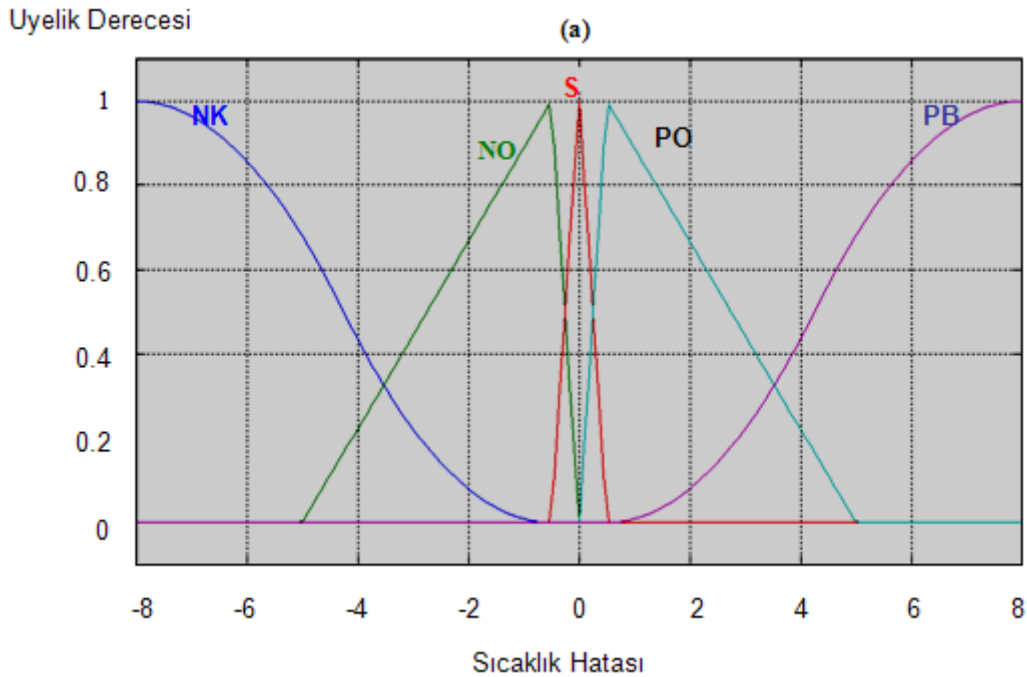
4. BULANIK MANTIK ALGORİTMASI İLE KONTROL

