

ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARDA KULLANILAN KARIŞIM TANKININ SEVİYE VE SICAKLIK DENETİMİ İÇİN PID VE BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TASARIMI*

Ahmet Gani

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş
ahmetgani8733@gmail.com

Erdal Kılıç

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Aşşın MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü,
Elektrik Programı, Kahramanmaraş
ekilic@ksu.edu.tr

Ö. Fatih Keçecioğlu

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş
o.fatihkececioğlu@gmail.com

Hakan Açıkgöz

Kilis 7 Aralık Üniversitesi,
Kilis Meslek Yüksekokulu,
Elektrik Programı, Kilis
hakanacikgoz84@gmail.com

Mustafa Şekkelî**

Doç. Dr.,
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş
mustafasekkeli@hotmail.com

ÖZ

Endüstriyel tesislerde su ve benzeri sıvıların doldurulduğu depolarda seviye ve sıcaklık denetiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu makalede, doğrusal olmayan bir sistem olan sıvı karışım tankının seviye ve sıcaklık denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu karışım tankına iki pompa vasıtasıyla sıcak ve soğuk su akışı sağlanmaktadır. Suyun akış miktarı valfler ile kontrol edilerek tankta istenilen sıcaklık ve seviye elde edilmektedir. Sistemi kontrol etmek amacıyla, seviye ve sıcaklık denetimi için PID denetleyici ve bulanık mantık denetleyici geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık denetim, PID denetim, sıvı karışım tankı

PID AND FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR THE LEVEL AND TEMPERATURE CONTROL OF MIXING TANK USED IN INDUSTRIAL APPLICATIONS

ABSTRACT

In industrial plants, liquid level control and temperature control must be made accurately inside the tanks filled with water and the like. In this article, level and temperature control have been realized for a liquid mixture tank, which is a nonlinear system. Hot and cold water flows are supplied to the mixture tank by means of two pumps. Desired temperature and liquid level inside the tank are obtained by controlling the flow through the valves. To this end, fuzzy logic controller and PID controller have been developed.

Keywords: Fuzzy logic control, PID control, liquid mixture tank

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 10.02.2016

Kabul tarihi : 30.03.2016

* 14-16 Mayıs 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Adana'da Çukurova Üniversitesi'nde düzenlenen Endüstriyel Otomasyon Kongre ve Sergisi'nde sunulan bu bildiri, yazarlarınca Dergimiz için makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Gani, A., Kılıç, E., Keçecioğlu, Ö. F., Açıkgöz, H., Şekkelî, M. 2016. "Endüstriyel Uygulamalarda Kullanılan Karışım Tankının Seviye ve Sıcaklık Denetimi İçin PID ve Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 675, s. 41-48.

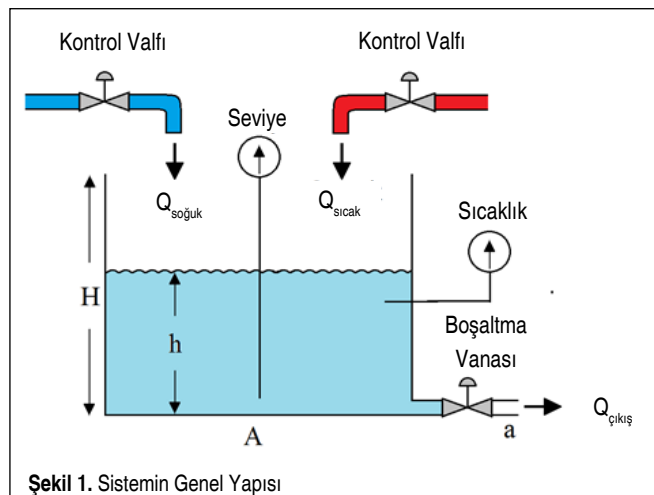
1. GİRİŞ

Sıvı karışım tanklarının seviye ve sıcaklık denetimi, gıda sanayi, tarımsal ilaçlama, tekstil, atık su arıtma, petrokimya endüstrisi ve ilaç sanayi gibi endüstriyel uygulamalar için çok önemlidir. Birçok endüstriyel tesiste sıvı sıcaklık ve seviye denetimi sistem yapısının en önemli parçasıdır. Bu tesisler için bazı durumlarda sıvı sıcaklığının ve seviye denetiminin optimum şekilde yapılamaması maddi ve manevi zararlara yol açabilir [1]. Endüstriyel sıvı karıştırma sistemlerinin denetimi çoğunlukla klasik denetleyiciler ile yapılmaktadır [2]. Ancak, son yıllarda klasik denetim sistemlerine ek olarak bulanık mantık denetim de endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde klasik denetleyicilerin performansı düşüktür. Bulanık mantık esaslı denetleyiciler ile bu tip sistemlerin denetiminde daha başarılıdır [3]. Bu çalışmada, sıvı karışım tankı denetimi için PID denetleyici ve bulanık mantık denetleyici MATLAB/Simulink benzetim programında modellenmiş ve denetleyicilerin dinamik performansı karşılaştırılmıştır.

2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada kullanılan su tankı dikdörtgen prizma şeklindedir. Pompalar 0,25 m³/s debiyle su tankına sıcak ve soğuk su vermektedir. Tanka giren sıcak ve soğuk suyun akış miktarı, istenilen su seviyesine ve sıcaklığına göre denetleyiciler tarafından denetlenen valfler ile ayarlanmaktadır. Su çıkışı için kullanılan boşaltma vanasının ayarı kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Su karışım tankı sisteminin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Karışım tankına giren sıcak suyun sıcaklığı T_1 ve soğuk suyun sıcaklığı T_2 değerleri sabit kabul edilmektedir. Tanka sıcak su akışı $Q_{sıcak} = Q_{maks} * C_{sıcak}$, soğuk su akışı $Q_{soğuk} = Q_{maks} * C_{soğuk}$ şeklinde tanımlanmıştır. Burada Q_{maks} pompa kapasitesini; $C_{sıcak}$ ve $C_{soğuk}$ kontrol valflerinin (0-1) aralığındaki açıklık oranını göstermektedir. Tanka giren toplam su akış miktarı



Şekil 1. Sistemin Genel Yapısı

$Q_{giris} = Q_1 + Q_2$, karışım suyunun sıcaklığı T ve tanktan çıkan suyun akış miktarı ise $Q_{çıkış}$ şeklinde tanımlanmıştır.

