

## Öz Ayarlamalı Bulanık-PID Denetleyici İle Hidrolik Türbinin Benzetim Çalışması

\*<sup>1</sup>Hakan Açıkgoz, <sup>2</sup>Ö.Fatih Keçecioglu, <sup>2</sup>Mahit Güneş, <sup>2</sup>Mustafa Şekkeli

\*<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksekokulu Elektrik Programı Bölümü

<sup>2</sup>K.Maraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

### Özet

Ülkemizde son yıllarda enerji gereksiniminin hızla artması sonucunda akarsuların çoğunlukta olduğu bölgelerde hidroelektrik santrallerine (HES) ilgi oldukça artmıştır. Bir hidroelektrik santrali temel olarak, hidrolik türbinler, generatörler ve hız regülasyon sistemlerinden oluşur. Hız regülasyon sisteminin görevi, bağlı olduğu enterekte sistemden anlık olarak talep edilen enerjinin verilmesini sağlamaktır. Bu sistemde bulunan hız regülatörünün görevi ise, hidrolik türbine giren su miktarını kontrol eden ayar kanatlarının konumlarını ayarlamaktır. Hız regülatörleri, aktif güç ve sistem frekans parametrelerini referans olarak kontrol edilirler. Bu çalışmada bir hidroelektrik santralin modeli çıkarılmış ve tüm sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Hız regülasyon sistemine PID denetleyici ve Bulanık-PID denetleyici uygulanmıştır. Elde edilen benzetim çalışması sonuçlarına göre bulanık-PID denetleyicinin klasik PID denetleyiciye göre daha iyi hız cevabı verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrolik Türbin, PID Denetleyici, Bulanık Mantık, Bulanık-PID Denetleyici

## Simulation Study of Hydraulic Turbine by Using Self-Tuning Fuzzy PID Controller

\*<sup>1</sup>Hakan Açıkgoz, <sup>2</sup>Ö.Fatih Keçecioglu, <sup>2</sup>Mahit Güneş, <sup>2</sup>Mustafa Şekkeli

\*<sup>1</sup>Kilis 7 Aralık University, Kilis Vocational High School, Department of Electrical Science

<sup>2</sup>K.Maraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronic Engineering

### Abstract

In recent years, as a result of the rapid growth of energy demand in the regions where the majority of the rivers has increased quite interested in the hydroelectric power plants. A hydroelectric power plant consists of hydraulic turbines, consisting of generators and speed regulation system. Function of the speed regulation system provide to give instantaneously requested energy from depending on the interconnected system. The function of the speed regulator in the system is set the position of the setting wings that control the amount of water entering the hydraulic turbine. Speed regulators are controlled by reference to the active power and frequency parameters of the system. In this study, it has been created model of a hydroelectric power plant and has been obtained transfer function of the entire system. Fuzzy-PID controller PID controller is supplied to the speed regulation system. According to obtained simulation results, it is observed that fuzzy –PID controller provides better speed response than PI controller.

**Keywords:** Hydraulic Turbine, PID Controller, Fuzzy Logic, Fuzzy-PID Controller

\*Corresponding author: Dept. of Electrical Science, Kilis Vocational High School, Kilis 7 Aralık University, 79000 Kilis, TURKEY. E-mail address: hakanacikgoz@kilis.edu.tr, Phone: +90348 814 26 66

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin temel kaynağı, suyun kinetik enerjisi, fosil yakıtlar veya nükleer füzyondan elde edilen ısı enerjisidir. Genel ifade ile çeşitli kaynaklar kullanılarak elde edilen mekanik enerjidir. Elektrik üretim santralleri bu mekanik enerjiyi jeneratörler aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürürler [1]. Ülkemizde son yıllarda enerji gereksiniminin hızla artması sonucunda akarsu yönüyle de zengin olan bölgelerimizde ve özellikle Kahramanmaraş yöresinde hidroelektrik santrallerine (HES) ilgi oldukça artmıştır. Bir hidroelektrik santrali temel olarak, hidrolik türbinler, generatörler ve hız regülasyon sistemlerinden oluşur.

Hız regülasyon sisteminin görevi, bağlı olduğu enterkonnekte sistemden anlık olarak talep edilen enerjinin verilmesini sağlamaktır. Bu sistemde bulunan hız regülatörünün görevi ise, hidrolik türbine giren su miktarını kontrol eden ayar kanatlarının konumlarını ayarlamaktır. Hız regülatörleri, aktif güç ve sistem frekans parametrelerini referans olarak kontrol edilirler.

Günümüzde hidroelektrik santrallerinin denetim işlemleri hem klasik denetleyiciler hem de modern denetleyiciler kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda, önerilen modern denetleyici tasarımlarının yanı sıra klasik denetleyici tasarım yöntemleri de hala güncelliğini korumaktadır. Bunun nedenleri arasında klasik denetlemeli sistemlerin tasarım yöntemlerinin basitliği ve performansının yüksek olması sayılabilir. Bununla birlikte gelişen hidroelektrik santral teknolojileri denetim sistemlerinden daha da yüksek performans istemektedir. Bu sebeple modern denetlemeli sistemlerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir [1-7].

PID (Oransal+İntegral+Türev) denetleyici birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi PID denetleyicilerin kazanç parametreleri Ziegler-Nichols [8] yöntemiyle bulunabilmektedir. Fakat bu yöntemde her zaman PID denetleyici için gerekli olan parametreler hem kolay bulunamamakta hem de etkin performansa sahip olamamaktadır. Bunun için PID denetleyici kazanç parametrelerinin belirlenmesi bir çok optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Klasik PID denetleyicinin parametreleri sabit olduğu için zamanla değişen ve lineer olmayan sistemlerde her zaman etkili performans gösterememektedir.

1965 yılında bulanık mantık kavramının L.Zadeh [10]

tarafından ortaya atılmasıyla birlikte bulanık mantık denetleyici (BMD) ortaya çıkmıştır ve birçok uygulamada çok başarılı sonuçlar vermiştir. Bulanık mantık denetleyicinin en önemli özelliği sistemin herhangi bir matematiksel modeline ihtiyaç duymadan uzman kişinin bilgi ve tecrübesine dayalı olmasıdır. Bu özellik BMD'yi ilgi çekici hale getirmiş ve birçok endüstriyel uygulamada kullanılmasını sağlamıştır. Bulanık-PID denetleyici ise PID denetleyicinin  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  kazanç parametrelerinin sabit olmadan sistemin cevabına göre bulanık mantık denetleyici ile bulunması prensibine dayanmaktadır [10-18].

Bu çalışmada bir hidroelektrik santralinde bulunan türbin, hız regülatörü ve generatörden oluşan sistemin modeli çıkarılmış ve tüm sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Hız regülasyon sistemine türbin hızını denetlemek için PID ve bulanık-PID denetleyici uygulanmıştır.

Bu iki ayrı denetleyiciye sahip sistem Matlab/Simulink programında test edilmiş ve elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

## 2. Hidrolik Türbinin Modellenmesi

### 2.1. Hidrolik Türbin Modeli

Hidrolik türbinin transfer fonksiyonu çıkartılırken aşağıdaki kabuller yapılmıştır [1,7].

- Hidrolik direnç ihmal edilmiştir.
- Cebri boru esnek olmayan malzemeden üretilmiş ve içerisindeki su sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir.
- Suyun hızı, türbinin ayar kanadı açıklığı ve net düşü yüksekliğinin karekökü ile orantılıdır.
- Türbin çıkış gücü, düşü yüksekliği ve cebri borudaki hacim akışının çarpımı ile orantılıdır.

Türbin ve cebri borunun karakteristiği aşağıdaki üç bağıntı ile çıkarılabilir.

- Cebri borudaki suyun hızı ( $V$ )
- Türbinin mekanik gücü ( $P_m$ )
- Su sütunun ivmesi

Bir hidrolik türbin için suyun hızı ve türbin mekanik gücünün genel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$V = V(H, \omega, \alpha) \quad (1)$$

$$P_m = P_m(H, \omega, \alpha) \quad (2)$$

Burada  $V$  suyun hızı,  $P_m$  türbin gücü,  $H$  hidrolik düşü yüksekliği,  $\alpha$  kanat açıklığı,  $\omega$  hidrolik türbin hızını ifade etmektedir. Denklem 1 ve 2 küçük çalışma noktası civarında küçük yer değiştirmeler için doğrusallaştırılırsa;

$$\Delta \bar{V} = e_{vh} \Delta \bar{H} + e_{vm} \Delta \bar{\omega} + e_{v\alpha} \Delta \bar{\alpha} \quad (3)$$

$$\Delta \bar{P}_m = e_{ph} \Delta \bar{H} + e_{pm} \Delta \bar{\omega} + e_{p\alpha} \Delta \bar{\alpha} \quad (4)$$

elde edilir.

Denklem 3 ve 4'de verilen katsayılar şu şekilde,

$$e_{vh} = \frac{\partial v}{\partial h}, \quad e_{vm} = \frac{\partial v}{\partial \omega}, \quad e_{v\alpha} = \frac{\partial v}{\partial \alpha} \quad (5)$$

$$e_{ph} = \frac{\partial p}{\partial h}, \quad e_{pm} = \frac{\partial p}{\partial \omega}, \quad e_{p\alpha} = \frac{\partial p}{\partial \alpha} \quad (6)$$

ifade edilir.