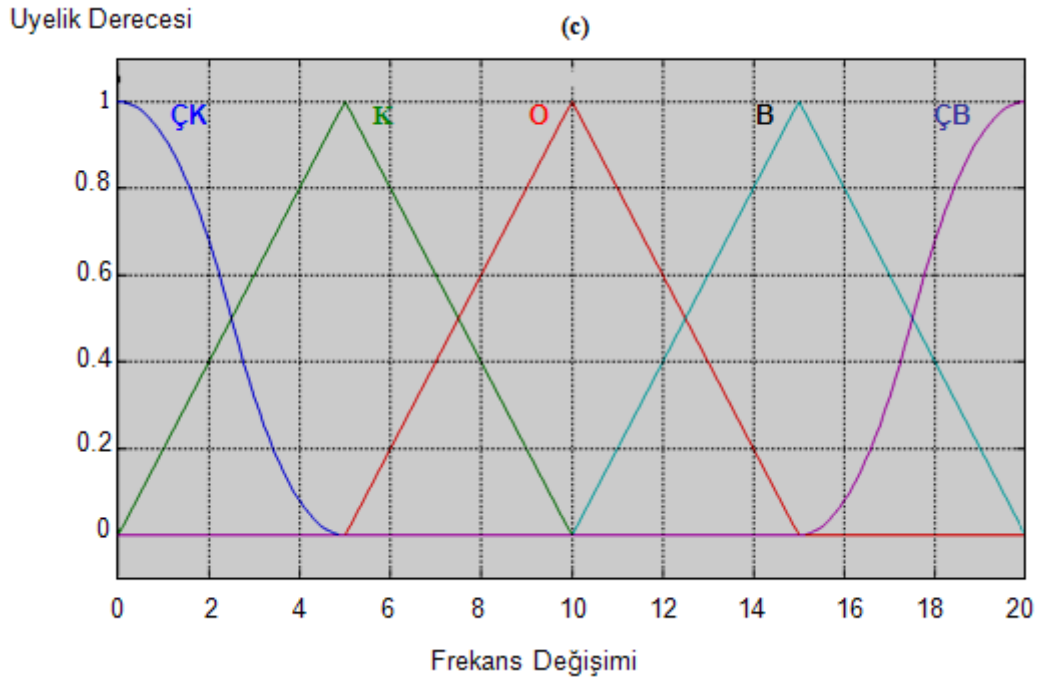
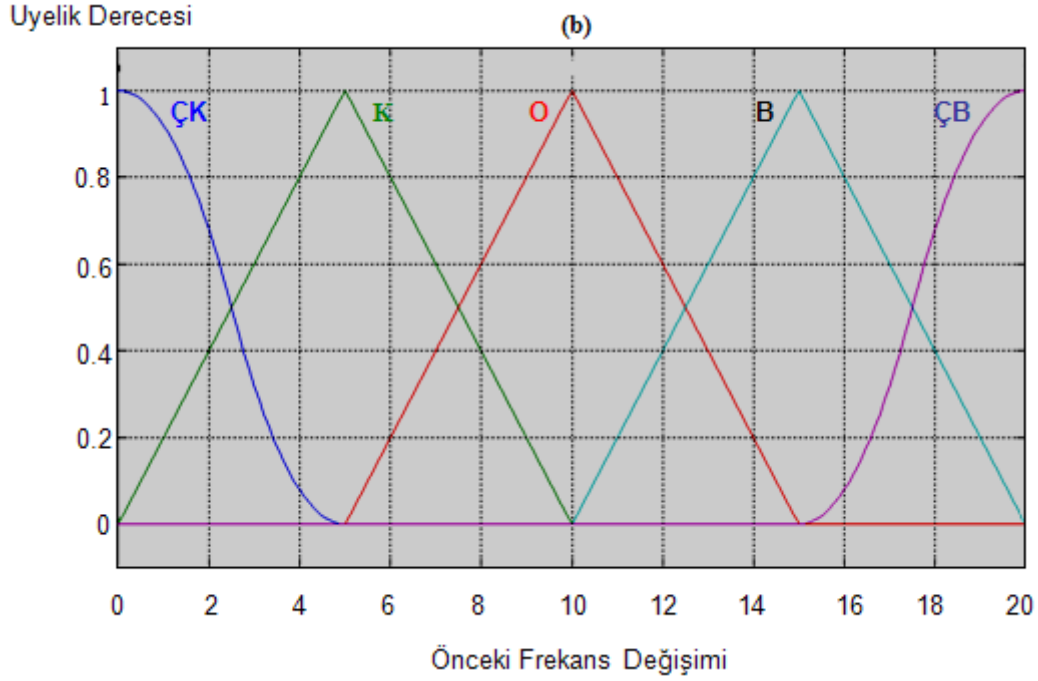
Birçok sistemde girdi ve çıktı arasında kontrol sağlayan bir kontrol ünitesine ve kontrol algoritmasına ihtiyaç vardır. Kontrol biriminde uygun girdilerden uygun çıktılar elde edebilmek için farklı algoritmaları kullanılır. Klasik yöntemlerden PID en çok kullanılan kontrol yöntemidir. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir alternatif ise yapay zekâ yöntemlerinden bulanık mantıktır[6,7]. Bu yöntem insan beyninin çalışma mantığında olduğu gibi verilen bilgiler doğrultusunda uygun kontrol çıktısı üretir. Bulanık mantık algoritması ile kontrolde sistem ile ilgili herhangi bir matematiksel ifadeye gerek yoktur. Bu nedenle matematiksel model elde etmenin çok zor ya da imkânsız olduğu kontrol problemlerinde sıkça uygulanabilmektedir [6,10]. Bulanık mantık kontrolünde üç ana kısım vardır [10];

