PID ve Bulanık Mantık Denetimli Karışım Tankı Sisteminin Modellenmesi ve Dinamik Performans Analizi

Ahmet GANİ[*], Hakan AÇIKGÖZ[**], Ö. Fatih KEÇECİOĞLU[*], Mustafa ŞEKKELİ[*]

* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
ahmetgani8733@gmail.com,o.fatihkececioglu@gmail.com, msekkeli@ksu.edu.tr

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

Özet:

Endüstriyel tesislerde su ve benzeri likitlerin doldurulduğu depolarda sıvı seviye denetimi ve sıvı sıcaklık denetiminin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. İnceleyeceğimiz problem çok girişli ve çok çıkışlı doğrusal olmayan bir sistem olan sıvı karışım tankının seviye ve sıcaklık denetimini amaçlamaktadır. Bu çalışmada sıvı karışım tankının sıvı seviye ve sıcaklık denetimi PID ve bulanık mantık denetleyiciler kullanılarak MATLAB/Simulink benzetim programı ile yapılmıştır. Bu sıvı karışım tankına iki pompa vasıtasıyla sıcak ve soğuk su akışı sağlanmaktadır. Suyun akış miktarı valfler ile kontrol edilerek, tankta istenilen su sıcaklığı ve seviyesi elde edilmektedir. Sistemi kontrol etmek amacıyla için iki girişli iki çıkışlı iki ayrı PID denetleyici ve tek bulanık mantık esaslı denetleyici geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık Denetim, PID Denetim, Karışım Tankı.

Abstract:

In industrial plants, liquid temperature control and fluid temperature control must be made accurately in warehouses where water and the like which is filled with liquid. We examine the problem of system that a non-linear multi-input and multi-output liquid mixture tank aims to control the liquid level and temperature. In this study, the liquid mixture tank liquid level and temperature control was performed using with PID and fuzzy logic controller MATLAB/ Simulink simulation program. Hot and cold water flow is provided to the liquid mixture tank through two water pumps. Desired water temperature and level in the tank is obtained thanks to the water flow with controlling valves. A two-input two-output two different PID controller and the only one fuzzy logic based controller has been developed in order to control the system.

Key Words: Fuzzy Logic Control, PID Control, Liquid Mixture Tank.

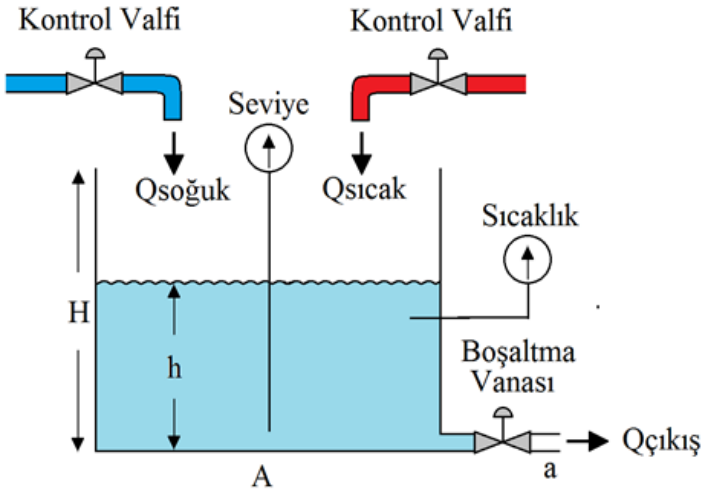
1. GİRİŞ:

Sıvı karışım tanklarının seviye ve sıcaklık denetimi , gıda sanayi, tarımsal ilaçlama, tekstil, atık su arıtma, süt üretimi, nükleer enerji üretimi, petrokimya endüstrisi, kimyasal süreçler ve ilaç sanayi gibi endüstriyel uygulamalar için çok önemlidir. Birçok endüstriyel tesiste sıvı sıcaklık ve sıvı seviye denetimi sistem yapısının en önemli parçasıdır. Bu tesisler için bazı durumlarda sıvı sıcaklığının ve sıvı seviye denetiminin optimum şekilde yapılamaması maddi ve manevi zararlara yol açabilir[1]. İki veya daha fazla sıvının karışımından oluşan endüstriyel sıvı karıştırma süreçleri kontrol ve otomasyon sistemleri ile denetlenmektedir[2]. Bulanık mantık denetim ve geleneksel denetim yöntemleri birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde klasik denetleyicilerin performansı düşüktür. Bulanık mantık esaslı denetleyiciler ile bu tip sistemlerin denetiminde daha başarılıdır[3]. Bu çalışmada iki girişli ve iki çıkışlı bir sıvı karışım tankı PID denetleyiciler ve bulanık mantık esaslı denetleyici ile MATLAB/Simulink benzetim programında modellenmiştir. Denetleyicilerin dinamik performansı simülasyon ortamında test edilmiştir.

2. SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada dikdörtgen prizma şeklinde bir su tankı kullanılmıştır. Su tankına 0,25 m^3/s debiyle çalışan pompalar vasıtasıyla sıcak su ve soğuk su verilmektedir. Tanka giren sıcak ve soğuk suyun akış miktarı, istenilen su seviyesine ve su sıcaklığına göre denetleyiciler tarafından kontrol valfleri ayarlanarak yapılmaktadır. Tanktan su çıkışı için kullanılan boşaltma vanasının ayarı ise kullanıcı tarafından yapılmaktadır. Sıvı karışım tankı sisteminin genel yapısı şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1: Sistemin genel yapısı



Karşım 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 $Q_{giris}=Q_1+Q_2$, karışım suyunun sıcaklığı T ve akış miktarı ise Q_{cikis} şeklinde tanımlanmıştır.
Tanktaki suyun seviyesini ve sıcaklığını kontrol etmek amacıyla sistemin durum değişkenlerini içeren diferansiyel denklemler ve sistemin matematiksel modeli denklem 1,2 ve 3'te verilmiştir[4,5-9].

$$Q_{cikis} = a\sqrt{2gh} \tag{1}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A}(Q_{sicak} + Q_{soguk} - Q_{cikis}) \tag{2}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{Ah}\left[Q_{sicak}(T_1 - T) + Q_{soguk}(T_2 - T)\right] \tag{3}$$

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

Tablo1: Su karışım tankının özellikleri

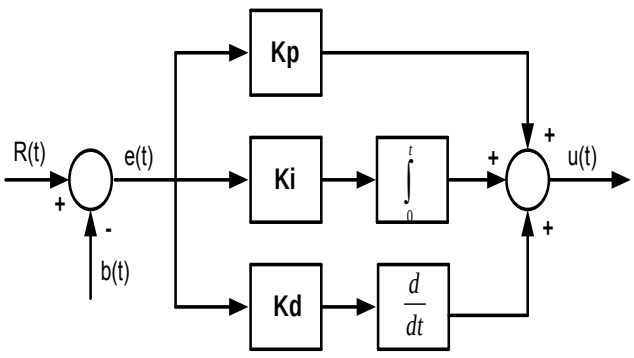
Açıklama	Sembol	Değer
Taban alanı	A	1 m^2
Çıkış ağzı kesiti	a	0,0025 m^2
Yükseklik	H	2 m
Yer çekim ivmesi	g	9,82 m/s^2
Başlangıç seviyesi	h_0	0.1 m
Pompa kapasitesi	Q_{maks}	0,25 m^3/s
Sıcak su sıcaklığı	T_1	70 ºC
Soğuk su sıcaklığı	T_2	5 ºC
Başlangıç sıcaklığı	T_0	10 ºC

3. PID DENETİM

PID denetleyiciler, dayanıklı performans ve basit yapıları nedeniyle denetim sistemlerinde 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 yönetilirler. Bu kazanç katsayıları her sistem için ayrı değerler almaktadırlar. Şekil 2'de PID denetleyiciye ait denetim blok diyagramı verilmiştir. PID denetleyicinin çıkışı denklem 4'de ifade edilmektedir.

