

## Katı Yakıtlı Buhar Kazanında Yakma Fanının Bulanık Mantık Denetleyici ile Kontrolü

Hasan Rıza ÖZÇALIK<sup>1</sup>, Ali TÜRK<sup>2</sup>, Ceyhan YILDIZ<sup>1</sup>, Zafer KOCA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>KSÜ, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Maraş Tekstil Sanayi ve Ticaret A. Ş., Kahramanmaraş

<sup>3</sup>CÜ, Osmaniye Meslek Yüksek Okulu, Elektrik Bölümü, Osmaniye

Geliş Tarihi: 14.02.2007

Kabul Tarihi: 09.07.2007

**ÖZET:** Bu çalışmada, katı yakıtlı buhar kazanında, kömürün yanması için gerekli olan taze hava miktarının gelişmiş bir Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) ile bulanık denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu kontrolü gerçekleştirirken kullanılan PLC, içerisine yerleştirilmiş bir bulanık işlemci ihtiva etmektedir. Buhar kazanının ürettiği buhar işletme tarafından sürekli rasgele bir tarzda tüketilmektedir. Bu sebeple buhar basıncı, kullanıldığı bölgede sürekli değişim halindedir. Böyle bir sistem yapısal olarak da lineer olmayan bir sistemdir. Bu nedenle kontrolörlerin kullandığı en güvenilir yöntemlerden biri olan bulanık mantık denetim algoritması tercih edilmiştir. Çünkü bulanık mantık, endüstriyel süreç denetiminde, sistemin kararlılığını sağladığı gibi performansını da artırır. Yatırım ve işletme açısından da ucuzdur. Ayrıca, Bulanık Mantık Denetim Algoritması matematiksel modellemeye ihtiyaç duymamaktadır. Yapılan çalışmada, basınç değerleri, istenilen referans değerleri oldukça iyi bir şekilde yakalamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık mantık, PLC, otomatik kontrol, buhar kazanı.

### Fuzzy Based Pressure Control for A Steam Boiler Using Solid Fuel

**ABSTRACT:** In this study, a fuzzy controller has been designed by the help of a Programmable Logic Controller (PLC) for a steam boiler. Main control device is Programmable Logic Controller (PLC) with a Fuzzy Processor Unit including fuzzy software in itself. This unit can be named as an "embedded device" as known mostly. The steam produced by the steam boiler is being continuously consumed by the plant in a random way. For that reason, steam pressure which is needed changes continuously in the zone. Therefore, Fuzzy Control Technique has been preferred as an efficient controller. Fuzzy control enhances the performance and stability of the industrial process. On the other hand, fuzzy control never needs an exact mathematical model of the plant. Thus, a perfect control process has been realized and pressure values in the terminal have reached very good values which are compatible with prescribed reference.

**Key words:** Fuzzy control, PLC, automatic control, steam boiler.

### GİRİŞ

Bulanık mantık yaklaşımı, makineler insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve öngörülerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir (Galichet, Foulloy, 1995). Ayrıca, bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanır. Bulanık mantık, klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Bulanık mantık denetleyicinin temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık denetleyici uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi şart değildir.

Bulanık mantık yaklaşımı ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında ele alınmıştır. Ancak bu konudaki ilk ciddi adım 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ortaya konulmuştur. Zadeh bu çalışmasında insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen boolean mantık bu düşünce işlemini yeterli bir şekilde ifade edememektedir. İnsan mantığı, açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra, az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır.

Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Ayrıca Zadeh insanların denetim alanında, mevcut makinelerden daha iyi olduğunu ve kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı olarak etkili kararlar alabildiklerini savunmuştur. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, Bulanık Mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş, ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur (Godjevac, 2000). Son yıllarda, bulanık mantık ile yapay sinir ağlarının birlikte kullanıldığı çalışmalar da yaygınlaşmıştır (Jang, 1993; Özçalık, Uygur, 2003).

Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. Bu tarihten sonra Bulanık Mantık, su arıtmadan metro denetimine, elektronik pazarından, otomotiv ürünlerine, kimyasal ve fiziksel süreç denetimlerine kadar bir çok alanda kullanılmıştır.

Bu çalışmada da, katı yakıtlı buhar kazanının kontrolü için bulanık mantık kullanılmıştır. Şekil 1'de sistemin genel yapısı verilmektedir. Bu sistem, bir tekstil fabrikasında boya-kasar işletmesinde gerekli olan buhar ihtiyacını karşılamaktadır. Bu sistemde kazandaki kömürün yanma şiddetini taze hava fanının hızı

belirlenmektedir. Şöyle ki kömürün yanması için oksijen gereklidir. Oksijen miktarı ne kadar fazla ise kömür o kadar şiddetli yanacaktır. Kazanın içindeki oksijeni de taze hava fanı, dış ortamdan alıp kazan içine vererek sağlamaktadır. Bu sebeple fan ne kadar hızlı dönerse kazanda o kadar oksijen var demektir. Oksijen fazlalığı da yanmayı artıracığından buhar basıncı yükselecektir. Buhar tüketimi ise işletmenin ihtiyacına bağlıdır. İhtiyaç arttıkça tüketim artmakta, ihtiyaç azaldıkça tüketim azalmaktadır. Dolayısı ile buhar tüketimi arttığında borudaki buhar basıncı düşmeye başlayacak buna bağlı olarak yanmanın artması gerekecektir, yanmanın artması için oksijen miktarının artması gerekir, oksijen miktarını da fanın hızı belirlediği için fanın hızlanması gerekmektedir. İşte bu projede fanın hızını kontrol altına alarak ihtiyaca göre buhar üretilmektedir. Ancak işletmenin hangi zamanda ne kadar buhar ihtiyacı olduğu önceden bilinemediği için ve bunu önceden ölçmek de mümkün olamayacağı için, işletmenin ortalama bir ihtiyacına göre kazandaki buhar basıncını sabit bir değerde tutmak daha uygun olmaktadır. Bu değere buhar basıncı set değeri adı verilmiştir. Bu set değeri operatör panelinden girilmektedir. İstenildiğinde operatör tarafından değiştirilebilmektedir. Kazandaki buhar basıncını set değerinde tutmanın yolu da yine yukarıda anlatıldığı üzere fanın hızını kontrol altına almaktan geçer. Çünkü buhar tüketimi arttığında buhar basıncı set değerinin altına düşecek, buna bağlı olarak fanın hızlanması gerekecek, aynı şekilde buhar tüketimi azaldığında buhar basıncı artarak set değerine yaklaşacak buna bağlı olarak fanın hızının düşmesi gerekecektir. Kullanılan PLC esaslı bulanık denetleyici ile bütün bu gereksinimler sağlanmıştır.

## MATERYAL ve METOT

### Materyal

Bu çalışmada, içerisinde bulanık mantık denetleyici bulunan bir programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC), bir operatör paneli, bir basınç dönüştürücü, kömür yakıtlı buhar kazanı, bir yüksek güçlü indüksiyon motoru, bir havalandırma fanı ve sürme elemanı olarak bir frekans evirici (invertörü) kullanılmıştır.

### Metot

PLC ve operatör paneli kendine özgü özel programlar ile programlandı. PLC içerisinde gömülü olan bulanık mantık denetleyici modülü kullanılarak kontrol algoritması tasarlandı. Bu kontrol algoritmasına göre taze hava fanının hızı kontrol edildi.

### Bulanık Mantık Denetleyici

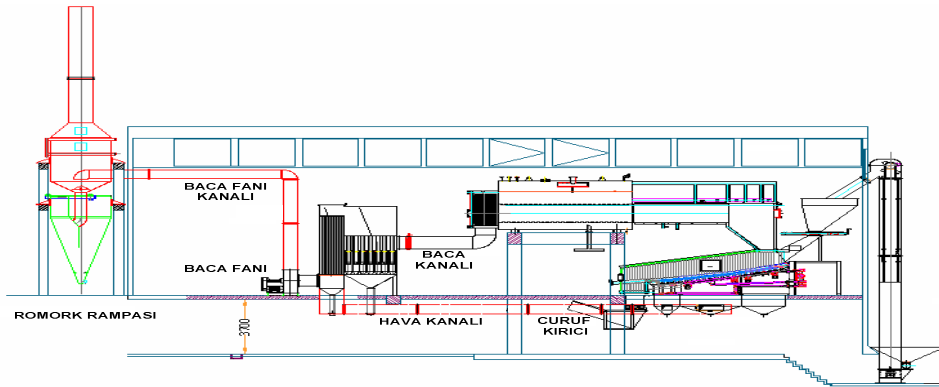
Bulanık mantık denetleyici biriminin amacı ortamın basıncını istenilen(set) ayar değerine getirmek ve bu set değerinde tutmaktır. Bu işlemi geleneksel denetim sistemlerinin sıkça kullandığı hata ve hata\_değişim oranları adı verilen bilgilerin kullanılmasıyla gerçekleştirir.

Denetimi yapılan fiziksel sistemin çıkışı hata sinyali tarafından ayarlanır. Hata sinyali, istenen referans değeri ile sistemin şu andaki çıkışı arasındaki farka eşittir.

Bulanık Mantık Denetleyici için öncelikle giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanır. Bulanık alt kümelerin her bir değişkeni için belirli bir aralık tanımlanır ve her birine dilsel bir etiket atanır. Daha sonra her bulanık alt küme için üyelik işlevi belirlenir. Giriş ve durum değişkenlerine ait bulanık alt kümeleri ile çıkış değişkenine ait alt kümeleri arasında bulanık ilişkiler kurulur. Denetleyici tarafından girişler bulanıklaştırılır. Bulanık kurallar kullanılarak bulanık çıkarım yapılır (Kosko, 1997).

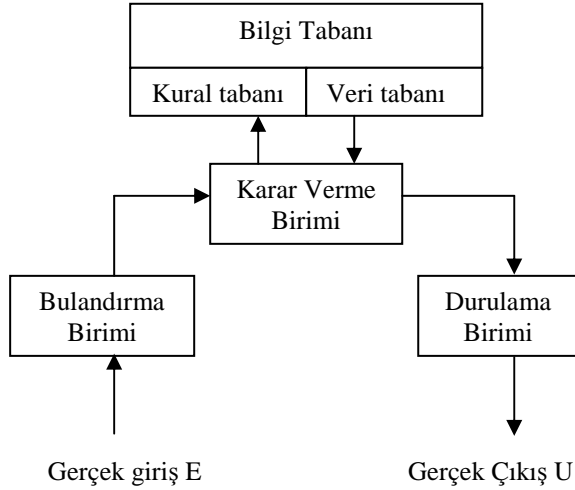
Her kural tarafından işaret edilen bulanık çıkışlardan tek bir bulanık değer elde edilir. Durulama yapılır ve keskin çıkış değeri elde edilir (Mattavelli, Rossetia,, Spiazzi, Tenti, 1997). Bu çalışmada kullandığımız bulanık mantık denetleyici genel olarak şu özelliklere sahiptir.

- 1) Kural tabanı değişmez ve kurallar arası etkileşim yoktur. Bütün kurallar aynı derecede kesin ve sabittir.
- 2) Üyelik işlevleri sabittir.
- 3) Kuralların sayısı giriş değişkenlerinin sayısı ile belirlenir.
- 4) Çıkışı durulama ve kuralların sonuçlarını hesaplama yöntemi sabittir.



Şekil 1. Katı (kömür) yakıtlı buhar kazanı sisteminin genel yapısı.

Bulanık mantık denetleyiciler, bilgi tabanı, bulandırma, karar verme ve durulama birimleri olmak üzere dört temel bileşenden oluşmuştur (Mauer, 1995). Şekil 2 bir bulanık mantık denetleyicinin temel yapısının blok diyagramıdır.



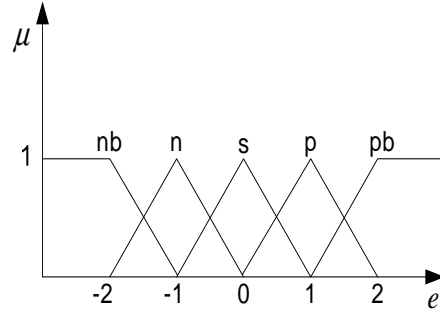
Şekil 2. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.

Sistem değişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen E giriş değişkeni ve sistem denetimi için bulanık mantık denetleyici tarafından kullanılan U çıkış değişkeni olmak üzere iki çeşittir. Bulandırma birimi en son ölçülen verinin uygun dilsel değerlere dönüştürülmesini sağlar (Passino, 1997). Bulanık bilgi tabanı bilginin iki ana tipini kapsar: veri tabanı, her bir sistem değişkeninin değerleri gibi kullanılan bulanık kümelerin üyelik işlevlerini tanımlar, kural tabanı ise giriş bulanık değerlerin, çıkış bulanık değerlerine tam olarak eşlenmesini temsil eder. Karar verme birimi bulanık mantık denetleyicinin özüdür ve arzu edilen denetim stratejisine erişmek için, yaklaşık çıkarım sağlaması ile insan gibi karar verme yeteneğine sahiptir. Durulama birimi ise karar verme biriminden gelen bulanık bilgileri, gerçek değerlere dönüştürerek, sistemin tanıyabileceği kontrol işareti haline gelmesini sağlar.

#### Bulandırma Birimi

Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik fonksiyonlarından faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük, gibi dilsel değişken değerler atar (Grauel, Ludwig, 1999). Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şekillerde (üçgen, yamuk, çan eğrisi... vs.) bulanık kümeler seçilebilir.

Şekil 3'te üyelik derecelerinin tespitinde kullanılan üçgen tipi üyelik fonksiyonu verilmiştir. nb, n, s, p, pb ifadeleri sırasıyla dilsel ifadeler olan negatif büyük, negatif, sıfır, pozitif, pozitif büyük ifade etmektedir.



Şekil 3. Hata değeri için üyelik fonksiyonları ( $\mu$  üyelik derecesini,  $e$  hata değerini ifade etmektedir)

#### Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanında kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı (data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı (rule base) olmak üzere iki kısma ayrılabilir (Ross, 1995). Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler. Denetimi yapılan sistemle ilgili, bulandırma, bulanık çıkarım, durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural tablosu bilgileri veri tabanından kullanıma sunulmaktadır. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır.  $e$  ve  $de$  girişler,  $u$  ise çıkış değişkeni olan bir sistem için,

$$EĞER \ e=x \ ve \ de=y \ ise \ O \ HALDE \ u=z,$$

Şeklindeki bir kural  $e$  ve  $de$ 'nin aldığı değerlere göre  $u$  çıkışının bulanık değeri Şekil 4'teki gibi bir kural tabanı kullanılarak belirlenmektedir.

	de	n	s	p
e		n	s	p
n		p	p	s
s		p	s	n
p		s	n	n

Şekil 4: Kural tabanı

#### Karar Verme Birimi

Karar verme birimi, çıkarım motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetiminin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi belirler. Burada birçok bulanık gerçekleştirme yapılır. Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılmaktadır.

Bulanık mantık denetleyici içindeki bu benzetim bulanık içleme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içleme ile

açıklanır. Bulanık mantık da bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir.

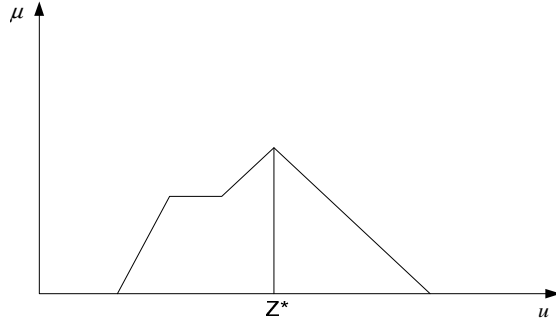
### Durulama Birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi bir sayısal değere dönüştürülmesi gerekir (Sugeno, 1992). Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgidan bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değer elde edilmesini sağlar.

Durulama işleminde değişik yöntemler esas alınmaktadır. Durulama yada bulanık çıkarım işlemi bulanık kümelerin kullanımından sonra 1970'li yıllarda gelişmeye başlamıştır. Bulanık çıkarım yöntemlerine Mamdani ve Sugeno oldukça büyük katkılarda bulunmuşlardır. Bulanık mantık, durulama işlemlerinin geliştirilmesiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Önce her kural için üyelik derecelerini ifade eden değer ve sonuç kural tespit edilir. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek durulama yapılır en çok kullanılan yöntemler şunlardır:

a) Maksimum üyelik yöntemi: Yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Çıkış değeri bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşit olup Şekil 5'teki cismin en yüksek noktasıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

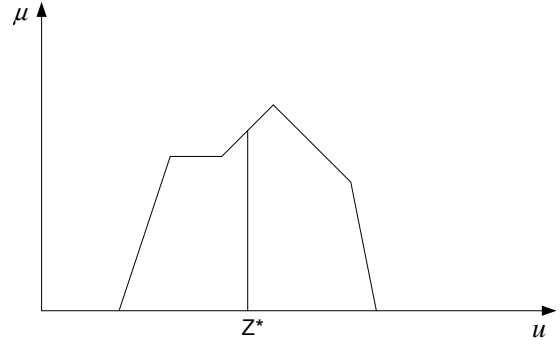
$$\mu_C(z^*) \geq \mu_C(z) \quad z \in Z \quad z^*$$



Şekil 5: Maksimum üyelik yöntemi

b) Ağırlık merkezi yöntemi: Ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemidir. Şekil 6'deki cismin ağırlık merkezinin kestiği nokta çıkış üyelik derecesine eşittir ve şu formülle ifade edilir (Sugeno, 1985).

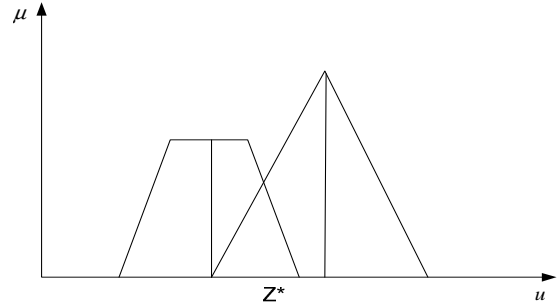
$$z^* = \frac{\int \mu_C(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_C(z) \, dz}$$



Şekil 6. Ağırlık merkezi yöntemi.

c) Ağırlık ortalaması yöntemi: Bu yöntem de girişlerden elde edilen bütün bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulama yapılmaktadır. Şekil 7'deki cisimlerin ağırlık merkezlerinin ortalaması çıkış üyelik değerini verir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_C(\bar{z})}$$

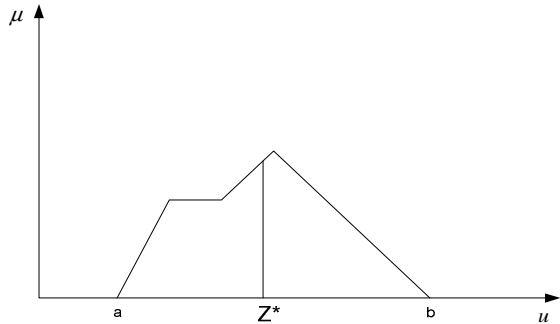


Şekil 7. Ağırlık ortalaması yöntemi

d) Mean-Max üyelik yöntemi: Maksimum üyelik işlevi yöntemiyle ilişkilidir. Bu işlev maksimum üyelik derecesi tek bir nokta olmayıp, düz olabilen sistemler içinde kullanılabilir. Şu şekilde ifade edilir,

$$z^* = \frac{a+b}{2}$$

$z^*$  değerinin elde edilmesi Şekil 8 de görülmektedir.

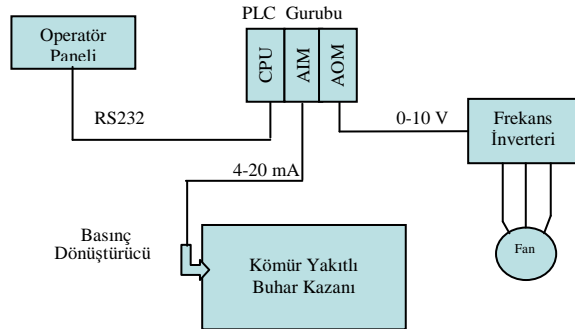


Şekil 8. Mean-Max üyelik yöntemi.

### Sistemin Çalışması

Şekil 9'da kömür yakıtlı buhar kazanının ve denetleyicisinin blok diyagramı görülmektedir. Buradaki sensör (basınç dönüştürücü), kazanın hemen çıkışında uygun bir şekilde monte edilmiştir. Basınç dönüştürücü; oluşan gerçek buhar basıncını 4-20 mA aralığında akım değerine çeviren devre elemanıdır. Basınca bağlı olarak çıkış akımını değiştirir. 0 bar basınçta 4 mA çıkış verir, maksimum basınç da (ki bu 10 bardır) 20 mA çıkış verir. Basınç dönüştürücü vasıtasıyla ölçülen basınç değeri AIM (Analog Giriş Modülü) ne taşınır. AIM, basınç dönüştürücüden gelen analog sinyali alır, dijital sinyale çevirerek CPU modülüne iletir. CPU modülü, AIM den gelen bilgiyi ve operatör panelinden girilen set değerini, kendi içerisinde gömülü olan bulanık mantık denetleyiciye gönderir. Bulanık mantık denetleyici; AIM den gelen gerçek basınç bilgisi ile operatör panelinden girilen set değerini karşılaştırır ve buna göre bir hata değeri hesaplar. Bu hata değeri ile bir önceki hata değerini karşılaştırarak hatadaki değişimi hesaplar. Hesaplanan bu değerlere göre kontrol mekanizmasını çalıştırır ve çıkış tablosunu kullanarak bir dijital çıkış sinyali üretir. Bu sinyali AOM (Analog Çıkış Modülü) ne iletir. AOM, bulanık mantık denetleyicinin ürettiği dijital sinyali, analog sinyale çevirir (Anonim, 2005).

AOM den alınan bu analog sinyali inverterin referans ucuna iletilir. Frekans inverteri gelen bu referans sinyaline göre frekansını değiştirerek sürmüş olduğu fan motorunun hızını belirler.



Şekil 9. Kömür yakıtlı buhar kazanı ve denetleyicisinin blok diyagramı.

### BULGULAR ve TARTIŞMA

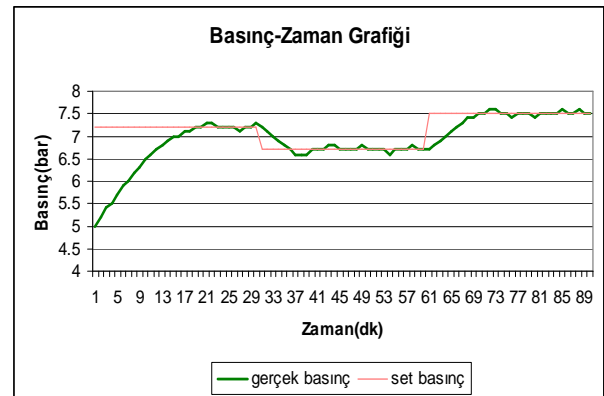
Sistemin giriş ve çıkışlarını gözlemek için gerçek kullanım aralığına uygun olarak değişik set değerleri verilmesi gerekir. Buna göre, fabrika şartlarında kullanılan 6-8 Bar aralığındaki set değerleri tercih edilmiştir.

İlk olarak basınç set değeri operatör panelinden 7.2 bar olarak girildi ve gerçek basınç değerinin zamana bağlı olarak değişimi 30 dakika boyunca izlendi. 31. dakikada set basınç değeri operatör panelinden 6.7 bar olarak değiştirildi ve gerçek basınç değerinin zamanla değişimi yine 30 dakika boyunca izlendi. 61. dakikada set basınç değeri 7.5 Bar olarak tekrar değiştirildi ve

gerçek basınç değerinin zamana bağlı değişiminin izlendi (Tablo 1,2,3). Şekil 10 ve 11'deki sonuçlar gözlenmiştir.

Tablo 1. Basınç set değeri 7.2 , 6.7 ve 7.7 bar iken oluşan her bir dakikadaki gerçek basınç değerleri.

Set : 7.2 bar		Set : 6.7 bar		Set : 7.5 bar	
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
1	5	31	7.2	61	6.7
2	5.2	32	7.1	62	6.8
3	5.4	33	7	63	6.9
4	5.5	34	6.9	64	7
5	5.7	35	6.8	65	7.1
6	5.9	36	6.7	66	7.2
7	6	37	6.6	67	7.3
8	6.2	38	6.6	68	7.4
9	6.3	39	6.6	69	7.4
10	6.5	40	6.7	70	7.5
11	6.6	41	6.7	71	7.5
12	6.7	42	6.7	72	7.6
13	6.8	43	6.8	73	7.6
14	6.9	44	6.8	74	7.5
15	7	45	6.7	75	7.5
16	7	46	6.7	76	7.4
17	7.1	47	6.7	77	7.5
18	7.1	48	6.7	78	7.5
19	7.2	49	6.8	79	7.5
20	7.2	50	6.7	80	7.4
21	7.3	51	6.7	81	7.5
22	7.3	52	6.7	82	7.5
23	7.2	53	6.7	83	7.5
24	7.2	54	6.6	84	7.5
25	7.2	55	6.7	85	7.6
26	7.2	56	6.7	86	7.5
27	7.1	57	6.7	87	7.5
28	7.2	58	6.8	88	7.6
29	7.2	59	6.7	89	7.5
30	7.3	60	6.7	90	7.5

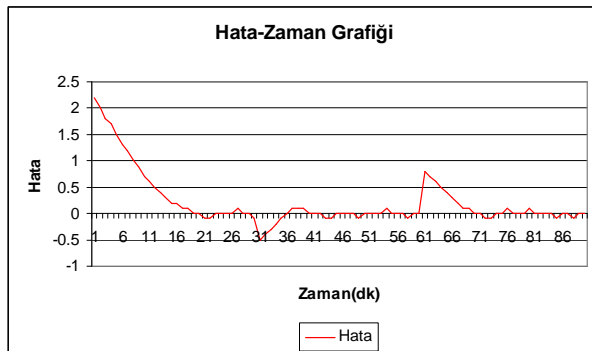


Şekil 10. Gerçek ve set basınç değerlerinin zaman göre değişimi.

Tablo 2. Basınç set değeri 6.5 , 7 ve 7.7 bar iken oluşan her bir dakikadaki gerçek basınç değerleri.

Set : 6.5 bar		Set : 7 bar		Set : 7.7 bar	
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
1	7.5	31	6.5	61	7
2	7.3	32	6.6	62	7.1
3	7.2	33	6.7	63	7.2
4	7.1	34	6.8	64	7.4
5	7	35	6.9	65	7.5
6	6.9	36	6.9	66	7.6
7	6.8	37	7	67	7.6
8	6.7	38	7	68	7.7
9	6.6	39	7	69	7.7
10	6.6	40	7.1	70	7.7
11	6.5	41	7	71	7.8
12	6.5	42	7	72	7.8
13	6.5	43	7	73	7.7
14	6.4	44	7.1	74	7.7
15	6.5	45	7	75	7.7
16	6.5	46	7	76	7.6
17	6.5	47	6.9	77	7.7
18	6.6	48	6.9	78	7.7
19	6.6	49	7	79	7.7
20	6.5	50	7	80	7.8
21	6.5	51	7	81	7.7
22	6.5	52	7.1	82	7.7
23	6.4	53	7	83	7.7
24	6.5	54	7	84	7.8
25	6.5	55	7	85	7.7
26	6.4	56	7.1	86	7.7
27	6.5	57	7	87	7.7
28	6.5	58	7	88	7.6
29	6.6	59	6.9	89	7.7
30	6.5	60	7	90	7.7

İkinci deneyde basınç set değeri  $6.5 \times 10^5$  pascal (6.5 bar) olarak girildi ve gerçek basınç değerinin zamana bağlı olarak değişimi 30 dakika boyunca izlendi. 31. dakikada set basınç değeri operatör panelinden  $7 \times 10^5$  pascal (7 bar) olarak değiştirildi ve gerçek basınç değerinin zamanla değişimi yine 30 dakika boyunca izlendi. 61. dakikada set basınç değeri  $7.7 \times 10^5$  pascal (7.7 bar) olarak tekrar değiştirildi ve gerçek basınç değerinin zamana bağlı değişiminin izlenilmesine devam edildi. Bu izlenen set ve gerçek basınç değerlerinin grafiği Şekil 12'de, hatanın grafiği ise Şekil 13'te verilmiştir.

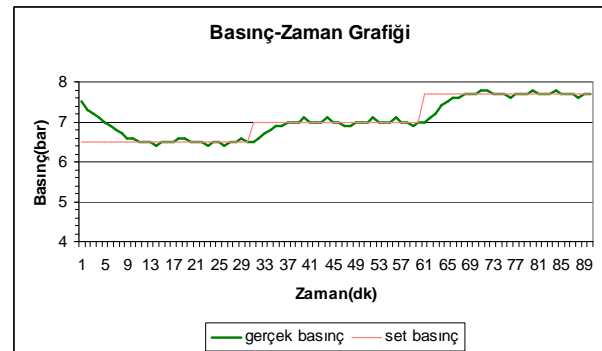


Şekil 11. Basınç Hata değerinin zamanla değişimi.

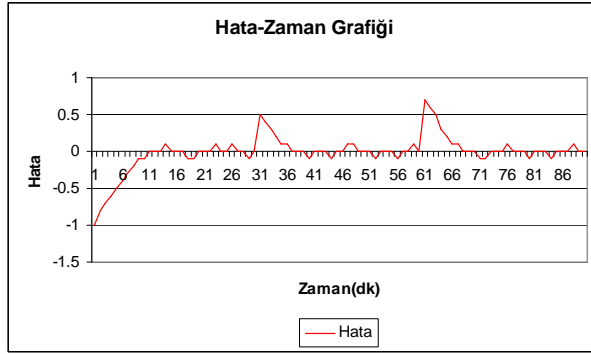
Tablo 3. Basınç set değeri 7.2 , 6.7 ve 7.7 bar iken oluşan her bir dakikadaki gerçek basınç değerleri.

Set : 7.1 bar		Set : 6.6 bar		Set : 7.4 bar	
Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)	Zaman (dk)	Basınç (bar)
1	7.7	31	7.1	61	6.6
2	7.6	32	7	62	6.7
3	7.5	33	6.9	63	6.8
4	7.4	34	6.8	64	7
5	7.3	35	6.7	65	7.1
6	7.2	36	6.7	66	7.2
7	7.2	37	6.6	67	7.3
8	7.1	38	6.6	68	7.3
9	7.1	39	6.6	69	7.4
10	7.1	40	6.5	70	7.4
11	7	41	6.5	71	7.4
12	7	42	6.6	72	7.5
13	7.1	43	6.6	73	7.5
14	7.1	44	6.6	74	7.4
15	7.1	45	6.7	75	7.4
16	7.1	46	6.7	76	7.4
17	7.2	47	6.6	77	7.4
18	7.2	48	6.6	78	7.3
19	7.1	49	6.6	79	7.4
20	7.1	50	6.5	80	7.4
21	7.1	51	6.6	81	7.4
22	7	52	6.6	82	7.5
23	7.1	53	6.6	83	7.4
24	7.1	54	6.6	84	7.4
25	7.2	55	6.5	85	7.4
26	7.1	56	6.6	86	7.3
27	7.1	57	6.6	87	7.4
28	7.1	58	6.7	88	7.4
29	7.2	59	6.6	89	7.4
30	7.1	60	6.6	90	7.4

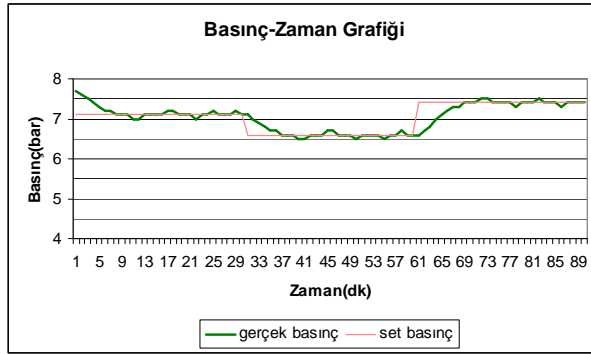
Üçüncü deneyde basınç set değeri  $7.1 \times 10^5$  pascal (7.1 bar) olarak girildi ve gerçek basınç değerinin zamana bağlı olarak değişimi 30 dakika boyunca izlendi. 31. dakikada set basınç değeri operatör panelinden  $6.6 \times 10^5$  pascal (6.6 bar) olarak değiştirildi ve gerçek basınç değerinin zamanla değişimi yine 30 dakika boyunca izlendi. 61. dakikada set basınç değeri  $7.4 \times 10^5$  pascal (7.4 bar) olarak tekrar değiştirildi ve gerçek basınç değerinin zamana bağlı değişiminin izlenilmesine devam edildi. Bu izlenen set ve gerçek basınç değerlerinin grafiği Şekil 14'de, hatanın grafiği ise Şekil 15'de verilmiştir.



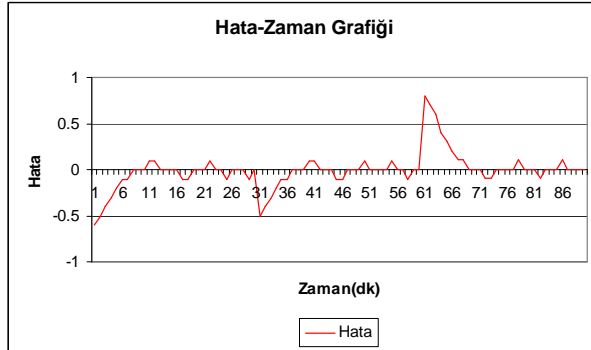
Şekil 12. Gerçek ve set basınç değerinin zamanla değişimi



Şekil 13. Basınç hata değerinin zamanla değişimi



Şekil 14. Gerçek ve set basınç değerinin zamanla değişimi



Şekil 15. Basınç Hata değerinin zamanla değişimi.

## SONUÇLAR

Sonuç olarak, gerçekleştirilen kontrol sistemi, kazan çıkışında sabit bir buhar basıncını elde edebilmek için, o noktadaki gerçek buhar basıncını ölçer, set değeri ile bu değerleri karşılaştırır ve buna göre taze hava fanının çalışma hızını belirler. Şekillerde de görüldüğü gibi bulanık mantık denetleyicinin çok iyi çalıştığı, istenilen set değerlerinin oldukça kısa süreler içinde yakalanmasından anlaşılmıştır. Set değerlerine ulaşıldıktan sonra basınç değerlerindeki değişim %1 sınırının altında kalmaktadır. Çalışma esnasında istenilen basınç değeri değiştirilebilmektedir. Bir barlık

bir değişimde yeni set değerine 5-6 dakikada ulaşabilmektedir. Buda bir kömür kazanı için oldukça kısa bir süredir. Yeni set değerinde basınç kararlı hale geldikten sonra bozucu etki olarak işletmeden ani buhar tüketimi sağlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicinin etkisiyle basınç değeri çok kısa sürede tekrar kararlı hale gelmiştir. Taze hava fanı aç-kapa tarzında çalışmadığından ihtiyaç miktarı kadar çalışmakta böylece hem enerji tasarrufu olmakta hem de daha az hatalı sonuç elde edilmektedir.

Sistem modeline ihtiyaç duymadan sadece uzman bilgilerini esas alan bulanık mantık denetleyici gerçek bir katı yakıtlı buhar kazanı sisteminde iyi neticelere ulaşmıştır. Ayrıca, insansı bir karar verme yeteneğine sahip bu denetleyici ile klasik denetim organlarına göre daha iyi neticeler elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Anonim. 2005. Manuel Kullanım Kılavuzu, Taoyuan Plant. Delta Electronics.
- Galichet, S., Foulloy, I. 1995. Fuzzy con trailers: synthesis and equivalencies, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 3, No:2, May, s. 140-148.
- Godjevac, J. 2000. Comparison between PID and Fuzzy Control, Ecole Ployteclinique, Internal Report, Lausenna.
- Grauel, A., Ludwig, L. 1999. Construction of Different able Membership Functions, Fuzzy Sets and Systems, 101 (2):219-225.
- Jang, J.S.R. 1993 Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems, IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, Vol. 23, No:3, 665-685.
- Kosko, B. 1997. Fuzzy Engineering, