

# İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ELEKTRONİK GENLEŞME VANASININ KONTROLÜ

**Orhan EKREN\***

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Y.O.  
İklimlendirme Soğutma Programı  
Bornova-İzmir  
orhan.ekren@ege.edu.tr

**Serhan KÜÇÜKA**

Dokuz Eylül Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Bornova-İzmir  
serhan.kucuka@deu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada, soğutma sistemlerinde kullanılan elektronik genleşme vanaları için bir kontrol yöntemi araştırılmıştır. Soğutucu akışkan geçişi kontrol eden elektronik genleşme vanası milinin hareketi için 500 adım atabilen bir step motor kullanılmıştır. Vananın kontrolü bulanık mantık algoritma ile yapılmıştır. Yaklaşık 5 kW soğutma kapasiteli soğuk su üretim grubunda, elektronik genleşme vanası, evaporatörden scroll kompresör emişine gelen soğutucu akışkanın kızgınlık derecesini kontrol etmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektronik genleşme vanası, kızgınlık ayarı, step motor kontrol

## Control of The Electronic Expansion Valve in The HVAC Systems

## ABSTRACT

In this study, control method of the electronic expansion valve in the refrigeration system was investigated. Electronic expansion valve whose mile driven with a 500 steps stepper motor, was used to control refrigerant flow. Fuzzy logic control algorithm was used for the valve control. Superheat degree of the liquid refrigerant at entrance into the scroll compressor has been controlled by electronic expansion valve controlled in the about 5 kW cooling capacity chiller.

**Keywords :** Electronic expansion valve, superheat adjustment, stepper motor control

\*\* İletişim yazarı  
Geliş tarihi : 20.10.2009  
Kabul tarihi : 03.03.2010

## GİRİŞ

Evsel ve ticari uygulamalarda enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerin başında gelen iklimlendirme sistemlerinin verimini arttırmak için birçok çalışma yapılmaktadır(1). Soğutma sistemlerinde yapılan verim artırma çalışmalarında, elektronik genleşme vanalarının(EGV) sağladığı performans artışı çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur(2). Bütün buhar sıkıştırma soğutma çevrimlerinde kompresör, kondenser, evaporatör ve genleşme vanası kullanılması gerekir. Bu ana elemanlardan genleşme vanası, soğutucu akışkan basıncını yoğunlaşma basıncından (yüksek basınç) buharlaşma basıncına (alçak basınç) düşürmekte ve evaporatöre gerekli soğutucu akışkanı sağlamaktadır. Soğutma sistemlerinde kılcal boru, termostatik genleşme vanası (TGV) ve elektronik olmak üzere değişik tipte genleşme vanaları kullanılmaktadır. Bunlardan termostatik tip en yaygın kullanılan vana tipidir. Diğer taraftan kılcal boru ev tipi küçük soğutucularda kullanılan basit bir genleşme vanasıdır. Soğutucu akışkan debisinin sürekli değiştiği; değişken hızlı, değişken debili (VRF/VRV) sistemlerde evaporatörün yeterli miktarda soğutucu akışkan ile beslenebilmesi açısından EGV çok önemlidir. Bu sistemlerde EGV termostatik genleşme vanasından daha verimli olmaktadır(2,3). Şekil-1'de soğutma çevrimi temel elemanları ile EGV kontrolünü gösteren prensip şeması verilmiştir. Literatürde EGV vanalarının sağladığı faydalarla ilgili çalışmalar yapılmıştır; Lazzarin ve ark. [2] yaptıkları çalışmada değişken hızlı kompresör, kullanılan bir telekomünikasyon kabininde EGV ile TGV'yi karşılaştırmıştır. Bu çalışmada EGV kontrolünde ticari olarak kullanılan bir EGV ve onun kontrol birimi kullanılmıştır. Benzer şekilde Aprea ve ark. [3] da TGV ile EGV'yi değişken hızlı

kompresörün kullanıldığı sistemde karşılaştırmışlardır. Burada kontrol yine ticari olarak satılan bir EGV'na ait kontrol birimi ile yapılmıştır. Her iki çalışmada da kontrol değişkeni olan kızgınlık değeri evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak hesaplanmıştır. EGV'nin kontrolü ile ilgili detaylı kaynak bulunmamaktadır. Ticari olarak kullanılan sistemlerde ise yukarıda verilen örneklerde olduğu gibi bir kontrol ünitesinde oransal, integral, türev (PID) algoritmalar kullanılmakta ve detaylı bilgiler sunulmamaktadır. EGV'nin mikro kontroller ile kontrolünü ele alan bir çalışma Thae ve ark. [4] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaya göre evaporatör giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak kızgınlık değeri hesaplanmış ve bir oransal algoritmaya göre step motorlu vana PIC kullanılan bir mikro kontroller ile yapılmıştır.

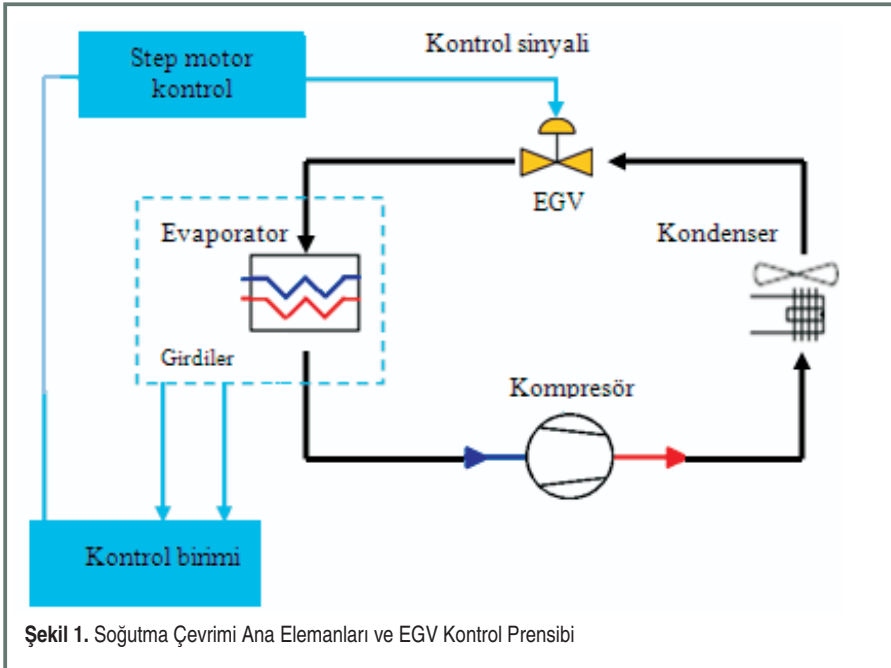
## DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Bu çalışmada, 5 kW soğutma kapasiteli bir chiller sistemi kullanılmıştır. Kullanılan soğutma kompresörü sabit devirli scroll tipindedir.

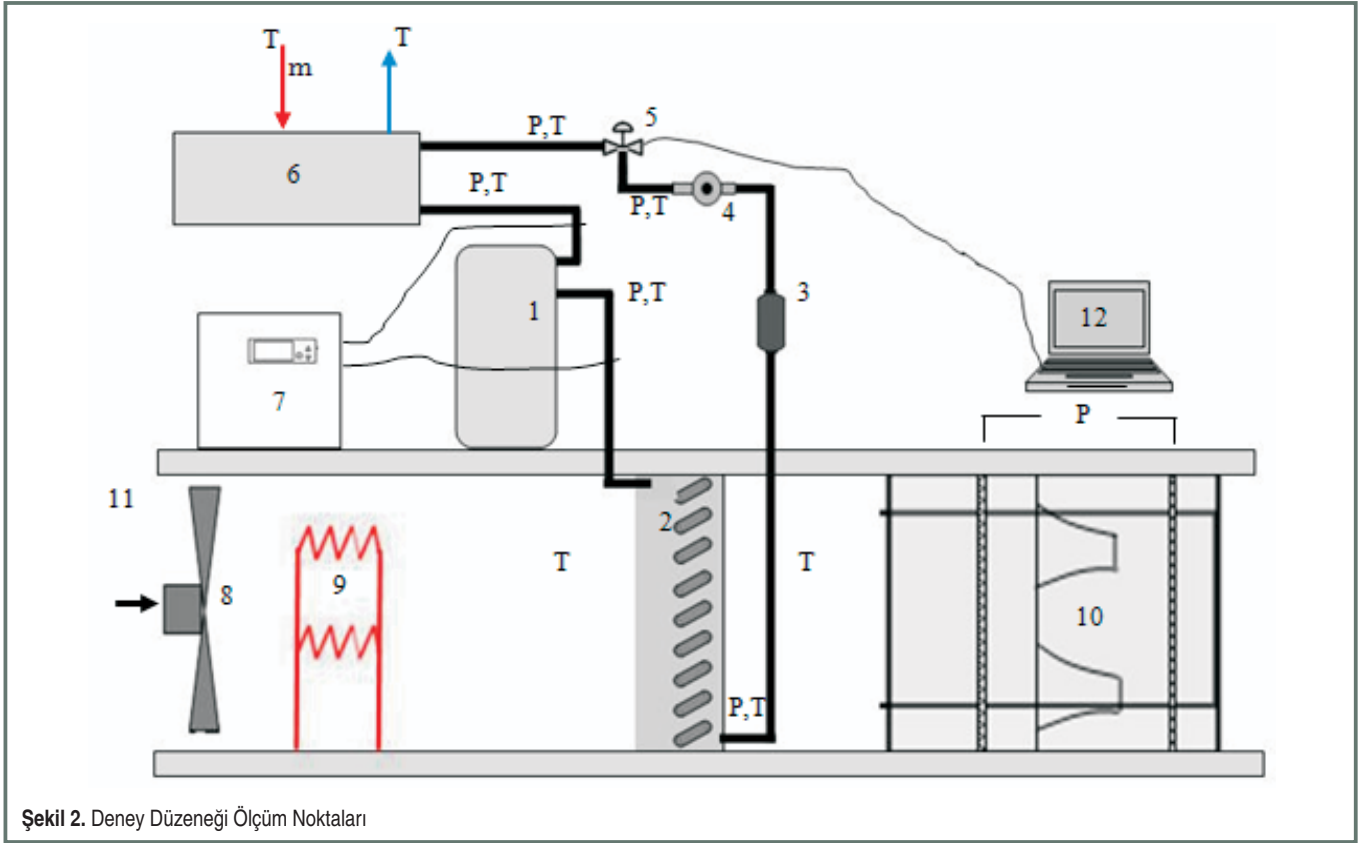
Kondenseri ise hava soğutmalı olup kesit alanı  $0,417 \text{ m}^2$  olan izole edilmiş bir kanal içine yerleştirilmiştir. Kanal içine, dış ortam şartlarını simüle etmek için kapasitesi ayarlanabilir ısıtıcı ve fan yerleştirilmiştir. Hava, kanaldaki difüzörler üzerinden geçirilmekte, difüzör öncesi ve sonrası basınçlar ölçülerek hava hızı ve hava akış debisi hesaplanmaktadır. Evaporatör su debisi, soğutma sistemiyle su deposu arasındaki ventüri yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm değerleri farklı yöntemler kullanılarak doğrulanmıştır. Soğutma sisteminde, su, hava ve soğutucu akışkan taraflarında çeşitli noktalara bağlı ısı çiftleri yardımıyla sıcaklıklar ölçülmüştür.

Soğutma devresinde soğutucu akışkanın çeşitli noktalardaki basınçları oransal tip basınç ölçerler yardımıyla yapılmıştır. Deney düzeneğinde sıcaklık, basınç ve debi ölçüm noktaları Şekil 2'de, kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Deney düzeneğinin şematik gösteriminde, "P" harfinin bulunduğu noktalar basınç ölçümlerini, "T" harfinin bulunduğu noktalar sıcaklık ölçümlerini, "m" ise debi ölçümlerini göstermektedir. Ayrıca 1-kompresör, 2-hava soğutmalı kondenser, 3-kurutucu, 4-gözetleme camı, 5-elektronik genleşme elemanı, 6-sulu tip evaporatör, 7-sistem kontrol panosu, 8-fan, 9-ısıtıcı, 10-difüzör, 11-hava kanalı giriş tarafı ve 12-elektronik vananın kontrolü ile sıcaklıkların kaydedildiği bilgisayar göstermektedir.