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

Şekil 2: PID denetleyici blok diyagramı



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

Tablo 2: P,I ve D ayarlarının bağımsız olarak etkileri

	Yükselme Zamanı	**Aşım**	**Yerleşme zamanı**	**Sürekli durum hatası**
Kp	Azalır	Artar	Az artar	**Azalır**
Ki	Az artar	Artar	Artar	**Çok azalır**
Kd	**Az değişir**	**Azalır**	**Azalır**	**Önemsiz**

PID denetleyicinin parametrelerinin hesaplanmasında geleneksel yöntemlerden olan Z-N yöntemi sıkılıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde oransal (P) kazanç değeri arttırılarak sistemin cevap eğrisinin osilasyona girmesi sağlanır. Sistemin osilasyona girdiği andaki kazanç değeri osilasyon kazancı (K_u) olarak ifade edilir ve osilasyon periyodu (P_u) ile kullanılarak gerekli PID katsayıları Tablo 3'deki formüller kullanılarak hesaplanabilir[10].

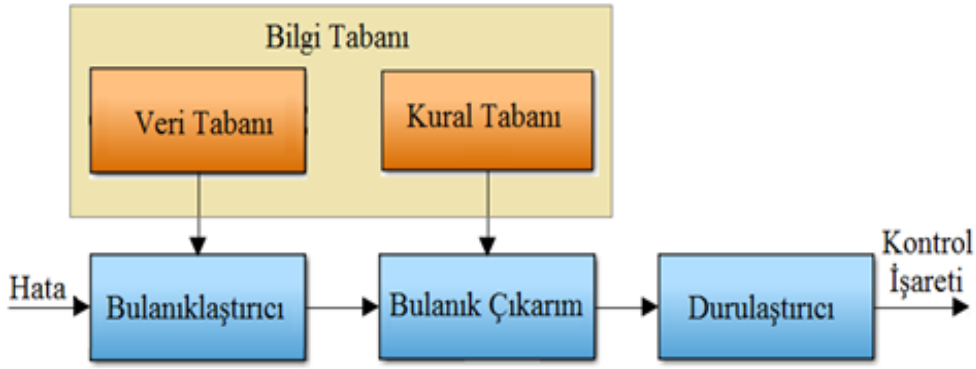
Tablo 3: Z-N metodu için P, I ve D parametrelerinin hesaplanması

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

4. BULANIK MANTIK DENETİM

BMD algoritması, sezgisel denetim kurallar kümesi içermektedir ve dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümeler ve kuralları değerlendirmek için bulanık mantık kullanılmaktadır. Genel bir BMD blok diyagramı şekil 3'de verilmiştir. BMD, genel yapısıyla bulandırma birimi, bulanık çıkarım birimi, durulama birimi ve bilgi tabanı olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur. Genel bir BMD blok diyagramı şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 3: Bulanık mantık denetleyici yapısı

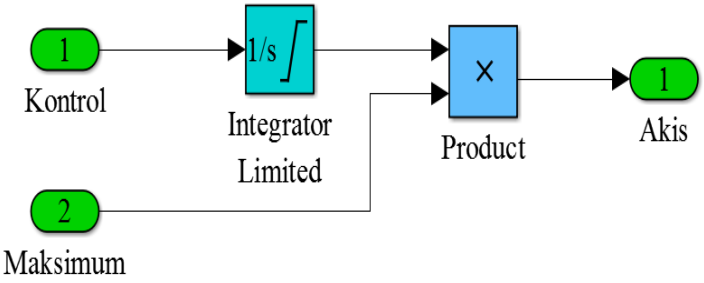


Bulandırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir.
Bulanık çıkarım birimi, bulandırma biriminden gelen bulanık değerleri, kural tabanındaki kurallar üzerinde uygulayarak bulanık sonuçlar üretilmektedir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Bu kurallar If-Then mantıksal ifadeleri kullanılarak oluşturulur. Bu birimde elde edilen değer kural tablosundan dilsel ifadeye çevrilir ve durulama birimine gönderilir. Durulama birimi, karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerin elde edilmesini sağlar. Durulama, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir.Bilgi tabanı, denetlenecek sistemle ilgili bilgilerin toplandığı bir veri tablosundan ibarettir[11-12].