- Bulanıklaştırma (fuzzification)
- Kural tablosu ve çıkarım (rule base)
- Durulaştırma (defuzzification)

Bulanık mantık ile kontrol algoritması oluşturabilmek için sistemi kontrol edebilecek girdi ve bunlara karşılık çıktıların belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut sistemde kompresör hızının bulanık mantık ile kontrolünde iki adet girdi bir adet de çıktı alınmıştır. Girdi olarak evaporatör çıkışındaki su sıcaklığının istenen değerden sapması (hata) ile kompresörün bir önceki adımdaki hız değişim değeri alınmıştır. Çıktı olarak ise kompresör frekans değişim miktarı alınmıştır.

Girdi ve çıktılar belirlendikten sonra bulanık mantık temelini oluşturacak girdi/çıkı üyelik fonksiyonlarının ve üyelik derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Üyelik fonksiyonları bu kontrole adını veren "bulanıklaştırma" işleminin yapıldığı adımdır. Burada girdi ve çıktılarının sınır değerleri belirlenerek parçalara bölünür ve her parçaya kontrol amacına uygun sözselle (linguistic) ifadeler atanır. Bu aralıklar geometrik olarak üçgen, trapezoidal, S veya Z şekillerinden birini oluşturacak şekilde düzenlenir. Oluşturulan her aralık ve şekil bir üyelik fonksiyonunu ifade eder. Sistemden gelen girdi veya kontrolden elde edilen çıktının bu üyelik fonksiyonlarından hangisine hangi derecede ait olduğu bulunur. Eğer üyelik derecesi 1 ise %100 aittir, 0 ise %0 aittir anlamına gelmektedir. Durulaştırma aşamasında ise kural tablosundan elde edilen çıktı üyelik fonksiyonları ve üyelik derecesine göre çıktının sayısal değeri elde edilir. En çok kullanılan yöntem, elde edilen çıktı üyelik fonksiyonunun, ağırlık merkezini veren merkezi yöntemdir. Bu çalışmada, girdi ve çıktı için Şekil 7.(a,b,c) de gösterilen üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonları kontrol uygulamalarında daha iyi sonuç vermektedir[10].





Şekil 7. Bulanık Kontrol Girdi (a,b) ve Çıktı (c) Üyelik Fonksiyonu

Bulanıklaştırma işlemi tamamlandıktan sonraki aşama, kontrolde çok önemli olan kural tablosunun oluşturulmasıdır. Tamamen deneyimlerden yararlanılarak elde edilen kural tablosuna göre, çıktı değeri bulanık değer olarak elde edilir. Bu çalışma için oluşturulan 5*5 lik kural tablosu aşağıda görülmektedir. Burada kullanılan sözsöz ifadeler NY: negatif yüksek, NO: negatif orta, S: sıfır, PO: pozitif orta, PY: pozitif yüksek, ÇK: çok küçük, K: küçük, O: orta, B: büyük ve ÇB: çok büyük anlamına gelmektedir. Eğer "sıcaklık farkı "NY" ise ve frekansın önceki değişimi "ÇK" ise kompresör frekans değişimi "K" olarak ayarlanacaktır.