Şekil 1. Soğutma Çevrimi Ana Elemanları ve EGV Kontrol Prensişi

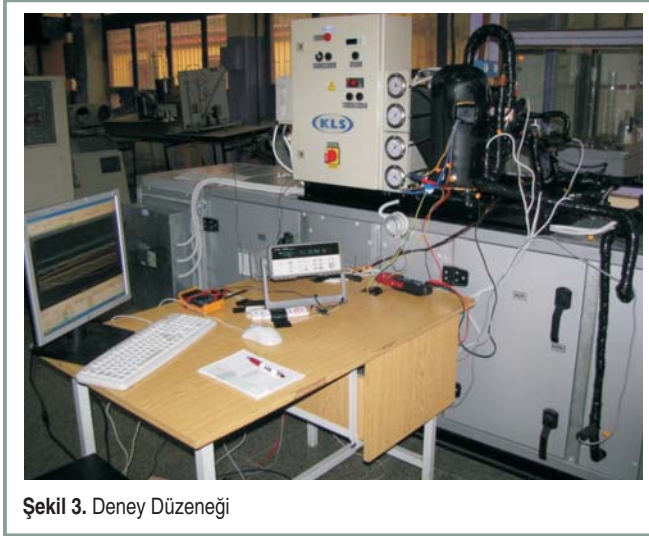


Şekil 2. Deney Düzeneği Ölçüm Noktaları

Tablo 1. Deney Düzeneği Özellikleri

Eleman	Özellikler
Kompresör	Tip : Copeland, Dik scroll (R134a soğutucu akışkanlı) Kapasite : 2.8 Hp
Kondansör	Tip : Hava soğutmalı
Evaporatör	Tip : Su soğutmalı
Genleşme elemanı	Elektronik tip, step motor kontrollü, 1.8 mm nozul açıklığı.
Basınç ölçer	Tip : Carel SPKT, Oransal Ölçüm aralık : (-1/9) bar ve (0/45) bar mutlak Hata : $\pm\%1.2$
Sıcaklık ölçer	Tip : Isıl çift "T" Ölçüm aralık : -200 ile 350 °C Hata : $\pm\%1.5$
Güç ölçer	Tip : Bs157 Ölçüm aralık : 220/600 V , 50/60 Hz Hata : $\pm\%1$
Data ölçüm ve kontrol sistemi	Agilent-34970 data logger ve 34901 kartı PC paralel port ve step motor kontrol devresi

Deney düzeneğinin genel görünüşü ve şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Deney Düzeneği

#### Elektronik Genleşme Vanası

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan EGV'leri kontrol şekline göre üçe ayırabiliriz: step motorlu vanalar (a), oransal manyetik bobinli vanalar (b) ve açıp kapama sürelerinin kısaltılıp uzatılması sonucu soğutucu akışımın sağlandığı vanalar (c). EGV'de kontrol, evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkanın kızgınlık değerine göre yapılır. Uygulamalarda soğutucu akışkan kızgınlık değeri hesabı için iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilkinde, evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığı ölçülerek, aynı bölgedeki soğutucu akışkan basıncına karşılık gelen doyma sıcaklığı ile arasındaki farktan hesaplanır. Diğer yöntemde ise, evaporatördeki basınç düşümü ihmal edilir ve evaporatör giriş ve çıkışı arasında soğutucu akışkanın sıcaklık farkı kızgınlık olarak alınır. Step motor kontrollü EGV'de, kızgınlık değerini ayarlanan değerde sabit tutmak için motor milinin aşağı hareketi ile vanadan geçen soğutucu akışkan miktarı azaltılmakta (kızgınlık artar), yukarı hareketinde ise

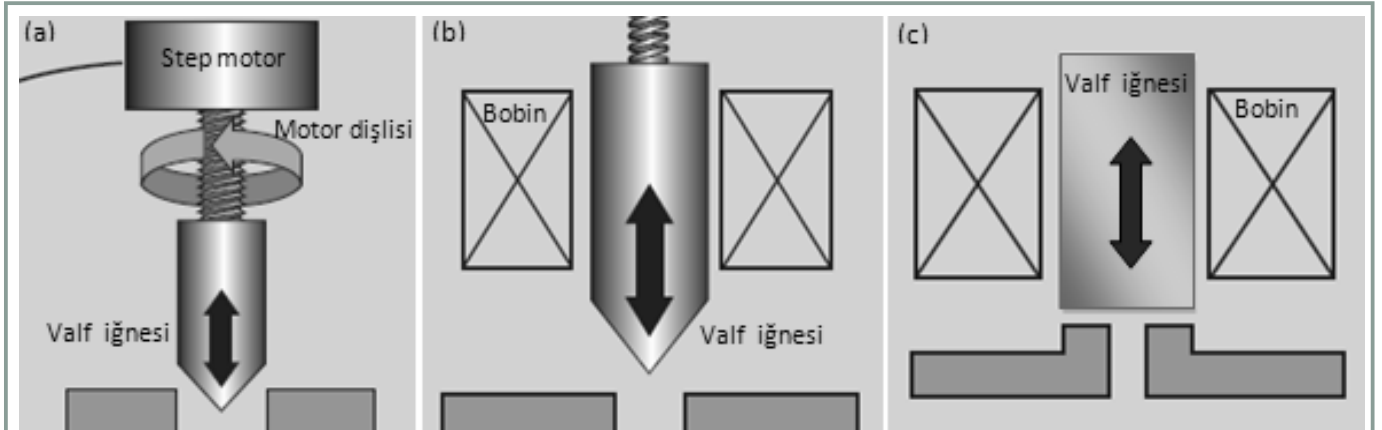
vanadan geçen soğutucu akışkan miktarı artırılmaktadır (kızgınlık azalır). Ölçülen kızgınlık değerine göre step motora ilgili hareketi yapması için sinyal gönderilir. Şekil 4'te EGV milinin kontrol şekilleri gösterilmiştir.

Bu çalışmada, step motor kontrollü 47-1,8 DPF(Q) model EGV kullanılmıştır. Kullanılan EGV Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Kullanılan Elektronik Genleşme Vanası

Step motorun kontrolü için gerekli kontrol devresi tasarlanarak, kontrol amaçlı MATLAB kodu yazılmıştır. Vananın kontrolü bulanık mantık kontrol ile yapılmıştır. MATLAB kodu evaporatör çıkışındaki gerçek kızgınlık değeri ile istenen değer arasındaki farka göre step motora açılma ya da kapanma sinyali göndermektedir. Bilindiği gibi kızgınlık arttıkça genleşme vanasının açılarak daha fazla soğutucu akışkan göndermesi, kızgınlık azaldığı durumda ise genleşme elemanının kapanması gerekmektedir.

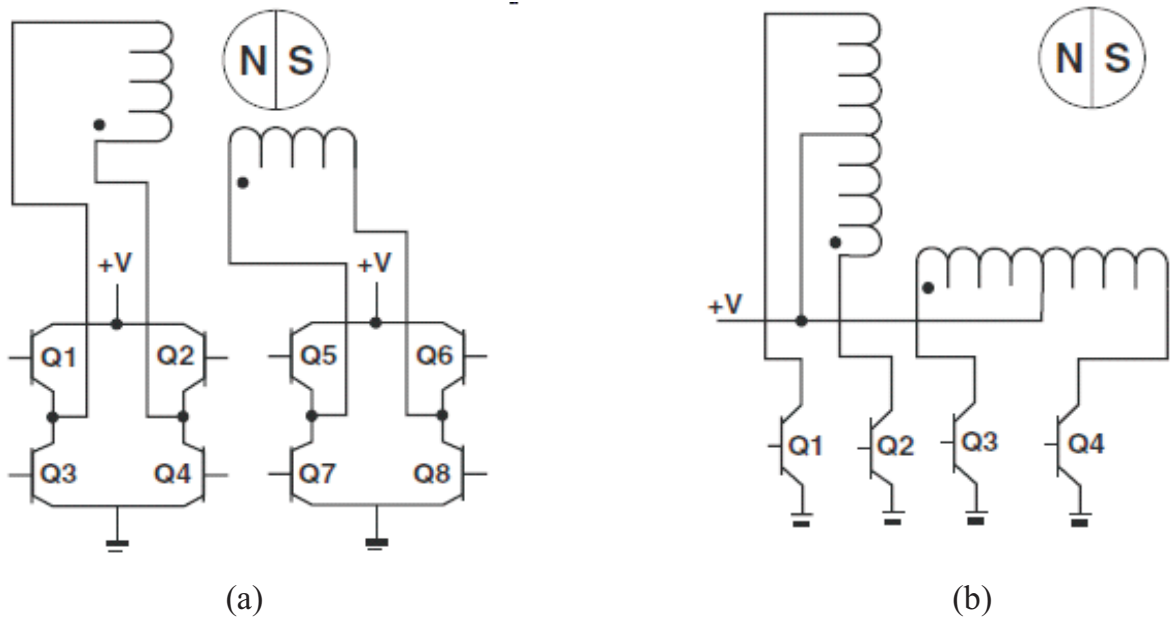


Şekil 4. EGV Mili Kontrol Tipleri (Sporlan, 2007)

## EGV Step Motoru Sürücü Devresi

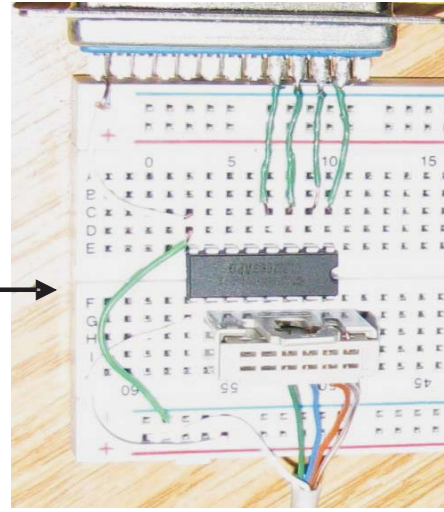
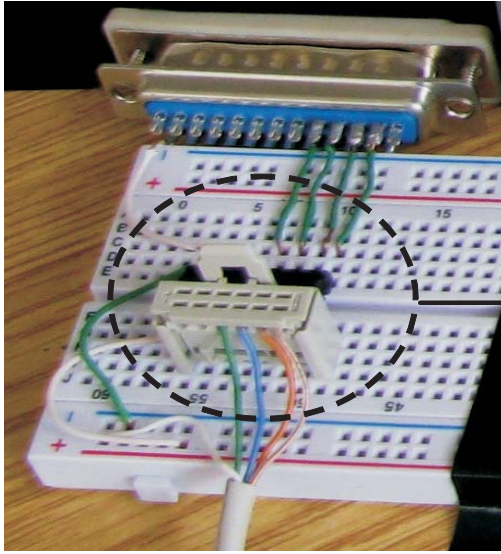
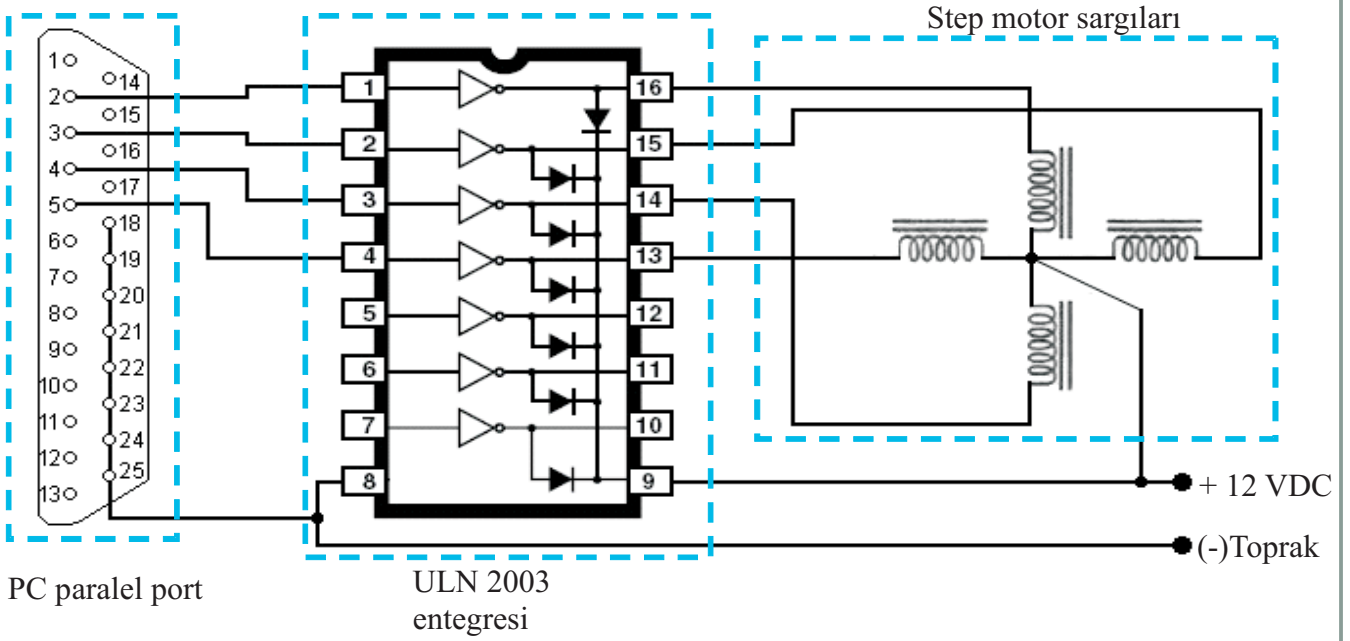
Step motorlar, aldıkları kontrol sinyali ile sabit açıda adım adım hareket ederler. Step motor, içeride dönen bir rotor ve sabit sargılardan oluşan statordan oluşmaktadır. Rotor ortasındaki shaft üzerinde mıknatıslar bulunmaktadır. Sargılara akım verilmesi ile oluşan manyetik alan shaft üzerindeki bu mıknatısları etkileyerek dönme hareketi oluşmasını sağlar(4). İki temel step motor türü; unipolar ve bipolardır. Unipolar motor, her kutupta iki sargıya sahiptir ve motor gövdesi dışına

çıkan beş veya altı bağlantı ucuna sahiptir. Bunun nedeni, sargıları ikiye bölen ortak ucun motor dışına ayrı ya da birlikte çıkarılmasıdır. Bipolar motorda ise, her kutup tek sargıya sahiptir, sargılar ikiye bölünmemiştir. Bu nedenle, elde edilen tork unipolara göre daha fazladır. Ayrıca akımın sargılara verilmiş yönünün değişmesi, unipolardan farklı olarak motor dönüş yönünün değişmesine neden olmaktadır. Bipolar ve unipolar step motor sargıları ve kontrol sinyalinin gönderilme sırasına göre motor dönme yönü Şekil 6'da gösterilmiştir.



Dönüş Yönü	Bipolar					Dönüş Yönü
	1	2	3	4	5	
Saat yönünde dönüş	1	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Saatin tersi yönde
	2	Kapalı	Açık	Açık	Kapalı	
	3	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	
	4	Açık	Kapalı	Kapalı	Açık	
	5	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	
Saatin tersi yönde dönüş	1	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	Saatin tersi yönde
	2	Kapalı	Açık	Açık	Kapalı	
	3	Kapalı	Açık	Kapalı	Açık	
	4	Açık	Kapalı	Kapalı	Açık	
	5	Açık	Kapalı	Açık	Kapalı	

Şekil 6. Bipolar (a) ve Unipolar (b) Step Motor Sargılarına Kontrol Sinyali Uygulama



Şekil 7. Step Motor Kontrol Devresi Bağlantı Şeması

Step motorun kontrolü için sargılara belirli sırada sinyal gönderilmesi gerekir. Bu çalışmada kullanılan EGV step motoru unipolar olup, motor gövdesi dışına altı bağlantı ucu çıkmaktadır. Sistemde kullanılan step motorun kontrolünde ULN2003 adı verilen darlington transistörlerden oluşan entegre kullanılmıştır. EGV'nin açıklık miktarı evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkanın gerçek kızgınlık değerinin ayar değerinden sapma miktarına göre yapılmaktadır. EGV üzerindeki step motora dijital kontrol sinyali aşağıdaki şekilde verilen sıraya göre gönderilmektedir. Dijital sinyal bilgisayar paralel portundan gönderilmektedir. Şekil 7'de,

paralel port ve ULN2003 entegresinin step motora bağlantı şeması ile uygulanmış resmi gösterilmiştir.

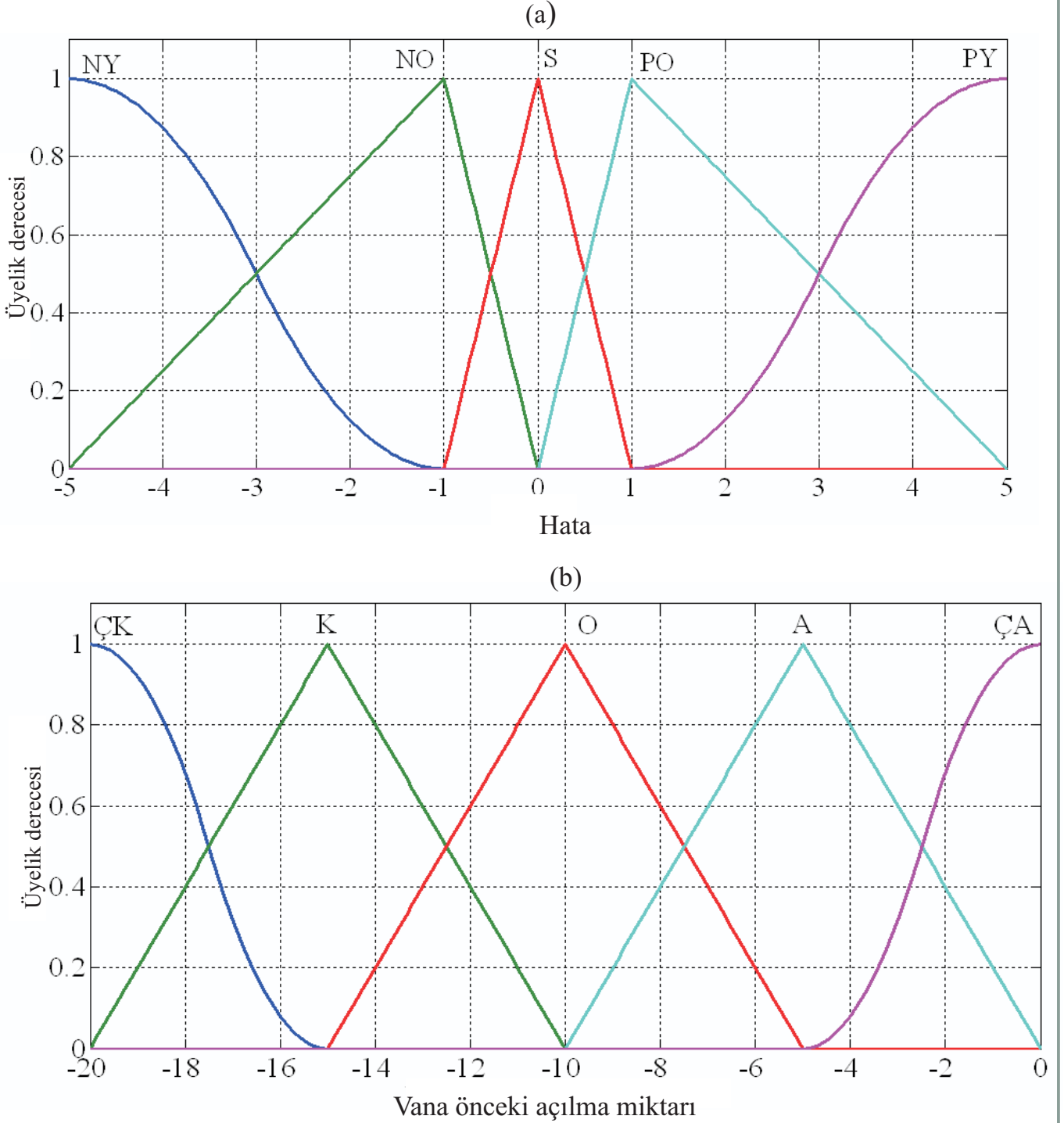
## ELEKTRONİK GENLEŞME VANASI KONTROLÜ

Elektronik Genleşme Vanası (EGV), soğutma sisteminde kızgınlık değerini kontrol etmektedir. Kızgınlık değerini hesaplamının en basit yolu soğutucu akışkanın evaporatör çıkışındaki sıcaklığından, girişindeki sıcaklığı çıkarmaktır. Bu kızgınlık değeri kontrol edilerek EGV'nin açıklık miktarı değiştirilir.