5. SİSTEMİN MATLAB/SİMULİNK MODELİ

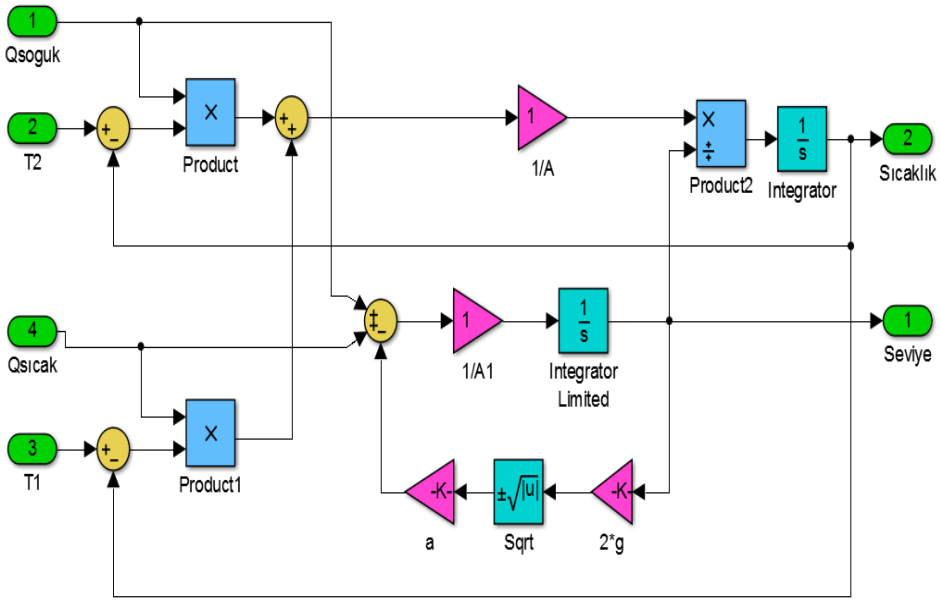
Bu çalışmada MATLAB/Simulink benzetim programı ile bütün sistem elemanlarının modelleri oluşturularak sıvı karışım tankının modeli elde edilmiştir. Tanka giren suyun akış miktarını kontrol etmek için kullanılan akış kontrol valfinin simulink modeli şekil 4'te gösterilmiştir[13-14].

Şekil 4: Akış kontrol valfi simulink modeli



Karışım tankının simulink modeli şekil 5'teki gibidir.

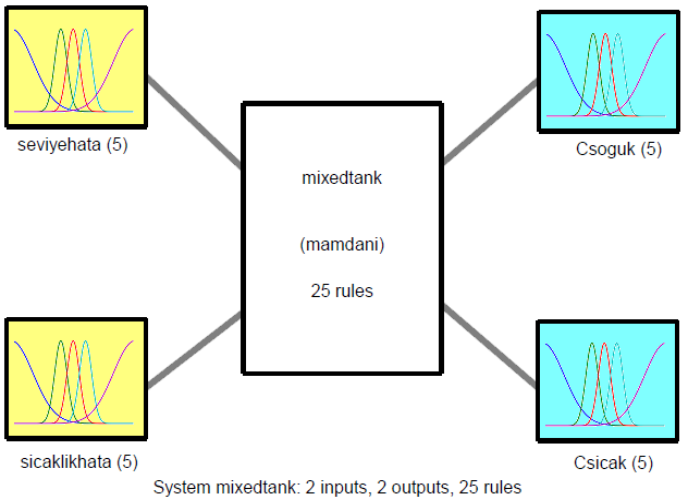
Şekil 5: Karışım tankının simulink modeli



6. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TASARIMI

BMD'nin tasarım aşamasında, giriş ve çıkış değişkenlerinin, bulanık kümelerin tanımlanmasının, kuralların, bulanık çıkarımın ve durulama işleminin belirlenmesi gerekmektedir.
Bulandırma işleminde giriş ve çıkış değişkenleri sembolik ifadelere dönüştürülmektedir. Denetleyicinin dilsel değişkenleri NB (Negatif Büyük), NK (Negatif Küçük), SS (Sıfır), PK (Pozitif Küçük), PB (Pozitif Büyük) şeklinde kullanılmıştır. BMD'nin giriş ve çıkış değişkenleri şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6: BMD giriş ve çıkış değişkenleri