Tanktaki suyun seviyesini ve sıcaklığını denetlemek amacıyla, sistemin durum değişkenlerini içeren diferansiyel denklemler ve sistemin matematiksel modeli Denklem 1, 2 ve 3'te verilmiştir [4, 5-9].

$$Q_{çıkış} = a\sqrt{2gh} \quad (1)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{sıcak} + Q_{soğuk} - Q_{çıkış}) \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{Ah} [Q_{sıcak} (T_1 - T) + Q_{soğuk} (T_2 - T)] \quad (3)$$

Burada h, tanktaki suyun yüksekliğini; A, tankın taban alanını göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan su karışım tankının yapısı ile ilgili değerler Tablo 1'de verilmiştir.

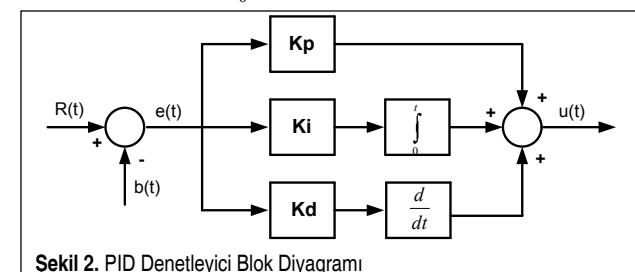
Tablo 1. Su Karışım Tankının Özellikleri

Açıklama	Sembol	Değer
Taban Alanı	A	2 m ²
Çıkış Ağız Kesiti	a	0,025 m ²
Yükseklik	H	2 m
Yer Çekim İvmesi	g	9,82 m/s ²
Başlangıç Seviyesi	h ₀	0.1 m
Pompa Kapasitesi	Q _{maks}	0,25 m ³ /s
Sıcak Su Sıcaklığı	T ₁	70 °C
Soğuk Su Sıcaklığı	T ₂	5 °C
Başlangıç Sıcaklığı	T ₀	10 °C

3. PID DENETİM

PID denetleyiciler, dayanıklı ve etkin performansları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda en sık kullanılan denetleyicilerdir. PID denetleyiciyi oluşturan oransal (P), integral (I), türev (D) kazanç parametrelerinin her biri sistemin çalışmasına çeşitli şekillerde etki etmektedir. PID denetleyiciyi oluşturan kısımların her biri birer kazanç katsayısı ile yönetilir. Bu kazanç katsayıları her sistem için ayrı değerler almaktadır. Şekil 2'de, PID denetleyiciye ait denetim blok diyagramı verilmiştir. PID denetleyicinin çıkışı Denklem 4'te ifade edilmektedir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4)$$



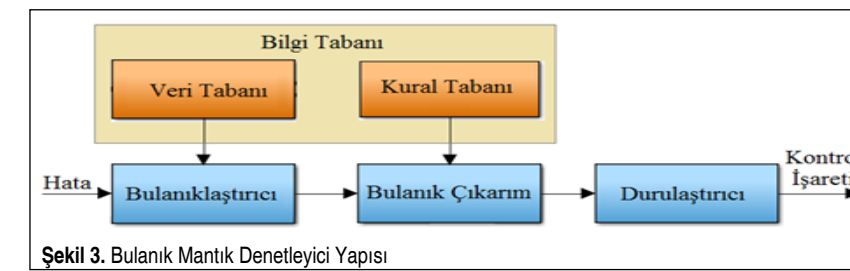
Şekil 2. PID Denetleyici Blok Diyagramı

Tablo 2. P, I ve D Ayarlarının Bağımsız Olarak Etkileri

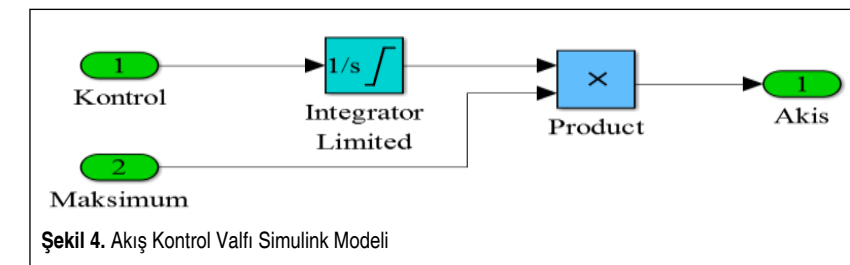
	Yükselme Zamanı	Aşım	Yerleşme Zamanı	Süreklilik Durum Hatası
Kp	Azalar	Artar	Az artar	Azalar
Ki	Az artar	Artar	Artar	Çok azalar
Kd	Az değişir	Azalar	Azalar	Önemsiz