Denklem 3 ve 4'de belirtilen  $\Delta \bar{\omega}$  p.u olarak hız değişim ifadesidir. Bu ifade büyük güçlü türbinler için çok küçük olduğundan ihmal edilir ve işletme noktasındaki küçük yer değiştirmeler için hız ve mekanik güç ifadeleri,

$$\Delta \bar{V} = e_{vh} \Delta \bar{H} + e_{v\alpha} \Delta \bar{\alpha} \quad (7)$$

$$\Delta \bar{P}_m = e_{ph} \Delta \bar{H} + e_{p\alpha} \Delta \bar{\alpha} \quad (8)$$

olarak bulunur.

Cebri borudaki suyun hızı denklem 9 ile ifade edilir.

$$V = K_v \alpha \sqrt{H} \quad (9)$$

Burada  $v$  su hızı,  $\alpha$  kanat açıklığı,  $H$  hidrolik düşü,  $K_v$  oransal sabittir. Denklem 7'nin kısmi türevi alınıp,

$$V_0 = K_v \alpha_0 \sqrt{H_0} \text{ ifadesine bölünürse,}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta H}{2H_0} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0} \quad (10)$$

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{2} \Delta \bar{H} + \Delta \bar{\alpha} \quad (11)$$

olarak bulunur.

Burada 0 indisi başlangıç sürekli durum değerlerini göstermektedir. Türbinin mekanik gücü basınç ve akışla orantılıdır.

$$P_m = K_p HV \quad (12)$$

Denklem 5, küçük yer değiştirmeler için doğrusallaştırılıp her iki taraf  $P_{m0} = K_p H_0 V_0$  ifadesine bölünürse,

$$\frac{\Delta P_m}{P_{m0}} = \frac{\Delta H}{H_0} + \frac{\Delta V}{V_0} \quad (13)$$

$$\Delta \bar{P}_m = \Delta \bar{H} + \Delta \bar{V} \quad (14)$$

bulunur.

Bu ifade Denklem 11'de yerine konularak;

$$\Delta \bar{P}_m = 3\Delta \bar{V} - 2\Delta \bar{\alpha} \quad (15)$$

veya

$$\Delta \bar{P}_m = 1.5\Delta \bar{H} + \Delta \bar{\alpha} \quad (16)$$

elde edilir.

## 2.2. Cebri Borunun Modeli

Cebri boru içerisindeki su sütununun ivmesi Newton'un hareket eşitliğine benzer şekilde ifade edilir.

$$(\rho LA) \frac{d\Delta V}{dt} = -A(\rho a_g) \Delta H \quad (17)$$

Burada,  $L$  cebri borunun boyu,  $A$  borunun alanı,  $\rho$  öz kütle,  $a_g$  yer çekimi ivmesidir. Denklem 17'nin her iki tarafı,  $A\rho a_g H_0 V_0$  ifadesine bölünerek denklem normalize edilir ise

$$\frac{LV_0}{a_g H_0} \frac{d}{dt} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right) = -\frac{\Delta H}{H_0} \quad (18)$$

$$T_w \frac{d\Delta \bar{V}}{dt} = -\Delta \bar{H} \quad (19)$$

$$T_w = \frac{LV_0}{a_g H_0} \quad (20)$$

olarak bulunur. Burada  $T_w$  suyun başlama zamanıdır.

## 2.3. Hidrolik Türbinin Transfer Fonksiyonu

Denklem 11 ve 19'dan hızdaki değişim ve kanat durumundaki değişimler arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_w \frac{d\Delta \bar{V}}{dt} = 2(\Delta \bar{\alpha} - \Delta \bar{V}) \quad (21)$$

Denklem 21 s domeninde ifade edilirse aşağıdaki denklem ile gösterilebilir.

$$T_w s \Delta \bar{V} = 2(\Delta \bar{\alpha} - \Delta \bar{V}) \quad (22)$$

Hidrolik türbinin transfer fonksiyonu elde etmek için bazı türevsel katsayıların bilinmesi gerekmektedir. IEEE'nin türbin modeli için tespit edilmiş katsayı değerleri Tablo 1'de verilmiştir [4,5].

Tablo 1. Hidrolik Türbin Modellerin Türevsel Katsayıları

Türbin Katsayısı	IEEE Model Değeri	Türbin Katsayısı	IEEE Model Değeri
$\frac{\partial v}{\partial h}$	0.5	$\frac{\partial p}{\partial h}$	1.50
$\frac{\partial v}{\partial \omega}$	0.00	$\frac{\partial p}{\partial \omega}$	0.00
$\frac{\partial v}{\partial \alpha}$	1.00	$\frac{\partial p}{\partial \alpha}$	1.00

Denklem 3 ve 4 ile verilen bağıntılar denklem 11 ve 15'de yerine konulursa hidrolik türbinin transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\frac{\Delta \bar{P}_m}{\Delta \bar{\alpha}} = e_{p\alpha} \frac{1 + (e_{uh} - e_{u\alpha} e_{ph} / e_{p\alpha}) s T_w}{1 + e_{uh} s T_w} \quad (23)$$