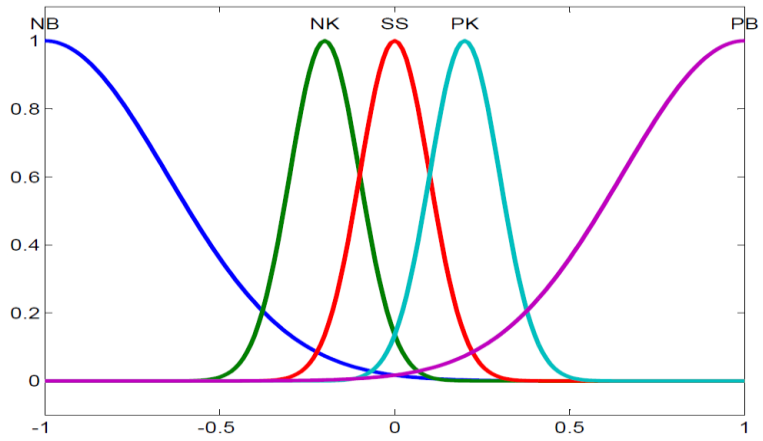
Bu çalışmada denetleyici için iki tane giriş seçilmiştir. Bu girişler seviye hatası (e_1) ve sıcaklık hatası (e_2) parametreleridir. k iterasyon sayısını göstermek üzere hatanın ifadesi denklem 5 ve 6'da verilmiştir.

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

$$e_2(k)= t_{ref}(k)-t(k-1) \quad (6)$$

Üyelik fonksiyonlarının seçimi tamamen keyfi olmakla birlikte üçgen, yamuk, sinüsoid, cauchy, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir. Bu çalışmada girişler ve çıkışlar için şekil 8'de gösterilen gaussian tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır[15-16].

Şekil 8: Üyelik fonksiyonları



Bulanık çıkarım biriminde girişlerin çıkış ile ilişkisi belirlenen kurallarla 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 belli bir yüzde ile iç içe geçmesini ve düzgün bir denetim uzayı elde etmeyi amaçlamaktadır[17]. FUZZY/FIS/Rule Editöründe 25 adet kural yazılmıştır. Kural tablosu tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Bulanık kural tablosu

Csoguk / Csıcak		Hata (Sıcaklık)				
		NB	**NK**	**SS**	**PK**	**PB**
Hata (Seviye)	**NB**	SS	NK	NB	NB	NB
		NB	NB	NB	NK	SS
	NK	PK	SS	NK	NB	NB
		NB	NB	NK	SS	PK
	SS	PB	PK	SS	NK	NB
		NB	NK	SS	PK	PB
	PK	PB	PB	PK	SS	NK
		NK	SS	PK	PB	PB
	PB	PB	PB	PB	PK	SS
		SS	PK	PB	PB	PB

Kurallar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Kural 1. EĞER (seviyehata=NB) ve (sıcaklıkhata=NB) ise O HALDE (Csoğuk=SS), (Csıcak=NB)'dir.

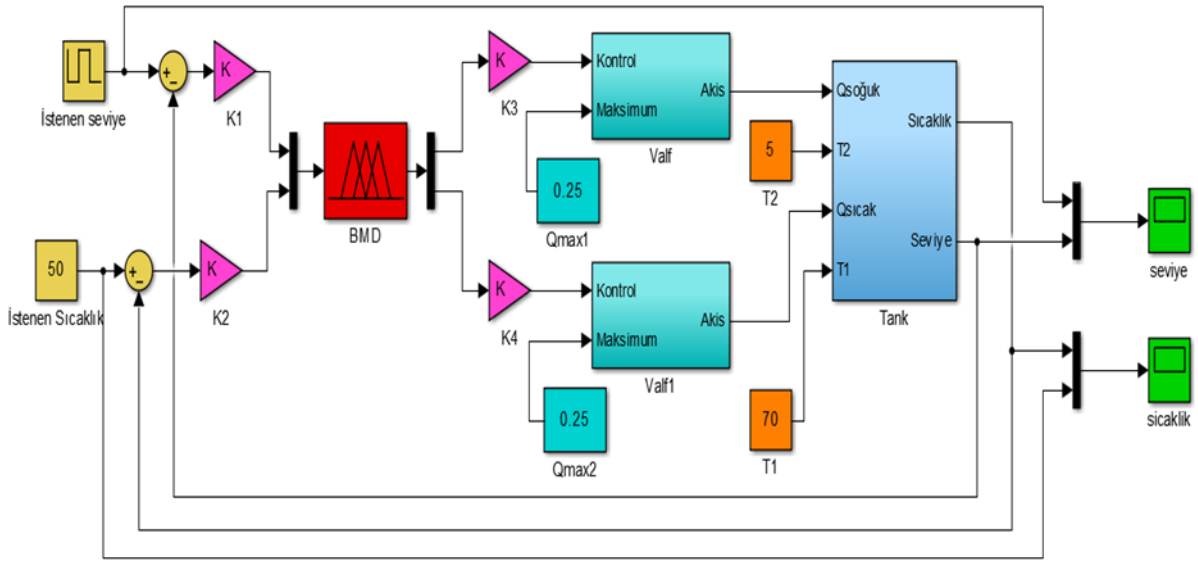
Kural 2. EĞER (seviyehata=NB) ve (sıcaklıkhata=NK) ise O HALDE (Csoğuk=NK), (Csıcak=NB)'dir.