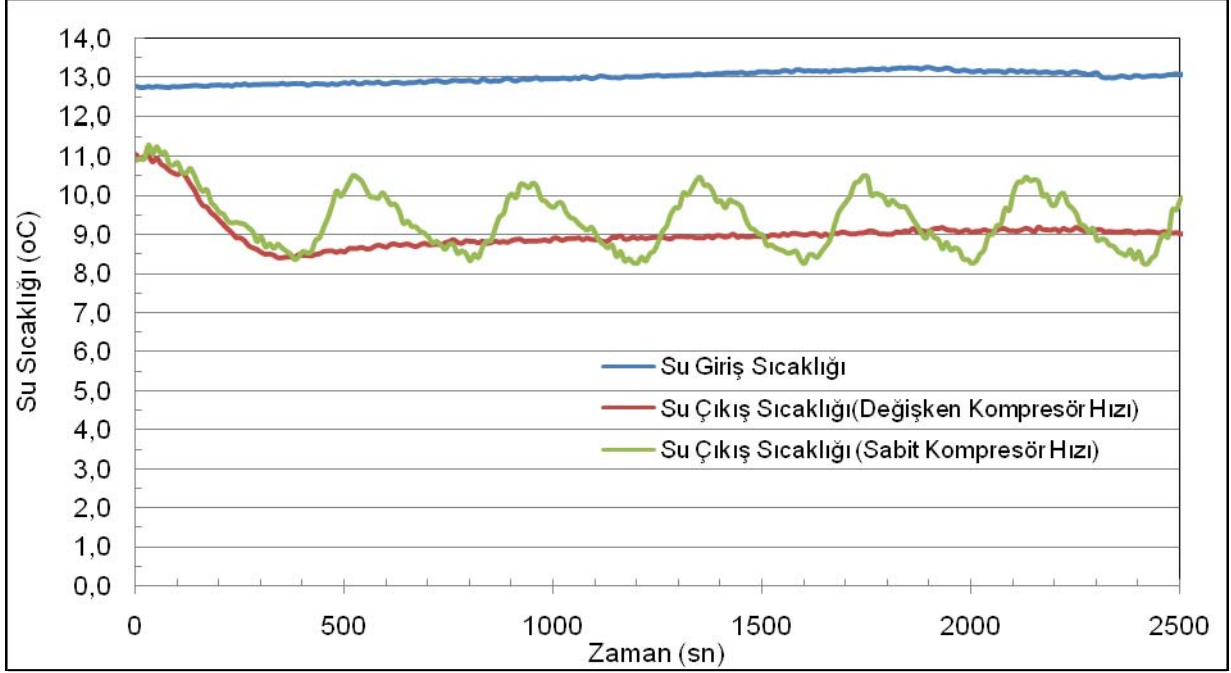
Tablo 3. Kompresör Frekansı, f Çıkarım Tablosu

Frekans değişimi önceki değeri →	ÇK	K	O	B	ÇB
Sıcaklık hatası					
NY	K	O	B	B	ÇB
NO	K	O	B	B	ÇB
S	ÇK	K	O	B	ÇB
PO	ÇK	ÇK	K	O	B
PY	ÇK	ÇK	K	O	B

Girdi ve çıktının elde edilmesini örnek ile açıklarsak; evaporatör çıkışı su sıcaklığında istenen değer ile set değeri (9 °C) arasında -1.5 °C derecelik bir sıcaklık farkı olması durumunda girdinin Şekil 7(a) daki üyelik fonksiyonunda negatif orta anlamına gelen “NO” üyelik fonksiyonuna % 80 üye olduğu görülebilir. Benzer şekilde önceki adıma göre frekanstaki değişimi 5 Hz olması durumunda bu girdinin “K” üyelik fonksiyonuna %100 üye olduğu görülür. Bu aşama bulanıklaştırma olarak isimlendirilir. Bundan sonra, girdilerin üyelik fonksiyonuna göre çıktının üyelik fonksiyonu kural tablosundan belirlenir. Bu örnekte sıcaklık hatası, “NO” ve frekansın önceki değişim değeri “K” ise çıktı yani frekanstaki değişim miktarı “O” üyelik fonksiyonu olacaktır. Son aşama ise durulaştırma. Merkezi durulaştırma metodu uygulanır ise Şekil 7(c) de “O” üyelik fonksiyonunda girdilerden küçük olanın oluşturduğu alanın ağırlık merkezine karşılık gelen yatay eksen değeri 10 Hz okunur. Bu değer frekanstaki gerekli değişim miktarını vermektedir. Buna göre hesaplanan kompresör çalışma frekansı 50-10=40 Hz’ dir. Deneyler sırasında, bulanık mantık algoritmasının Matlab kodu bilgisayar ortamında çalıştırılmış ve elde edilen kontrol çıktısı veri toplama ve kontrol birimi yardımıyla invertlere aktarılmıştır.