Tablo 1'de verilen IEEE model değerleri Denklem 23'te yerine bırakılırsa hidrolik türbinin transfer fonksiyonu denklem 24 ile ifade edilir [1,5].

$$\frac{\Delta \bar{P}_m}{\Delta \bar{\alpha}} = \frac{1 - T_w s}{1 + \frac{1}{2} T_w s} \quad (24)$$

#### 2.4. Elektro-Hidrolik Governer Modeli

Hidrolik türbinin hız kontrolünde elektro hidrolik governer sistemleri kullanılmaktadır. Elektro hidrolik governer fonksiyonel olarak mekanik hidrolik governerlere benzemekte olup, hız algılama, kalıcı düşüş, geçici düşüş ve diğer ölçüm ve hesaplama parametreleri elektriksel olarak yapılmaktadır. Governerin kararlı çalışması için Geçici düşüş  $R_T$  ve reset zamanı  $T_R$  parametrelerinin optimum seçimi suyun başlama zaman parametresi  $T_w$  ye bağlıdır. Başlangıç zamanı parametresi  $T_m$  ise hidrolik düşü yüksekliğine bağlıdır [1,3].

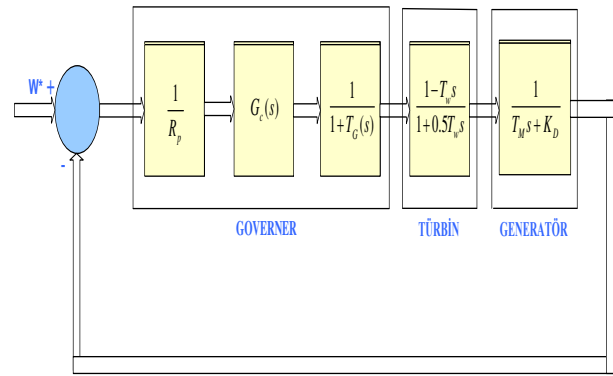
$$R_T = [2.3 - (T_w - 1)0.15] \frac{T_w}{T_M} \quad (25)$$

$$T_R = [5 - (T_w - 1)0.5] T_w \quad (26)$$

Governör hız regülatörü geçici düşü kompanzasyonu içermekte olup bunun transfer fonksiyonu Denklem 27'de verilmiştir.

$$G_c(s) = \frac{1 + T_R s}{1 + \left( \frac{R_T}{R_p} \right) T_R s} \quad (27)$$

Denetlenecek sistemin genel blok diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Denetim Sisteminin Genel Blok Diyagramı

Burada  $R_p$  sürekli düşü,  $T_M$  mekanik başlangıç zamanı,  $K_D$  tork sönüm katsayısı  $T_G$  ise governer zaman sabitidir.

### 3. PID ve Bulanık-PID Denetleyici Tasarımı

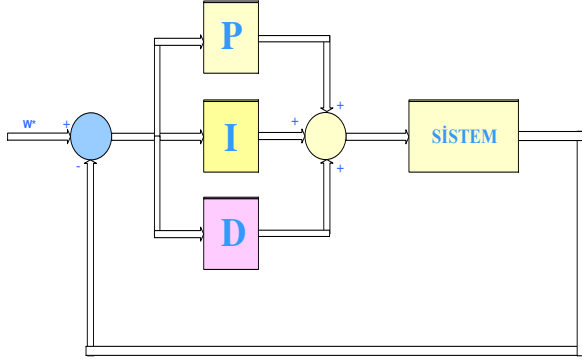
#### 3.1 PID Denetleyici Tasarımı

PID denetleyiciler dayanıklı performans ve basit yapıları nedeniyle denetim sistemlerinde en sık kullanılan denetleyicilerdir. PID denetleyiciler oransal (P), integral (I), türev (D) kazançlarından oluşmaktadır ve PID denetleyici bu üç temel kazançların üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir denetleyicidir. Bu kazançların her biri denetlenecek sistemler için farklı değerler alır ve PID denetleyicinin kazanç değerleri sistem üzerine farklı etkiye sahiptir.

Şekil 2'de PID denetleyicinin iç yapısına ait blok diyagramı verilmiştir. PID denetleyicinin çıkışı ise denklem 28'deki gibi ifade edilebilir [9,10].

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (28)$$

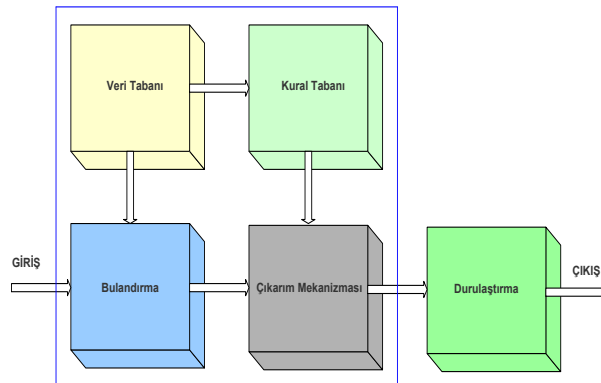
PID denetleyiciler endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanıldıkları için PID denetleyicinin  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerinin en uygun değerde olması sistemin performansı için çok önemlidir. Bu amaç için PID denetleyici kazanç parametrelerini belirlemeye yönelik birçok optimizasyon yöntemi mevcuttur[10-15].



Şekil 2. PID denetleyici blok diyagramı

### 3.2. Bulanık-PID Denetleyici Tasarımı

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında Lütfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [10]. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Klasik mantıkta bir eleman bir kümenin elemanıdır ya da değildir mantığına sahip olduğu için klasik mantık yöntemleriyle karmaşık sistemleri modellemek ve denetlemek zordur. Çünkü veriler tam ve net olmalıdır [19-20].

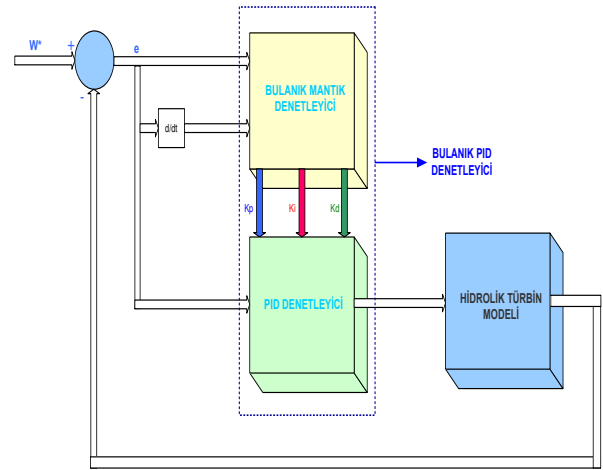


Şekil 3. Genel BMD Yapısı

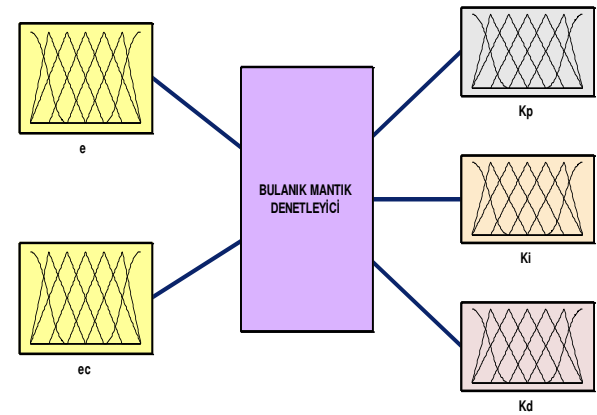
Bulanık mantık da ise kesinlik yoktur ve daha niteliksel tanımlama mevcuttur. Bulanık mantığın en

ilgi çeken tarafı ise uzman kişinin bilgileri denetleyicinin içerisine gömülerek sistem denetlenir. Yani sistemin herhangi bir matematiksel modeline ihtiyaç yoktur. BMD, genel olarak bulandırma, çıkarım mekanizması, durulaştırma ve bilgi tabanı (veri ve kural tabanı) olmak üzere dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bu yapı Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 4'te bulanık-PID denetleyici yapısına ait blok diyagramı verilmiştir. Bulanık-PID denetleyicideki amaç, PID kazanç parametrelerinin bulanık mantık denetleyici ile oluşturularak online olarak sisteme uygun PID kazanç değerlerinin bulunmasıdır. PID kazanç parametreleri sabit olduğu için zamanla değişen ve lineer olmayan sistemler için başarılı sonuçlar vermeyebilir. Bulanık-PID denetleyici ile PID kazanç değerleri otomatik olarak ayarlanarak PID denetleyicinin bu olumsuz durumu ortadan kaldırılır [11-18].



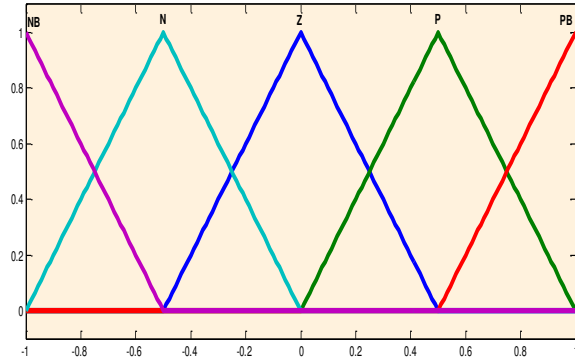
Şekil 4. Bulanık-PID Denetleyici Blok Diyagramı



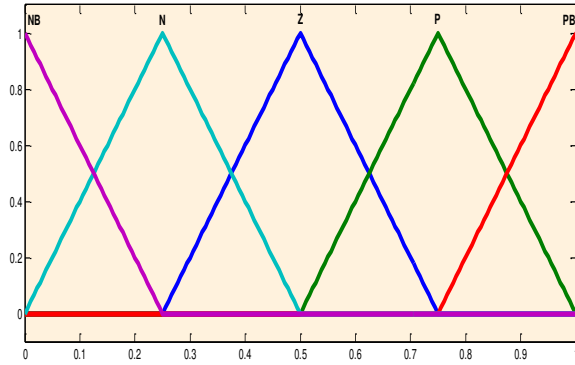
Şekil 5. Bulanık Mantık Denetim Sistemi

BMD'nin bulandırma işleminde giriş ve çıkış değişkenleri sembolik ifadelerle dönüştürülmektedir. Tasarlanan denetleyicide kullanılan dilsel değişkenleri NB (Negatif Büyük), N (Negatif), Z(Sıfır), P(Pozitif), PB(Pozitif Büyük) olmak üzere beş değişken kullanılmıştır. Sisteme verilen her bir giriş için üyelik fonksiyonlarının seçimi tamamen keyfi olmakla birlikte üçgen, yamuk, sinüsoid, cauchy, çan, sigmoid, gaussian tiplerde olabilmektedir.

Şekil 5'de ise 2 giriş ve 3 çıkışa sahip bulanık mantık sistemi gösterilmektedir Şekilde BMD'nin 2 girişi vardır. Bunlar hata (e) ve Hata değişimi ( $\Delta e$ ) olarak tanımlanabilir. Çıktılar ise Kp, Ki ve Kd için oluşturulmuştur. Hata ve hata değişimi, Kp, Ki ve Kd için oluşturulan üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 6'da verilmiştir [10-14].



(a)



(b)

Şekil 6. Bulanık-PID Denetleyici için Üyelik Fonksiyonları a) Hata ve Hata Değişimi b) Kp, Ki, Kd Kazançları

Kp, Ki ve Kd çıktıları için oluşturulan kural tabanları ise Tablo 2-4'te verilmiştir.

Tablo 2. Kp İçin Kural Tablosu

Kp	de					
	NB	N	Z	P	PB	
e	NB	NB	NB	NB	N	Z
	N	NB	N	N	N	Z
	Z	NB	N	Z	P	PB
	PS	Z	P	P	P	PB
	PM	Z	P	PB	PB	PB

Tablo 3. Ki İçin Kural Tablosu

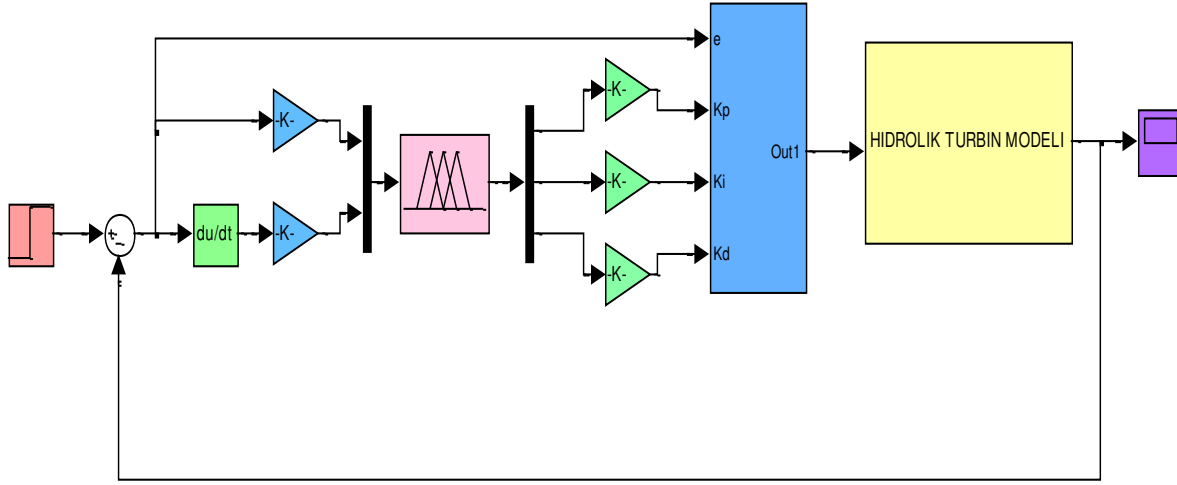
Ki	de					
	NB	N	Z	P	PB	
e	NB	PB	PB	PB	N	NB
	N	PB	P	P	Z	NB
	Z	P	P	Z	N	NB
	PS	Z	P	N	N	NB
	PM	Z	N	NB	NB	NB

Tablo 4. Kd İçin Kural Tablosu

Kd	de					
	NB	N	Z	P	PB	
e	NB	NB	NB	NB	P	PB
	N	NB	N	N	Z	PB
	Z	Z	N	Z	P	PB
	PS	Z	N	P	P	PB
	PM	Z	P	PB	PB	PB

#### 4. Benzetim Çalışması Sonuçları

Hidrolik türbinin hız denetimi için Şekil 7'de gösterilen Matlab/Simulink modeli oluşturulmuştur. Sistemin performansını analiz etmek için bulanık-PID ve PID denetleyici olmak üzere iki ayrı denetim metodu tasarlanmıştır. Governor denetimi hidroelektrik santrallerinde hız veya aktif güç parametrelerinden birisi seçilerek gerçekleştirilir ve genelde PID denetleyici kullanılır.



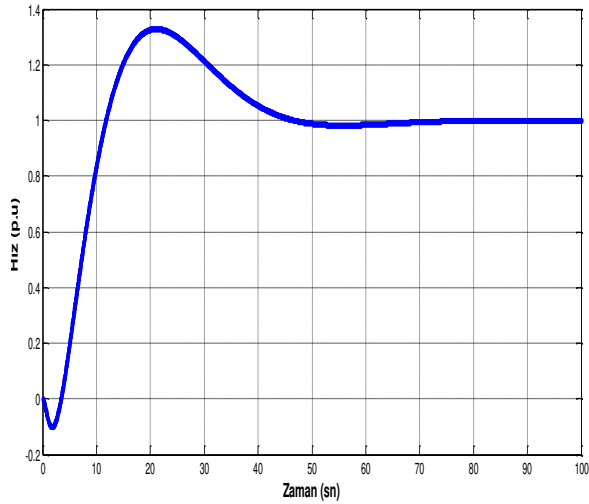
Şekil 7. Hidrolik Türbin Sisteminin Matlab/Simulink Modeli

PID denetleyicinin parametreleri, Matlab/Simulink benzetim programında bulunan kendinden ayarlamalı fine-tuning moduna sahip PID denetleyicisine seçtirilmiştir. Dördüncü dereceye sahip denetim sisteminin parametreleri:  $K_p$ : 0.4821,  $K_i$ : 0.0328,  $K_d$ : 0.1 şeklinde bulunmuştur.

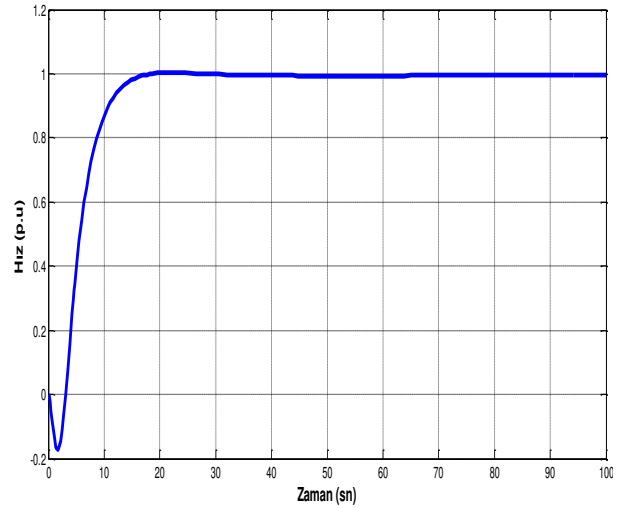
PID denetlemeli yapılan denetim yönteminin birim basamak tepkisi Şekil 8'de gösterilmiştir. Bu sistemin tepki sonucu incelendiğinde sistemin yerleşme zamanı

60 saniyenin üzerinde gerçekleşmiş ve sistemde %33'a yakın bir aşım meydana gelmiştir.

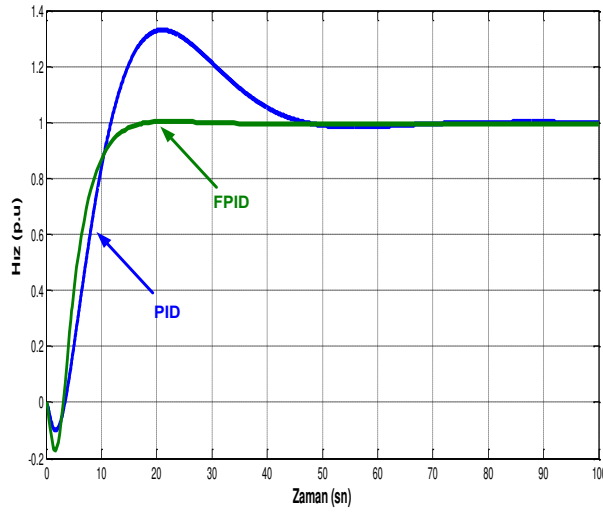
Bulanık-PID denetleyici sisteminin birim basamak tepkisi Şekil 9'da verilmiştir. Bulanık-PID denetleyici yönteminin sistem tepki sonucu incelendiğinde sistem yaklaşık 18 saniyede yerleşme zamanına ulaşmış ve aşma yapmadan referansı yakalamıştır. Şekil 10'da ise her iki denetleyici karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. PID Denetleyicinin Birim Basamak Tepkisi