Kural 25. EĞER (seviyehata=PB) ve (sıcaklıkhata=PB) ise O HALDE (Csoğuk=SS), (Csıcak=PB)'dir.

Durulama biriminde, her kural için seviyehata ve sıcaklıkhata'nın üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değerin 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 simulink model şekil 9'da gösterilmiştir.

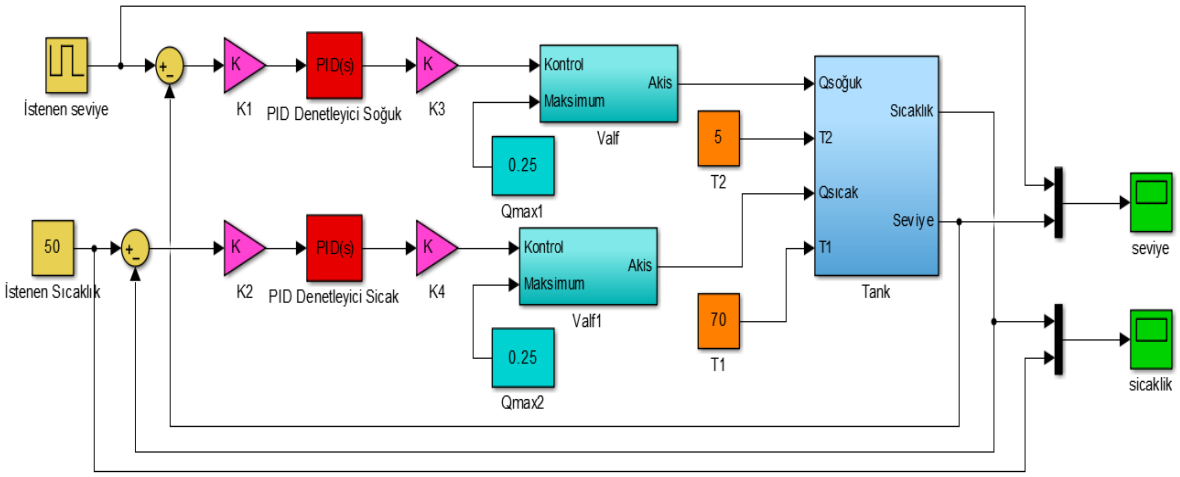
Şekil 9: Bulanık mantık denetim simulink model



7. PID DENETLEYİCİ TASARIMI

Tanka giren sıcak su ve soğuk suyun akış miktarı denetimi için iki ayrı PID denetleyici tasarlanmıştır. PID denetleyicinin Kp, Ki, Kd kazanç parametreleri Z-N metodu ile Kp=0.7 ,Ki=0.0004,Kd=5.5 olacak şekilde hesaplanmıştır. Sıvı karışım tankının iki ayrı PID denetleyici ile sıcaklık ve seviye denetim sisteminin oluşturulduğu simulink model şekil 10'da gösterilmiştir.

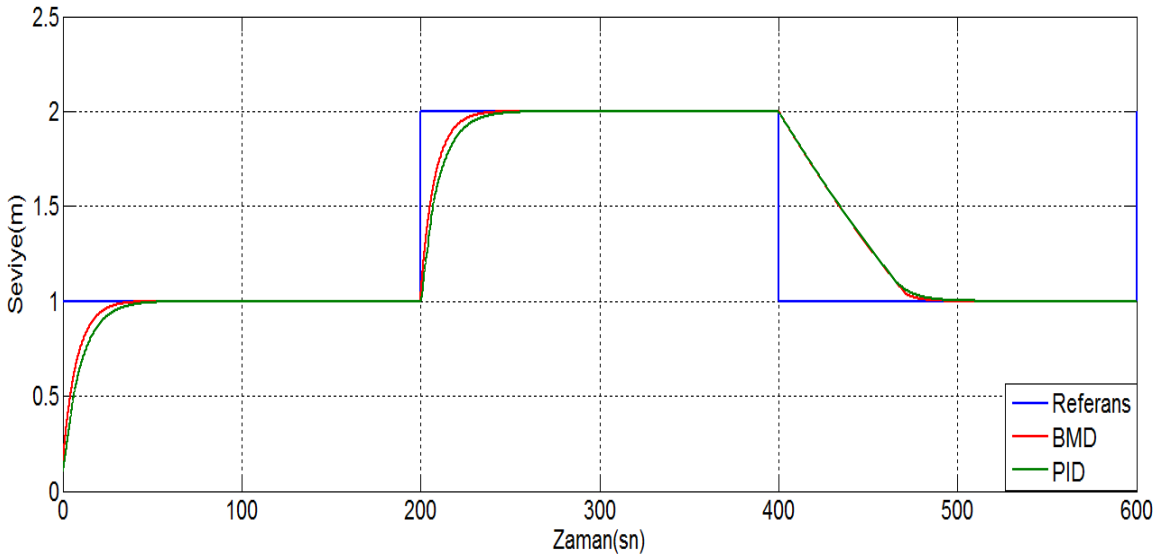
Şekil 10: PID Denetim Simulink Model



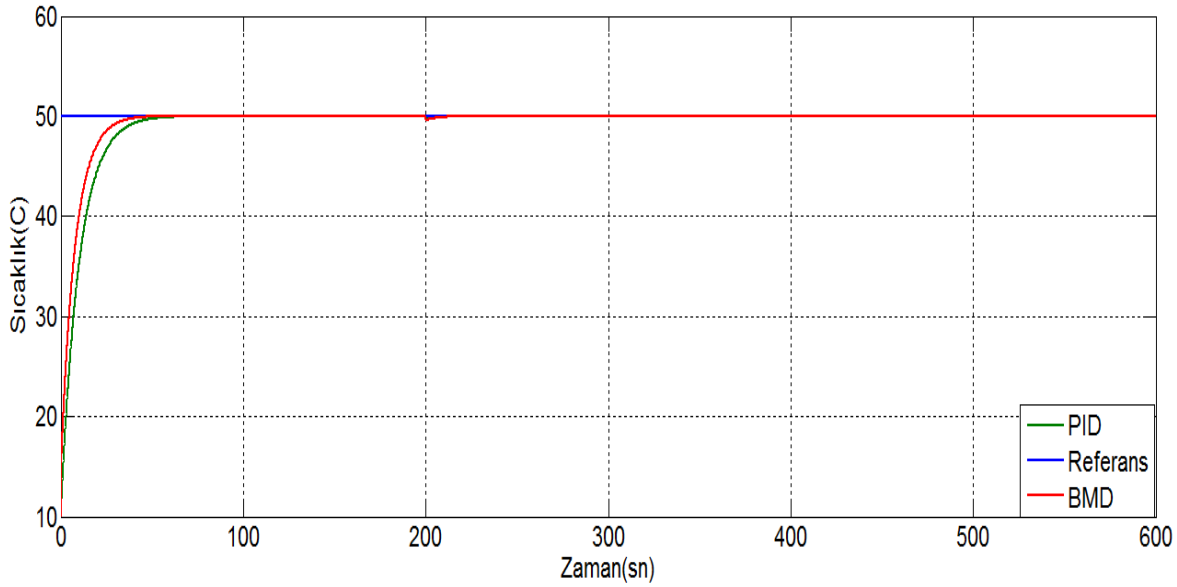
8. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Karışım tankında başlangıçta 0.1 m yükseklikte 10ºC sıcaklığında su bulunmaktadır. Karışım tankına 70^0C'lik sıcak su ve 5^0C'lik soğuk su pompalar ile verilmektedir. Değişken referans seviye, sabit referans sıcaklık sisteme verilmiştir. 200. saniyede seviyedeki değişim sıcaklık için bozucu etki oluşturmuştur. Seviye-zaman grafiği şekil 11'de, sıcaklık-zaman grafiği ise şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11: Seviye-zaman grafiği