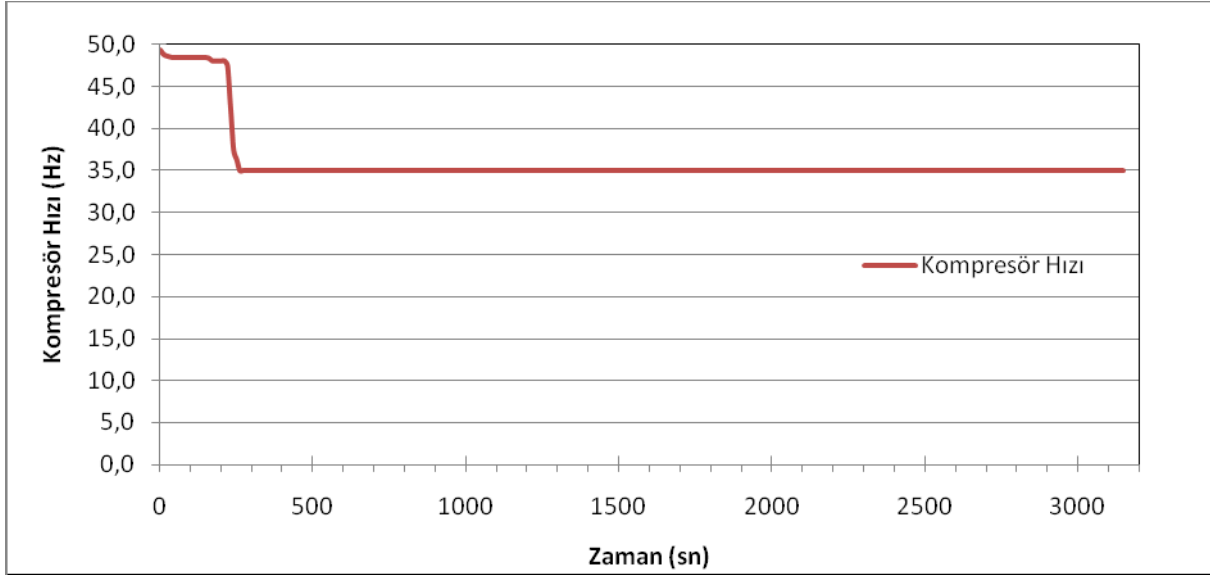
3. DENEY SONUÇLARI

Yapılan çalışmada scroll kompresörün hızı 30 Hz ile 60 Hz arasında değiştirilebilmiştir. Sistemin daha çok kısmi yüklerdeki çalışma parametreleri önemli olduğu için 50 Hz üzeri deneylere yer verilmemiştir. Değişken hızlı kompresör ile birlikte elektronik genleşme vanası kullanılmıştır. Kompresörün değişken hızlı çalıştırılması sırasında evaporatör su çıkış sıcaklığının 9 °C ayarlandığı durumda sabit devirli çalışma durumu ile karşılaştırma Şekil 8. de görülmektedir. Burada sabit hızlı çalışma 50 Hz besleme frekansında çalışmadır. Bulanık mantık kontrol algoritması kullanılarak yapılan hız kontrolünde evaporatör çıkış sıcaklığı ayarlandığı 9 °C de sabit tutulabilmiştir.