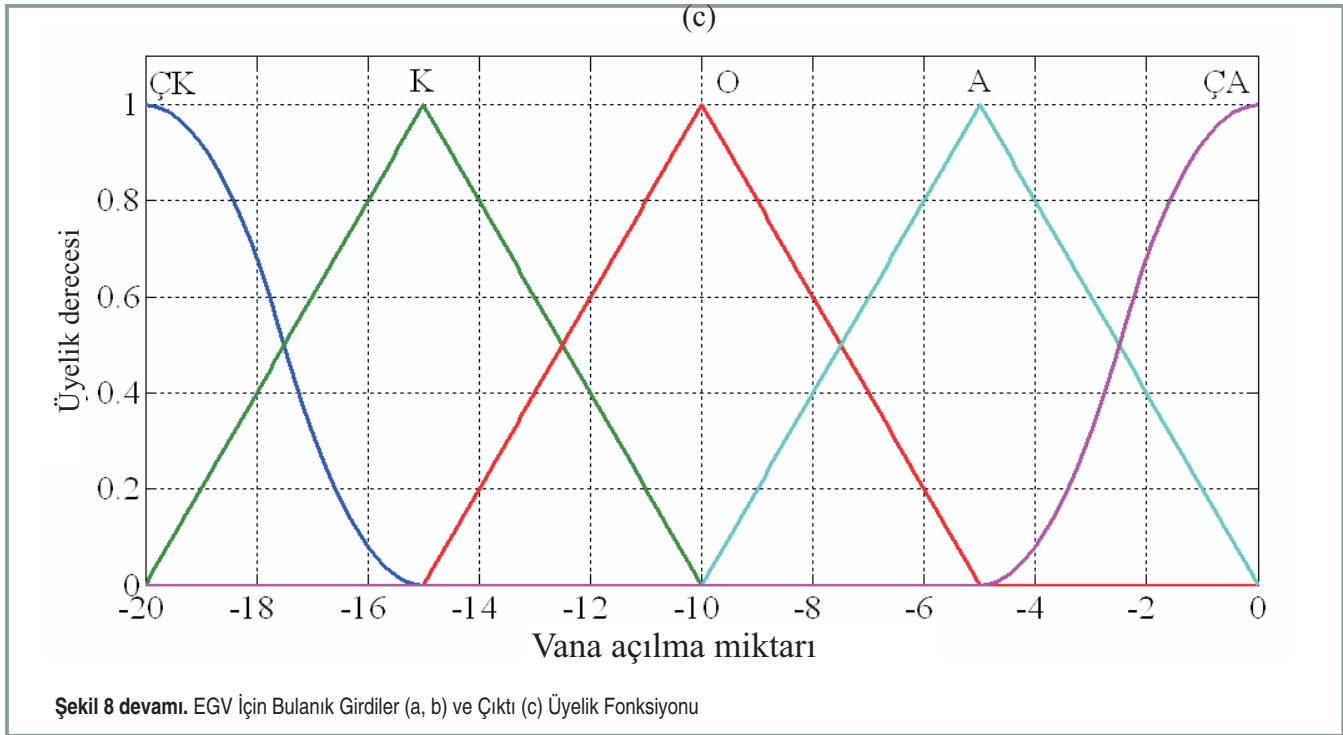
Kızgınlık değeri arttığı zaman EGV'ye açma sinyali, azaldığı zaman ise kapanma sinyali gönderilecektir. EGV'nin bulanık mantık ile kontrolünde iki adet girdi, bir adet çıktı belirlenmiştir. Girdi olarak kızgınlık değerinin ayar değeri (8°C) ile sistemden ölçülen değer arasındaki fark yani hata ve

vananın bir önceki açıklık miktarı seçilmiştir.

Çıktı değeri olarak ise vananın açılma miktarı seçilmiştir. Şekil-8(a,b,c)'de üyelik fonksiyonları görülmektedir. EGV kontrolü için oluşturulan kural tablosu aşağıda verilmiştir.



Şekil 8. EGV için Bulanık Girdiler (a, b) ve Çıktı (c) Üyelik Fonksiyonu

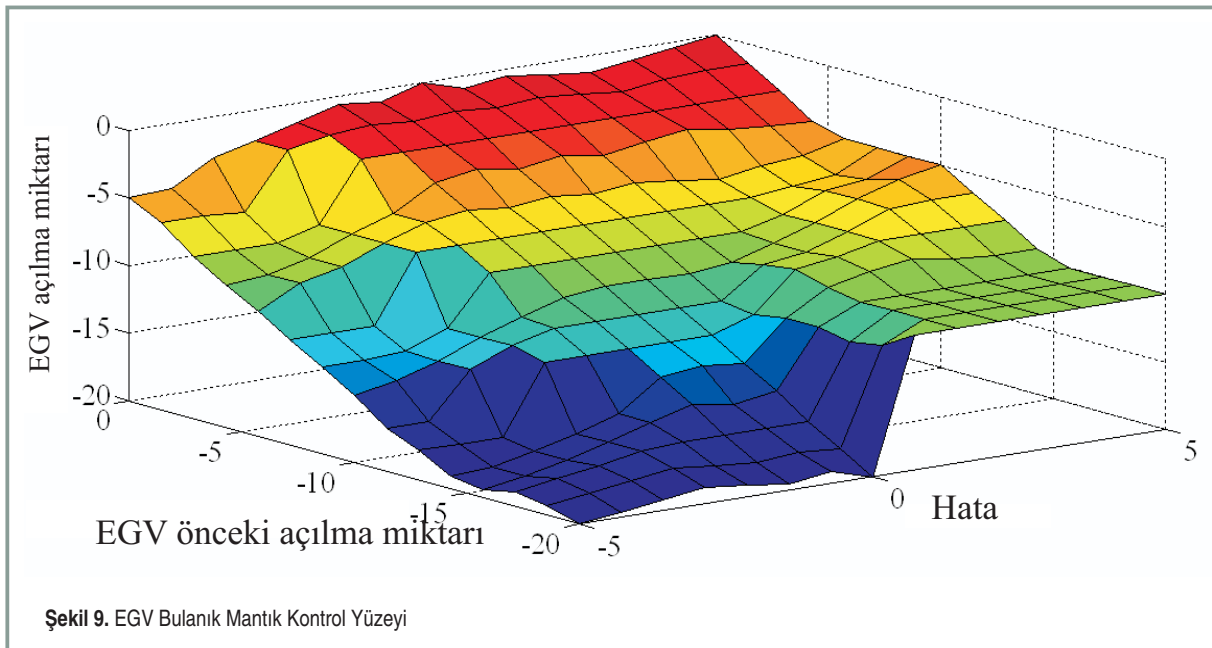


Tablo 2. EGV Açıklığı İçin Kural Tablosu

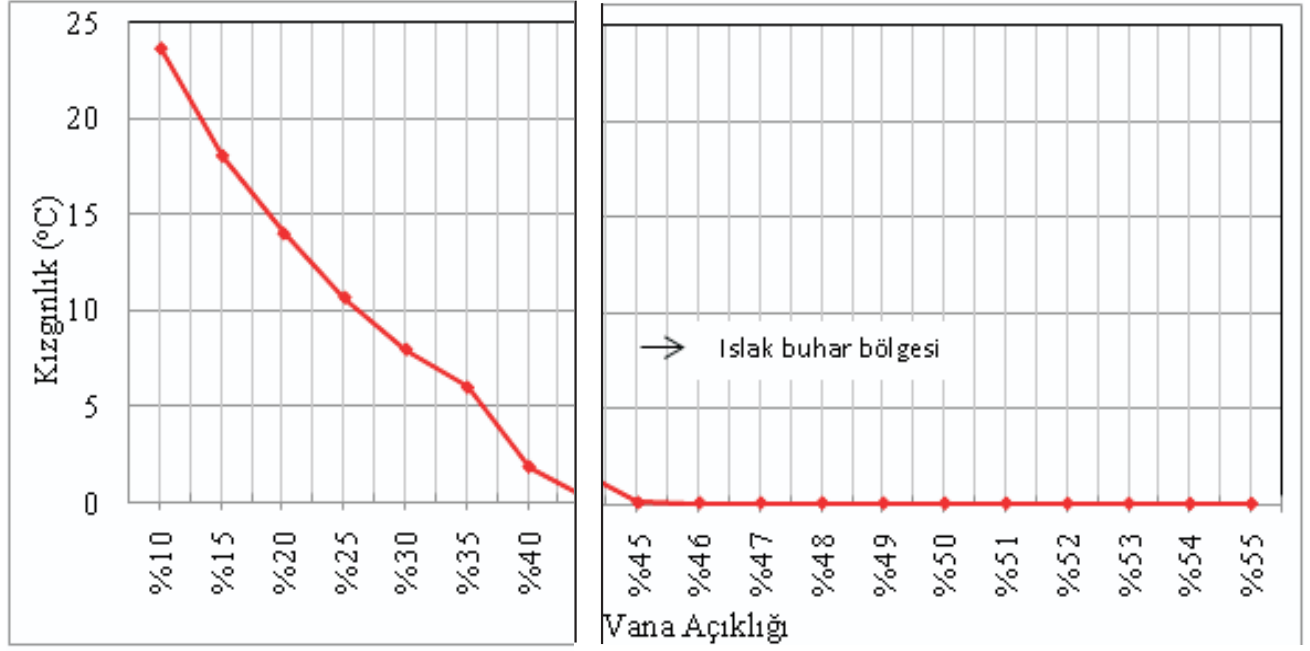
Vananın önceki açıklığı	ÇA	A	O	K	ÇK
Kızgınlık Hatası					
NY	A	O	K	ÇK	ÇK
NO	A	A	O	ÇK	ÇK
S	ÇA	A	O	K	ÇK
PO	ÇA	A	A	O	K
PY	ÇA	ÇA	A	O	O

Sistemde EGV davranışı ile ilgili bilgi toplandıktan sonra bulanık mantık kontrolün temelini oluşturan ve uzman deneyiminden yararlanılarak elde edilen kural tablosu (Tablo.2) oluşturulmuştur. Bu kurallar kullanılarak evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkan kızgınlığına göre vana açıklığı kontrol edilmiştir.

Burada kullanılan sözsöz ifadeler NY: negatif yüksek, NO: negatif orta, S: sıfır, PO: pozitif orta, PY: pozitif yüksek, ÇK: çok kapalı, K: kapalı, O: orta, A: açık ve ÇA: çok açık anlamına gelmektedir. Eğer kızgınlık hatası "NY" ise ve





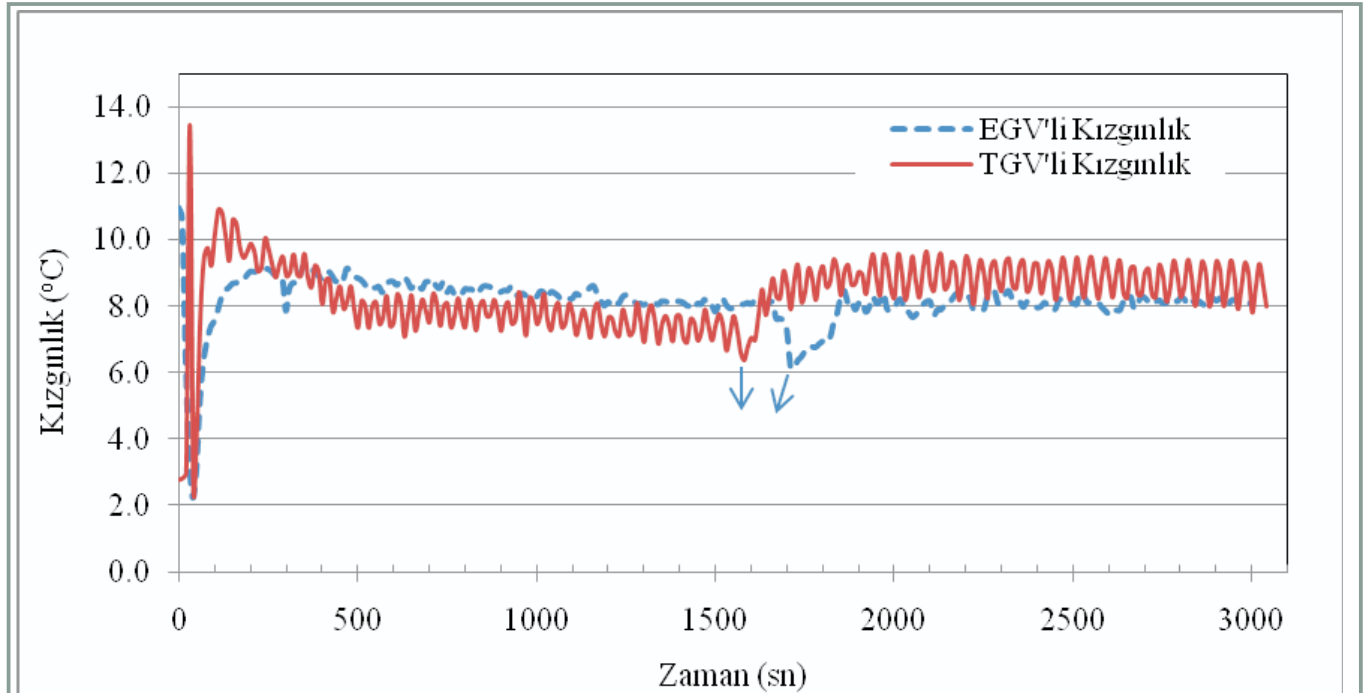


Şekil 10. Kızgınlığın Vana Açıklığı ile Değişimi

EGV'nin önceki açıklığı "ÇK" ise vana açılma miktarı "ÇK" olarak ayarlanacaktır. EGV'nin bulanık mantık kontrolünde elde edilen kontrol yüzeyi Şekil 9'da verilmiştir.

EGV'nin kontrolünde, istenen kontrol çıktısını alabilmek için yine COG durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bulanık

mantıkta kural tablosunu oluşturabilmek için kontrol edilecek sistemin termodinamik davranışını bilmek gerekmektedir. Kural tablosu, sistemin uygun şekilde kontrol edilebilmesi amacıyla deneme yanılma yöntemiyle düzenlenir. Bulanık mantık kontrolde klasik kontrol sistemlerinde olduğu gibi matematiksel modele ihtiyaç yoktur. Ancak kural tablosunu



Şekil 11. Kızgınlığın Zamanla Değişimi

## SONUÇ

oluşturabilmek için yapılacak denemeleri sistem üzerinde yapmak yerine sistemin simülasyonu üzerinde yapmak daha pratik olmaktadır. Bu amaçla kontrole başlamadan önce bir takım deneyler yapılmış ve bu deneyler sonucu kompresör ile EGV için matematiksel ifadeler elde edilmiştir.

## DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan deneylerde evaporatöre su geliş sıcaklığı 13 °C, su debisi 0.496 kg/sn, kondenser hava sıcaklığı 30 °C ve hava debisi 0.586 kg/sn değerinde sabit tutulmuştur. Bu şartlarda, elektronik genişleme vanası, maksimum açıklığın %10'u ile %45'i arasında %5'lik dilimlerle, %45 ve %55 arasında %1'lik dilimlerle açılarak sistem davranışı incelenmiştir. % 50 ve üzerindeki vana açıklıklarında kompresöre buhar yanında sıvı soğutucu akışkan girişi olduğu gözlenmiştir(5). Düşük vana açıklık oranlarında kompresör emmesindeki soğutucu akışkan kızgınlık değeri oldukça fazla olmaktadır. Vana açıklığı ile kızgınlık arasındaki ilişki Şekil-10'da görülmektedir.

Kompresörün değişken hızlı çalışması sırasında, TGV ve EGV kullanılması durumunda sisteme verilen bozucu etkiye karşı sistemin cevabı incelenmiştir. Burada bozucu etki su debisinin 0,496 kg/sn'den 0,100 kg/sn değerine indirilmesidir. EGV'nin bulanık kontrolü sırasında bozucu girdiye karşı soğutucu akışkan kızgınlık değerinin değişimi TGV kullanılan sistem ile karşılaştırmalı olarak Şekil-11'de verilmiştir.

Değişken hızlı kompresörde, sistemin verilen bozucu etkiye cevabı incelendiğinde, soğutucu akışkanın kızgınlık değerinin EGV'li sistemde ayar değerinden çok fazla uzaklaşmadığı dolayısıyla kontrolün daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. TGV ise daha yüksek kızgınlıkta yeni bir dengeye ulaşmıştır.

Bu çalışmada, su soğutma grubunda EGV'nin kontrolü bulanık mantık algoritma ile yapılmıştır. Kontrol değişkeni olarak soğutucu akışkan kızgınlık değeri belirlenmiştir ve bu değer evaporatör girişi ile çıkışındaki sıcaklık farkından hesaplanmıştır. EGV'nin step motorunun kontrolü ULN2003 adı verilen bir entegre kullanılarak bilgisayar paralel portu aracılığıyla yapılmıştır. Kontrolü sağlayan program MATLAB da yazılmıştır ve gerçek zamanlı olarak kontrol sağlamıştır. Bu sayede çok basit ve ucuz bir kontrol düzeneği ile EGV kontrolünün yapılabildiği görülmüştür. Deney sonuçları incelendiğinde oluşturulan bulanık mantık algoritmanın EGV'yi istenen şekilde kontrol ettiği gözlenmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Qureshi, T.Q., Tassou, S.A.** 1984. "Variable-Speed Capacity Control in Refrigeration of Ambient Energy, 5(4), 20712.
2. **Lazzarin, R., Noro, M.** 2008. "Experimental Comparison of Electronic and Thermostatic Expansion Valves Performance in an Air Conditioning Plant." International Journal of Refrigeration, 31, 113-118.
3. **Apra, C., Mastrullo, R., Renno, C.** 2006. Performance of Thermostatic and Electronic Valves Controlling the Compressor Capacity. International Journal of Energy Research, 30, 1313-1322.
4. **Su Aye, T., Myo Lwin, Z.** 2008. Microcontroller Based Electric Expansion Valve Controller For Air Conditioning System. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, (32), 417-421.
5. **Ekren, O., Küçüka, S.** 2009. "Scroll Tip Soğutma Kompresörüne Sıvı Girişinin Etkileri." Mühendis Makina, 591, 8-18.

*Daha Etkin Bir ODA için  
Üyelik Aidatlarımızı  
ÖDEYELİM*