Şekil 9. Bulanık-PID Denetleyicinin Birim Basamak Tepkisi



Şekil 10. Her İki Denetleyicinin Birim Basamak Tepkisinin Karşılaştırılması

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, hidrolik türbin modeline ait bir sistem oluşturulmuştur. Tasarlanan bu sistem için PID ve bulanık-PID denetleyici Matlab/simulink paket programında hazırlanarak hidrolik türbin modeline uygulanmıştır. Hidrolik türbin için ilk olarak PID denetleyici uygulanmış ve PID denetleyici referansı yaklaşık 60 sn civarında %33 aşma yaparak yakalamıştır. PID denetleyicinin parametrelerinin bulanık mantık denetleyici ile bulunduğu bulanık-PID denetleyici yapısının ise referansı yaklaşık 18 sn civarında aşma yapmadan yakaladığı görülmektedir. Aşma, yükselme zamanı ve yerleşme zamanı bakımında bulanık-PID denetleyicinin PID denetleyiciye göre daha üstün performansa ve daha dayanıklı yapıya sahip olduğu görülmektedir.

## REFERANSLAR

- [1] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.
- [2] R.S. Burns, Advanced Control Engineering, Butterworth-Heinemann, 2001.
- [3] X.Y. Zhang ve M.G. Zhang “An adaptive fuzzy pid control of hydro-turbine governor”, Proc. of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, China, s:325-329, 2006.
- [4] J. Jiang, “Design of an Optimal Robust Governor for Hydraulic turbine Generating Units”, IEEE Trans. On Energy Conversion, Cilt: 10, No: 1, s:188-194.
- [5] R.E. Doan ve K. Natarajan, “Modeling and Control Design for Governing Hydroelectric Turbines With

Leaky Wicket Gates”, IEEE Trans. on Energy Conversion, Cilt: 19, No: 2, s:449-455.

[6] Ö. Oral, L. Çetin ve E. Uyar, “A Novel Method on Selection of Q And R Matrices In The Theory Of Optimal Control” International Journal of Systems Control, Cilt.1, No:2, s: 84-92, 2010.

[7] Keçecioglu F, Şekkel M, Güneş M. “Lineer Kuadratik Regülatör (LKR) ile Hidrolik Türbinin Optimal Kontrolü”, TOK2013.

[8] Kuo Benjamin C., “Otomatik Kontrol Sistemleri”, Yedinci Baskı, Prentice Hall 1995.

[9] J.G. Zigeler, N.B. Nichols, “Optimization Setting for Automatic Controller”, Trans. ASME, Vol. 64, pp. 756- 769, 1942.

[10] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” Inform, Control, Vol.8, 1965, pp.338-353.

[11] Dan Hu, Linhang Li, “The research of fuzzy PID controller based on DSP”, Sichuan:Xihua University ,pp. 21-24, 2007.

[12] Gunes Mahit, “Fuzzy and three-step control of refiner system to get stable freeness for recycled paper” Scientific Research and Essays Vol. 6(1), pp. 110-117, 4 January, 2011.

[13] J. Kim, S. Oh, “A Fuzzy PID Controller for Nonlinear and Uncertain. Systems”, Soft Computing, 4: 123-129, 2000.

[14] Zhiqiang Gao, Thomas A. Trautzsch and James G. Dawson, “A Stable Self-Tuning Fuzzy Logic Control System for Industrial Temperature Regulation”, Industry Application IEEE, Vol.38 No.2, pp 414-424, 2002.

[15] Cao G., Lou C., and D. An, “Application of fuzzy self-tuning PID control to air conditioning system”, Heat Ventilating and Air Conditioning, vol. 34, No.10, 106-109, October 2004.

[16] Chen L., “Research on Control Strategy of Fuzzy PID Controller”, Coal Mine Automation, 2001.

[17] Bhattacharya S., Chatterjee A., and Munshi S., “An improved PID-type fuzzy controller employing individual fuzzy P, fuzzy I and fuzzy D controllers”. Transactions of the Institute of Measurement and Control 25: 352–372, 2003.

[18] Zulfatmann, M.F. Rahmat, “Application of Self-Tuning Fuzzy PID Controller on Industrial Hydraulic Actuator using System Identification Approach,” Int. Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 2, No. 2, June 2009, pp. 246-261, 2009.

[19] Açıkgoz H., Keçecioglu Ö.F, Gani A., Şekkel M., “Speed Control of Direct Torque Controlled Induction Motor By using PI, Anti-Windup PI and Fuzzy Logic Controller”, International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, Vol.2 No.3 pp. 58-63, 2014.



[20] Açıkgöz H., Şekkeli M., “Examine of Speed Control Performance of DTC Induction Motor using Fuzzy Logic Controller”, Academic Platform Journal of Engineering and Science, Vol.1-2, pp.50-57, 2013.