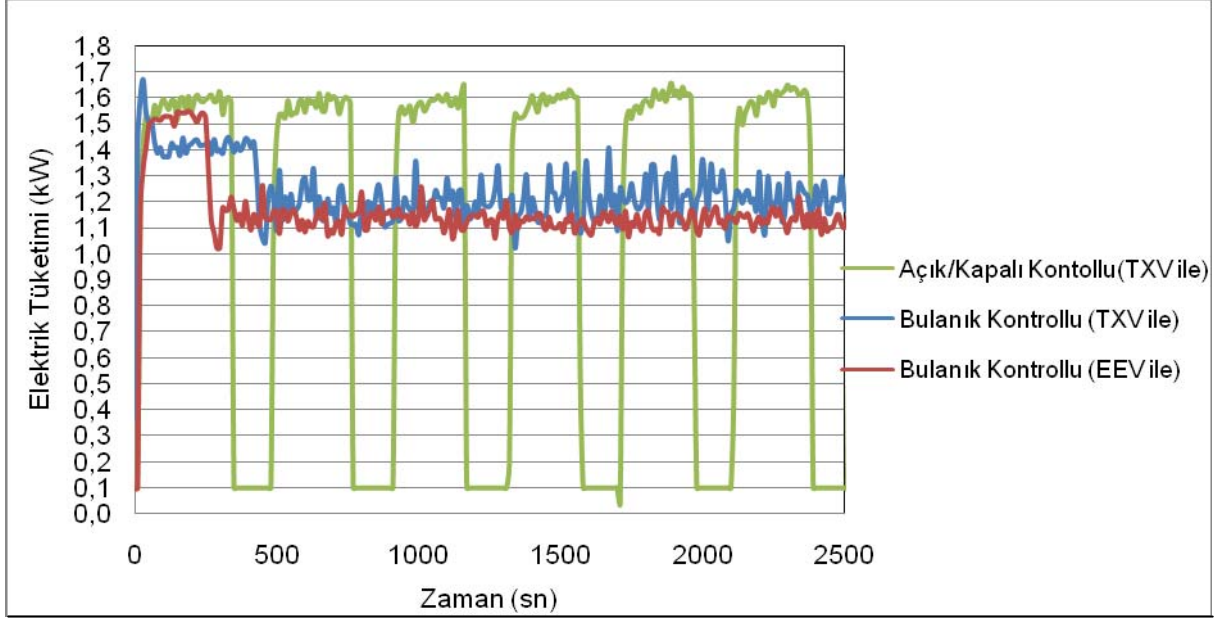
Şekil 8. Değişken Hızlı Sistemde Zamana Göre Evaporatör Çıkış Sıcaklığı Değişimi

Şekil 9. da ise kompresör hızının zamana göre değişimi görülmektedir. Burada evaporatör su çıkış sıcaklığının düşmesi nedeniyle bulanık mantık algoritması yardımıyla kompresör hızı zamana göre düşmektedir.



Şekil 9. Kompresör Hızının Zaman Göre Değişimi

Şekil 10'da kompresör kontrolünde bulanık algoritma kullanılması durumunda elektrik tüketimleri açık kapalı durum ile karşılaştırılmıştır. Burada ayrıca, genleşme elemanının termostatik ya da elektronik olması durumuna göre elektrik tüketimleri verilmiştir.