Tablo 3. Z-N Metodu İçin P, I ve D Parametrelerinin Hesaplanması

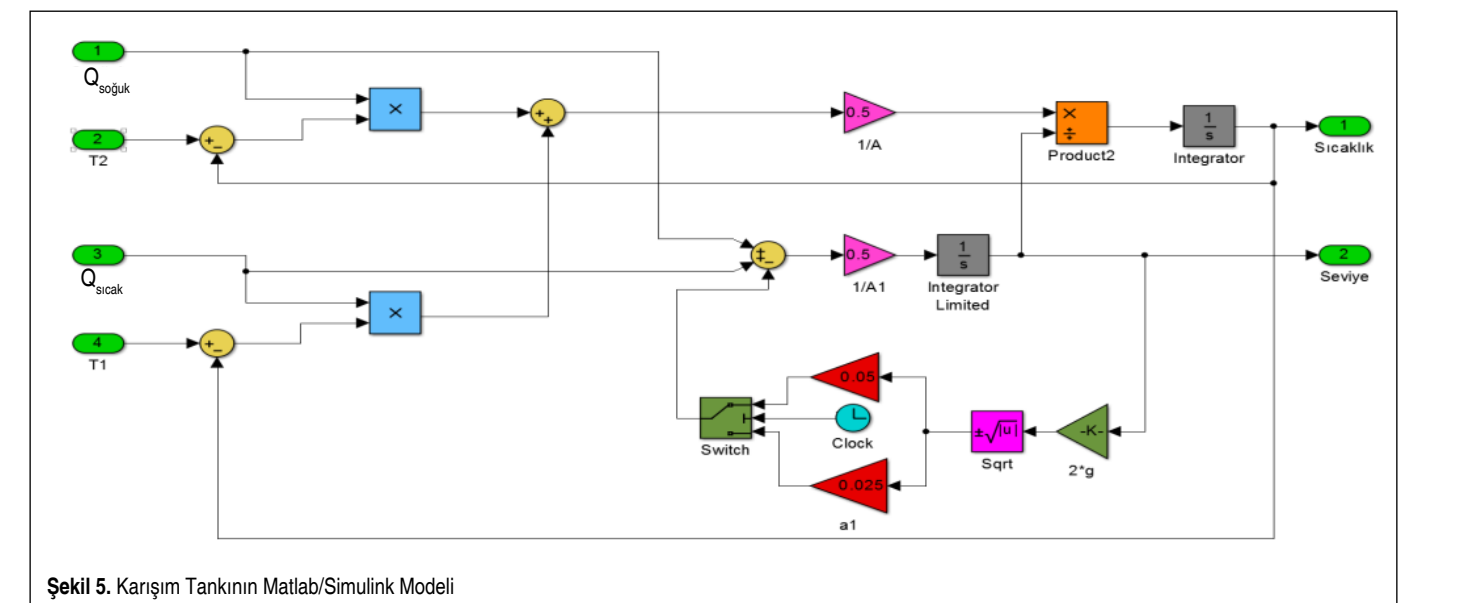
Denetleyici	Kp	Ki	Kd
P	Ku/2	-	-
PI	Ku/2,2	Pu/1,2	-
PID	Ku/1,7	Pu/2	Pu/8



Şekil 3. Bulanık Mantık Denetleyici Yapısı



Şekil 4. Akış Kontrol Valfi Simulink Modeli



Şekil 5. Karışım Tankının Matlab/Simulink Modeli

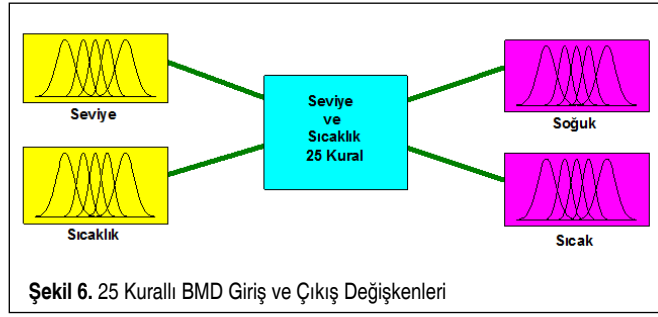
Tablo 2'de, PID kazanç değerlerinin sistemi nasıl etkilediği görülmektedir.

PID denetleyicinin parametrelerinin hesaplanmasında klasik yöntemlerden olan Z-N yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde oransal (P) kazanç değeri artırılarak sistem cevabının osilasyona girmesi sağlanır. Sistemin osilasyona girdiği andaki kazanç değeri osilasyon kazancı (Ku) olarak bulunur ve osilasyon periyodu (Pu) ile birlikte gerekli PID katsayıları Tablo 3'teki formüller kullanılarak hesaplanabilir [10].

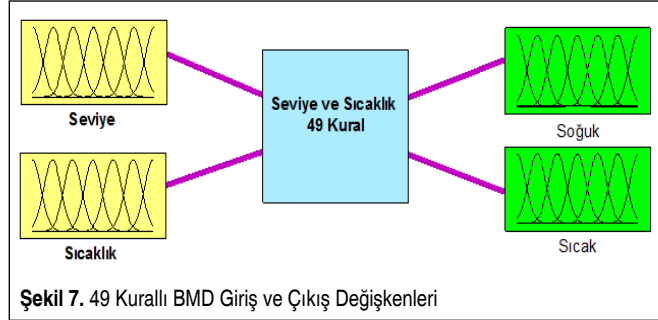
4. BULANIK MANTIK DENETİM

Bulanık mantık denetim algoritması, sezgisel denetim kurallarını içermektedir. Dilsel niteleyicileri ifade etmek için bulanık kümeler kullanılmaktadır. Genel bir bulanık mantık denetleyici blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Bulanık mantık denetleyici, bulandırma birimi, bulanık çıkarım birimi, durulama birimi ve bilgi tabanı olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur. Genel bir bulanık mantık denetleyici blok diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürür. Bulanık çıkarım birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde işleyerek bulanık sonuçlar üretir. Girişler ve çıkışlar arasındaki ilişki, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Bu kurallar eğer-ise mantıksal ifadeleri kullanılarak oluşturulur. Bu birimde elde edilen değer kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir. Durulama birimi, karar verme biriminden ge-

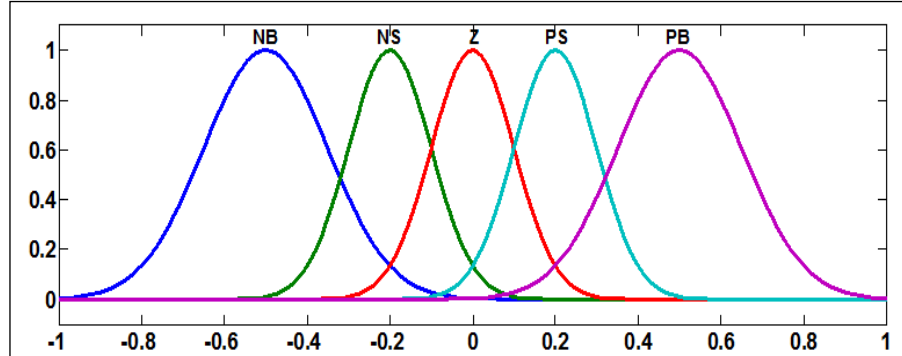


Şekil 6. 25 Kurallı BMD Giriş ve Çıkış Değişkenleri

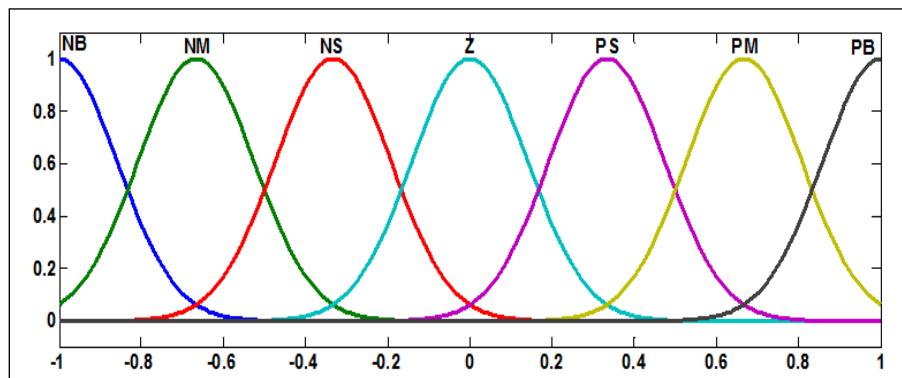


Şekil 7. 49 Kurallı BMD Giriş ve Çıkış Değişkenleri

len bulanık bir bilgidен bulanık olmayan gerçek değerin elde edilmesini sağlar. Bilgi tabanı, denetlenecek sistemle ilgili bilgileri içeren bir veri tablosudur [11-12].



Şekil 8. Beş Dilsel Değişkenli Gauss Üyelik Fonksiyonları



Şekil 9. Yedi Dilsel Değişkenli Gauss Üyelik Fonksiyonları

5. SİSTEMİN MATLAB/SİMULİNK MODELİ

Bu çalışmada, Matlab/Simulink benzetim programı aracılığıyla sıvı karışım tankının modeli oluşturulmuştur. Tanka giren suyun akış miktarını denetlemek için kullanılan akış kontrol valfinin simulink modeli Şekil 4'te, karışım tankının Matlab/Simulink modeli ise Şekil 5'te gösterilmiştir [13-14].

Bulanık mantık denetleyicinin tasarım aşamasında, giriş ve çıkış değişkenlerinin, bulanık kümelerin, kuralların, bulanık çıkarım tipinin ve durulama işleminin belirlenmesi gerekmektedir. Bulandırma işleminde giriş ve çıkış değişkenleri sembolik ifadelerle dönüştürülmektedir. Denetleyicinin dilsel değişkenleri NB (Negatif Büyük), NS (Negatif Küçük), NM (Negatif Orta), Z (Sıfır), PS (Pozitif Küçük), PM (Pozitif Orta), PB (Pozitif Büyük) şeklinde kullanılmıştır. 25 kurallı BMD'nin giriş ve çıkış değişkenleri Şekil 6'da, 49 kurallı BMD'nin giriş ve çıkış değişkenleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada, denetleyici için iki giriş seçilmiştir. Bu girişler seviye hatası (e_1) ve sıcaklık hatası (e_2) parametreleridir. k iterasyon sayısını göstermek üzere seviye ve sıcaklığa ait hatanın ifadesi Denklem 5 ve 6'da verilmiştir.

$$e_1(k) = h_{ref}(k) - h(k) \quad (5)$$

$$e_2(k) = t_{ref}(k) - t(k) \quad (6)$$

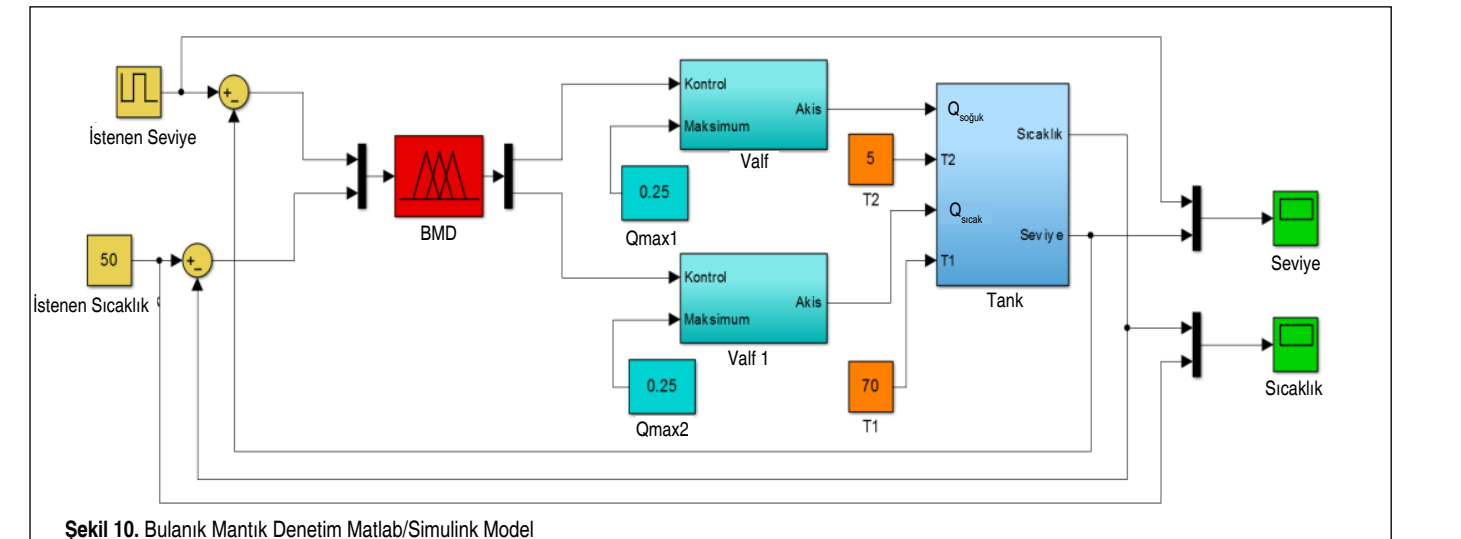
Üyelik fonksiyonlarının seçimi tamamen keyfi olmakla birlikte, üçgen, yamuk, sinüsoid, cauchy, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir. Bu çalışmada, girişler ve çıkışlar için kullanılan gauss üyelik fonksiyonları Şekil 8 ve Şekil 9'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 25 Kurallı Bulanık Kural Tablosu

		Hata (Sıcaklık)				
		NB	NS	Z	PS	PB
Hata (Seviye)	NB	Z	NS	NB	NB	NB
	NM	NB	NB	NB	NS	Z
	NS	PS	Z	NS	NB	NB
	Z	NB	NB	NS	Z	PS
PS	PS	PB	PB	PS	Z	NS
	PM	NS	Z	PS	PB	PB
	PB	PB	PB	PB	PS	Z

Tablo 5. 49 Kurallı Bulanık Kural Tablosu

		Hata (Sıcaklık)						
		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
Hata (Seviye)	NB	Z	NS	NB	NB	PB	PM	PS
	NM	NB	NB	NB	NS	Z	PS	PM
	NS	PS	Z	NS	NB	NB	PS	NS
	Z	NB	NB	NS	Z	PS	PM	PB
PS	PS	PB	PS	Z	PM	PS	NS	NM
	PM	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PS
	PB	PB	PB	PS	PS	NS	NM	NB
PM	PS	PB	PM	PS	PS	Z	NS	NM
	PM	Z	PS	PM	PB	NB	NM	NS
	PM	PM	PS	NS	NM	PS	Z	NM
	PM	PS	PM	PB	Z	PS	NB	NS
PB	PS	PS	NS	NM	PM	Z	PS	Z
	PB	PM	PB	Z	PS	PM	NS	NB



Şekil 10. Bulanık Mantık Denetim Matlab/Simulink Modeli

9'da verilmiştir [15]. Bulanık denetleyicide üyelik fonksiyonlarının tanım uzayı sistem cevabını doğrudan etkilemektedir. Gauss bir olasılık fonksiyonu olduğu için denetim sisteminin başarısı için bu üyelik fonksiyonu seçilmiştir.

Bulanık çıkarım biriminde girişlerin çıkış ile ilişkisi kural tabanındaki kurullarla sağlanır. Kural tabanı oluşturulurken aynı dilsel değişkenlerin mümkün olduğunca simetrik olmasına dikkat edilir. Bir bulanık denetim algoritması evrensel kümedeki herhangi bir giriş için uygun bir denetim işlevi çıkarabilmelidir. Bu özellik, bütünlük olarak adlandırılmaktadır. Bu bütünlük özelliği genellikle her bir giriş değerinin en az bir bulanık kümede yer alması için bulanık kümelerin iç içe geçmesini ve düzgün bir denetim uzayı elde etmeyi amaçlamaktadır [16]. Bu çalışmada, FUZZY/FIS/Rule editöründe 25 ve 49 kural olmak üzere iki ayrı kural tabanı kullanılmıştır. Kural tabloları Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Durulama biriminde, her kural için seviyedeki ve sıcaklıktaki hatanın üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değer en az üyelik ağırlığı ve buna göre çıkışların üyelik değerleri tespit edilmektedir. Durulama biriminin çıkışındaki sayısal değer, sisteme uygulanan gerçek değerdir. Sıvı karışım tankının bulanık mantık denetleyici ile sıcaklık ve seviye denetim sisteminin oluşturulduğu Matlab/Simulink model, Şekil 10'da gösterilmiştir.

6. PID DENETLEYİCİ TASARIMI

Tanka giren sıcak su ve soğuk suyun akış miktarı denetimi için iki ayrı PID denetleyici tasarlanmıştır. PID denetleyicinin K_p , K_i , K_d kazanç parametreleri Z-N metodu ile $K_p=0.5$, $K_i=0.00003$, $K_d=5$ olacak şekilde hesaplanmıştır. Sıvı karışım tankının iki ayrı PID denetleyici ile sıcaklık ve seviye denetim sisteminin oluşturulduğu Matlab/Simulink model, Şekil 11'de gösterilmiştir.

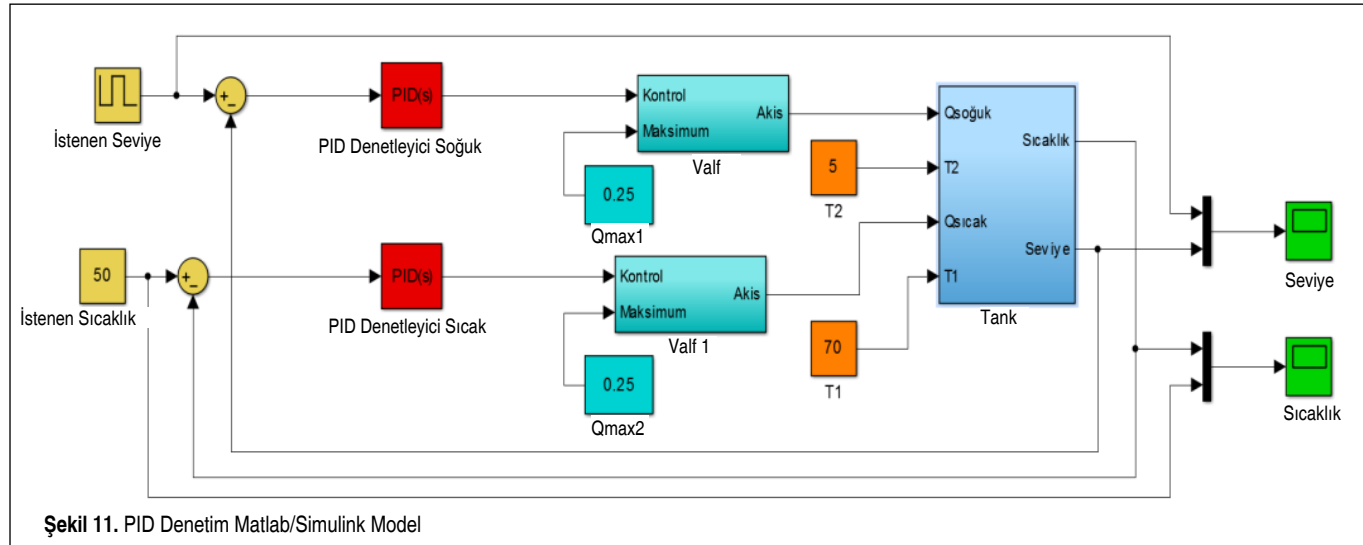
7. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Karışım tankında başlangıçta 0.1 m yükseklikte 10°C sıcaklığında su bulunmaktadır. Karışım tankına 70°C'lik sıcak su ve 5°C'lik soğuk su pompalar ile verilmektedir. Değişken referans seviye ve sabit referans sıcaklık ile denetimin yapılması amaçlanmıştır. Referans sıvı seviyesindeki değişim ve çıkış vanasının açıklık oranındaki değişim bozucu etki olarak düşünülmüştür. Karışım tankının seviye ve sıcaklık denetiminde iki ayrı PID denetleyici ve kural tabanlı farklı bulanık mantık denetleyici tasarlanarak denetleyicilerin dinamik performansı incelenmiştir. Şekil 12'de, seviye denetimi için denetleyicilerin performansı verilmiştir.

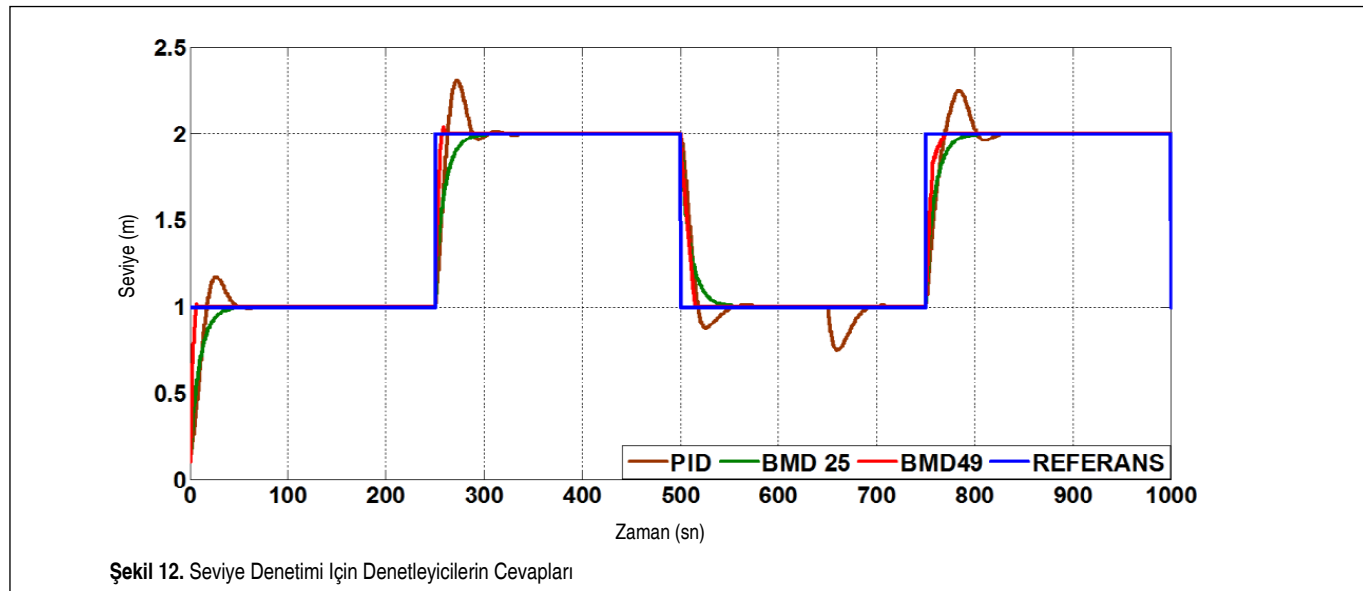
Seviye denetimi için tasarlanan 49 kurallı bulanık mantık denetleyicisi en iyi tepki hızına sahiptir. Sistem için boşaltma vanasının açıklık ayarı 650. saniyede %100 arttırılmıştır. Bu koşulda, 25 kurallı ve 49 kurallı bulanık mantık denetleyiciler

bozucu etkiyi anında karşılarken, PID denetleyici ise anında karşılayamamıştır. PID denetleyici seviye değişimlerinde aşım yapmıştır. Şekil 13'te, sıcaklık denetimi için tasarlanan 49 kurallı bulanık mantık denetleyicisinin cevabı; Şekil 14'te, sıcaklık denetimi için tasarlanan 25 kurallı bulanık mantık denetleyicisinin cevabı; Şekil 15'te ise sıcaklık denetimi için tasarlanan PID denetleyicinin cevabı verilmiştir.

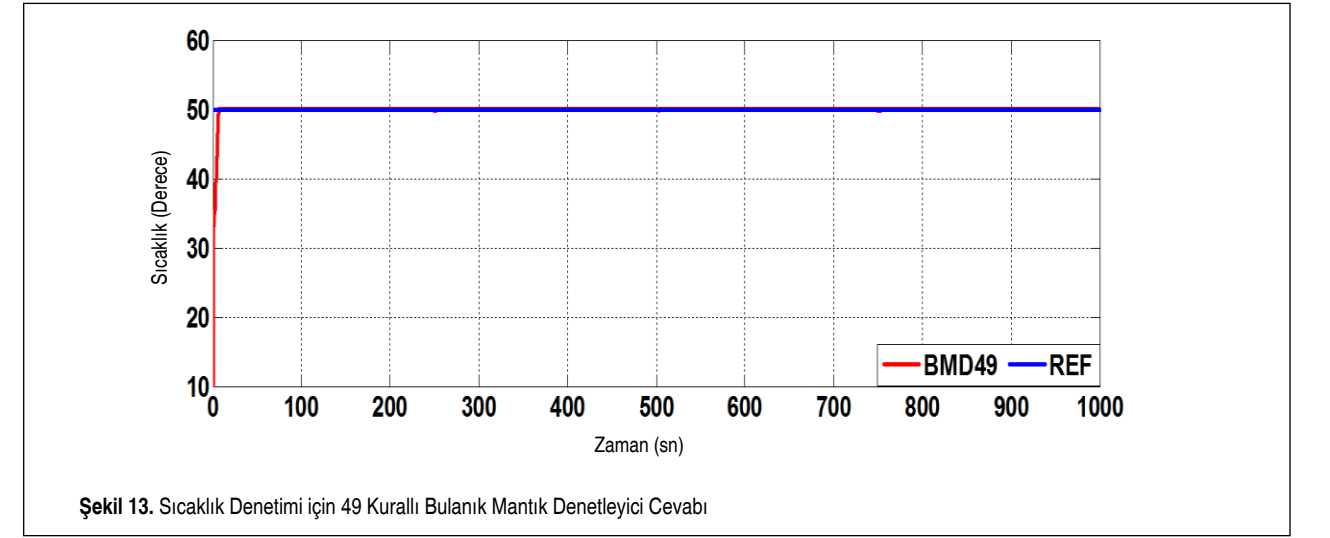
Sıcaklık denetimi için tasarlanan 49 kurallı bulanık mantık denetleyicisi en iyi tepki hızına sahiptir. Sistem için boşaltma vanasının açıklık ayarı 650. saniyede %100 arttırılırken 49 kurallı bulanık mantık denetleyicide aşım gözlenmemiş olup, 25 kurallı bulanık mantık denetleyici ve PID denetleyicide hafif aşım gözlenmiştir. 49 kurallı bulanık mantık denetleyici, seviye değişimlerinin sıcaklık denetiminde oluşturduğu bozucu etkilere karşı diğer denetleyicilere göre daha dayanıklı bir performans göstermiştir.



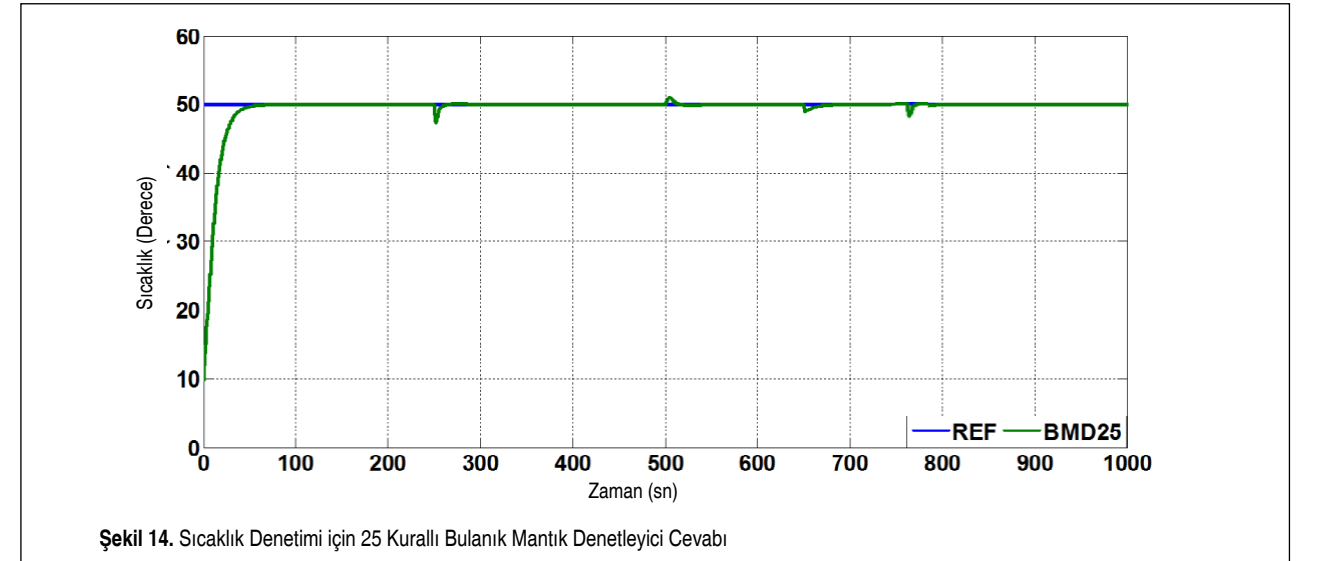
Şekil 11. PID Denetim Matlab/Simulink Model



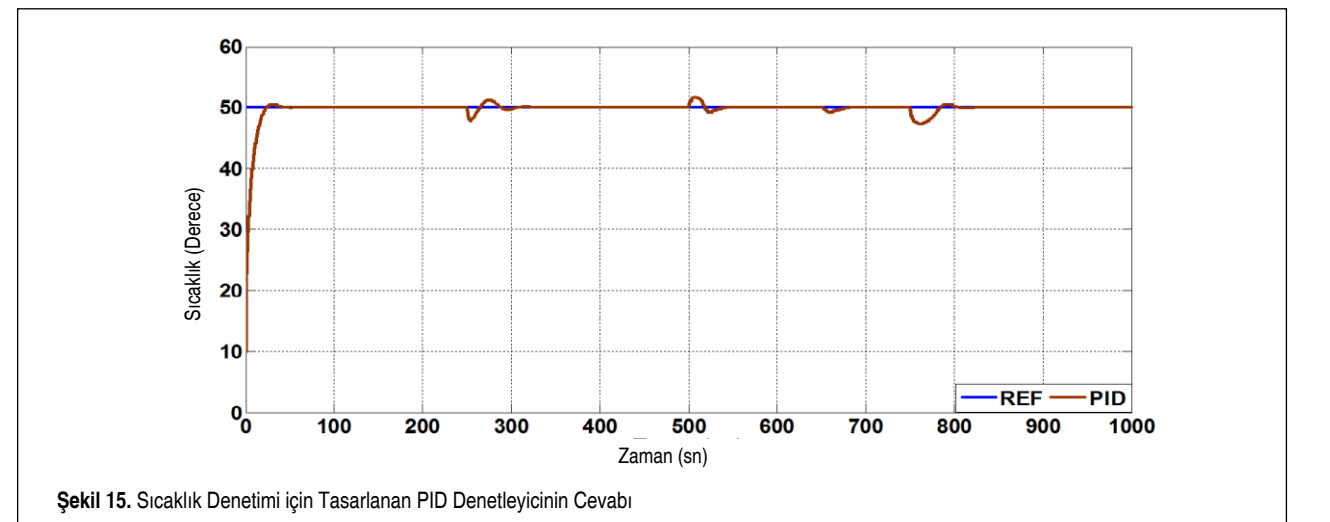
Şekil 12. Seviye Denetimi İçin Denetleyicilerin Cevapları



Şekil 13. Sıcaklık Denetimi için 49 Kurallı Bulanık Mantık Denetleyici Cevabı



Şekil 14. Sıcaklık Denetimi için 25 Kurallı Bulanık Mantık Denetleyici Cevabı



Şekil 15. Sıcaklık Denetimi için Tasarlanan PID Denetleyicinin Cevabı

8. SONUÇ

Klasik denetim sistemleri değişen durum şartlarında istenen performans özelliklerini göstermeyebilir. Bu sistemleri değişen durum şartlarına uygun şekilde modellemek oldukça güçtür. Bulanık mantığın en büyük özelliği, denetleyiciye insan gibi düşünme kabiliyeti kazandırmasıdır. Böylelikle denetleyici, değişen durum şartlarına göre kendini ayarlayabilmekte ve hatayı azaltacak şekilde davranarak en iyi sonucu verebilmektedir. Sonuç olarak, karışım tankı sistemi seviye ve sıcaklık denetimi için farklı kural tabanlı bulanık mantık denetleyiciler PID denetleyicilere göre daha başarılıdır. 49 kurallı bulanık mantık denetleyici, kural tabanının etkinliği sayesinde 25 kurallı bulanık mantık denetleyiciye göre gerek bozucu etkileri karşılamada, gerekse tepki hızı açısından daha dayanıklı bir dinamik performans göstermiştir.

KAYNAKÇA

1. **Gültekin, S. S.** 2007. "Seviye ve Sıcaklık Kontrol Sistem Tasarımı," Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, cilt 6, sayı 3, ISSN: 1302/6178.
2. **Şahin, S.** 2012. "Endüstriyel Otomasyon Eğitimi İçin Lookout Yazılım Tabanlı Sıvı Karışım Süreci Tasarımı," SDU Teknik Bilimler Dergisi, cilt.2, sayı 1, s. 42-45.
3. **Elmas, Ç.** 2011. Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara.
4. **Güneş, M., Arslan, S., Bay, A. E.** 2013. "Çok Fonksiyonlu Bir Elektronik Pülverizatörde İlaçlama İşleminin Optimal ve Bulanık Kontrolü," KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 16, sayı 2.
5. **Özçalık, H. R., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., Gani, A.** 2013. "Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetiminde Farklı Üyelik Fonksiyonlarının Denetim Performansına Etkisinin İncelenmesi," Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2013, 26-28 Eylül 2013, Malatya, s. 243-247.
6. **Shahgholian, G., Movahedi, A.** 2011. "Modeling and Controller Design Using ANFIS Method for Non-Linear Liquid Level System," International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 1, no. 3.
7. <http://wikis.controltheorypro.com/images/MIMO>, son erişim tarihi: 15.9.2014.
8. **Engin, S. N., Kuvulmaz, J., Ömürlü, V. E.** 2004. "Fuzzy Control of an ANFIS Model Representing a Nonlinear Liquid-Level System," Neural Computer & Application, vol 13, p. 202-210.
9. **Kılıç, E., Özbalcı, Ü., Özçalık, H. R.** 2012. "Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesinde MLP ve RBF Yapılarının Karşılaştırılması," ELECO 2012, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29 Kasım-1 Aralık 2012, Bursa, s. 694-698.
10. **Açıkgöz, H., Gani, A., Keçecioglu Ö. F., Şekmeli, M.** 2014. "Sıvı Sıcaklık Denetiminde PSO Tabanlı PID Denetleyicinin Başarımının İncelenmesi," Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK 2014, 11-13 Eylül 2014, Kocaeli.
11. **Jiang, W.** 2011. "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank," Journal of Software, vol. 6, no. 6.
12. **Gani, A., Açıkgöz, H., Kılıç, E., Şit, S.** 2014. "Ters Sarkacın Bulanık Mantık Esaslı Denetimi," ELECO 2014, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
13. **Ahmad, D., Ahmad, A., Redhu, V., Gupta, U.** 2012. "Liquid Level Control by Using Fuzzy Logic Controller," International Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 4, issue 1, ISSN: 2231-1963.
14. **Berk, P., Stajniko, D., Vindis, P., Mursec, B., Lakota, M.** 2011. "Synthesis Water Level Control by Fuzzy Logic," Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 45, issue 2.
15. **Akyazi, Ö., Usta, M. A., Akpınar, A. S.** 2011. "Kapalı Ortam Sıcaklık ve Nem Denetiminin Farklı Üyelik Fonksiyonları Kullanılarak Gerçekleştirilmesi," 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ.
16. **Lee, C. C.** 1990. "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part 1," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 20 (2), p. 404-418.