Şekil 12: Sıcaklık-zaman grafiği



9. SONUÇLAR

Klasik kontrol sistemleri değişen durum şartlarında istenen performans özelliklerini göstermeyebilirler. Bu sistemleri değişen durum şartlarına göre modelleyerek uygun bir klasik kontrol sistem tasarımı 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. Çok girişli ve çok çıkışlı karışım tankı sistemi için iki girişli ve iki çıkışlı bulanık mantık denetleyici en az hata ile en iyi tepki hızını vermiştir. Bulanık mantık denetleyicinin doğrusal olmayan çok girişli çok çıkışlı sistemler için PID denetleyiciye göre daha uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR:

1. Gültekin, S.,S., "Seviye ve Sıcaklık Kontrol Sistem Tasarımı" Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi. Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Cilt 6, Sayı:3. ISSN 1302/6178,2007.
2. Şahin, S., "Endüstriyel Otomasyon Eğitimi İçin Lookout Yazılım Tabanlı Sıvı Karışım Süreci Tasarımı", SDU Teknik Bilimler Dergisi, Cilt.2, Sayı.1, SS.42-45, 2012.
3. Elmas, Ç., "Yapay Zeka Uygulamaları", Seçkin Yayıncılık, 2.Baskı, Ankara, 2011.
4. Güneş, M., Arslan, S., Bay, A.E., " Çok Fonksiyonlu Bir Elektronik Pülverizatörde İlaçlama İşleminin Optimal ve Bulanık Kontrolü", KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(2), 2013.
5. Özçalık, H.R., Kılıç, E., Yılmaz, Ş., Gani, A., "Bulanık Mantık Esaslı Sıvı Seviye Denetiminde Farklı Üyelik Fonksiyonlarının Denetim Performansına Etkisinin İncelenmesi", Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, 26-28 Eylül 2013, Malatya, S.243-247.
6. Shahgholian, G., Movahedi, A., "Modeling and Controller Design Using ANFIS Method for Non-Linear Liquid Level System", International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 1, No. 3, November 2011.
7. http://wikis.controltheorypro.com/images/MIMO-article.doc Access Time: 15.09.2014 14.20 PM.

8. Engin, S.N., Kuvulmaz, J., Ömürlü, V.E., "Fuzzy Control of an ANFIS Model Representing A Nonlinear Liquid-Level System" Neural Computer & Application (2004) 13:202-210.
9. Kılıç, E., Özbalcı, Ü., Özçalık, H.R., "Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesinde MLP ve RBF Yapılarının Karşılaştırılması", Eleco 2012 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, S.694-698, 29 Kasım – 01 Aralık 2012, Bursa.
10. J.G. Zigeler, N.B. Nichols, "Optimization Setting for Automatic Controller", Trans. ASME, Vol. 64, pp. 756-769, 1942.
11. Jiang, W., "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank", Journal of Software, Vol. 6,, No. 6, June 2011.
12. Jiang, W., "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank", Journal of Software, Vol. 6,, No. 6, June 2011.
13. Dharamniwas, Ahmad, A., Redhu, V., Gupta, U., "Liquid Level Control by Using Fuzzy Logic Controller", International Journal of Advances in Engineering & Technology, July 2012, ISSN: 2231-1963.
14. Jiang, W., "The Application of the Fuzzy Theory in the Design of Intelligent Building Control of Water Tank", Journal of Software, Vol. 6, No. 6, June 2011.
15. Berk, P., Stajnko, D., Vindis, P., Mursec, B., Lakota, M., "Synthesis Water Level Control by Fuzzy Logic", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 45, Issue 2, April 2011.
16. Akyazı, Ö., Usta, M.A., Akpınar, A.S., "Kapalı Ortam Sıcaklık ve Nem Denetiminin Farklı Üyelik Fonksiyonları Kullanılarak Gerçekleştirilmesi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
17. Gani, A., "Lineer Olmayan Dinamik Sistemlerin Denetiminde Bulanık Mantık Esaslı Yöntemlerin Performansının İncelenmesi" KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş-2014.