Şekil 10. Elektrik Tüketimi

SONUÇ

Günümüzde değişken devirli kompresöre sahip soğutma sistemleri ticari olarak bulunmasına rağmen bu sistemlerin verimleri ile ilgili bilgi çok fazla bulunmamaktadır. Ayrıca sabit hızlı kompresöre sahip bir sistemin değişken devirli bir sistem ile değiştirilmesi maliyetli olmaktadır. Bu nedenle hâlihazırda kullanılmakta olan sabit devirli sistemin değişken devirli olarak çalıştırılabilmesi oldukça önemlidir. Mevcut çalışmada, sabit devirli 3 fazlı kompresör, 30 Hz ile 50 Hz arası değişken devirli çalıştırılmış ve bu sayede elde edilecek performans artışı deneysel olarak ortaya konmuştur. Bu sayede bulanık algoritma kontrolü değişken hızlı sistemlerde denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bulanık mantık algoritmasının 5 kw soğutma kapasiteli soğuk su üretim grubu sisteminde kompresör hızını evaporatör çıkış sıcaklığına göre uygun şekilde kontrol ederek, evaporatör çıkış sıcaklığını ayar sıcaklığına getirebildiği gözlenmiştir. Ve işletme boyunca sıcaklığın ayar değerinde kaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, elektrik tüketiminde azalma görülmüştür. Sistemde gözlenen diğer bir sonuç ise, kompresör bulanık algoritma ile kontrol edilirken elektronik genişleme elemanı kullanıldığı durumda termostatik genişleme elemanına göre daha fazla performans artışı sağlanmıştır. Sonuç olarak, sabit devirli çalışmak üzere dizayn edilmiş kompresörlerin inverter yardımıyla değişken hızlı olarak daha verimli bir şekilde çalıştırılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Nasutin, H., "Variable Speed Drives of Reciprocating Compressor For Air Conditioning" Malaysia Technology University, Malaysia, 2006.
- [2] Tassou, S.A, Qureshi, T.Q., "Comparative Performance Evaluation of Positive Displacement Compressors In Variable-Speed Refrigeration Applications", International Journal of Refrigeration, 21, 1, 29-41, 1998.
- [3] Qureshi, T.Q., S. A. Tassou, S.A., "Variable-Speed Capacity Control in Refrigeration Systems", Applied Thermal Engineering, 16, 2, 103-113, 1996.

- [4] Shuangquan, S., Wenxing, S., Xianting L. ve Huajun, C., "Performance Representation of Variable-Speed Compressor for Inverter Air Conditioners Based on Experimental Data", *International Journal of Refrigeration*, 27,1, 805–815.2006.
- [5] Minsung, K., Min, S.K., "Performance Investigation of a Variable Speed Vapor Compression System for Fault Detection and Diagnosis", *International Journal of Refrigeration*, 28, 1, 481–488, 2005.
- [6] Aprea, C., Mastrullo, R. ve Renno, C., "Experimental Analysis of Scroll Compressor Performances Varying its Speed", *Applied Thermal Engineering* 26, 1, 983-992, 2006.
- [7] Jiangjiang W., Dawei A. ve Chengzhi, L., "Application of Fuzzy-PID Controller in Heating Ventilating and Air-Conditioning System", *Mechatronics and Automation, Proceedings of the IEEE International Conference*, syf. 2217 – 2222, 25-28 June 2006.
- [8] Trzynadlowski, A.M.. *Control of Induction Motors*. Acedemic Press:London, 2001.
- [9] Choi, M., Kim, Y.C., "Capacity Modulation of an Inverter-Driven Multi-Air Conditioner Using Electronic Expansion Valves", *Energy*, 28, 1, 141–155, 2003.
- [10] Ross T.J.*Fuzzy Logic with Engineering Applications (2nd ed.)*. John Wiley and Sons: USA., 2004

ÖZGEÇMİŞ

Orhan EKREN

1976 yılında İzmir’de doğdu. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümü Termodinamik-Enerji programından lisans, 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği programından Yüksek Lisans derecesi aldı. Doktora eğitimini, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik programında yapmaktadır. 2000-2003 yılları arası İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2003-2005 yılları arasında DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, Elektromekanik Teçhizat Şube Müdürlüğünde Mühendis olarak çalıştı. 2005 yılından bu yana Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksek Okulu, İklimlendirme Soğutma Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

Serhan KÜÇÜKA

1960 yılı İzmir doğumludur. 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 1985 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında Doktora derecelerini aldı. 1990-1998 yılları arasında TÜPRAŞ İzmit ve İzmir rafinerilerinde borulama, depolama tanklarının imal ve yenilenmesi, pompa sistemleri, bina ısıtma sistemleri gibi muhtelif konularda proje mühendisi olarak çalıştı. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak çalışmaktadır. Çalışma konuları soğutma, jeotermal ısıtma sistemleri ve akış ve ısı transferi problemlerinin sayısal çözümleridir.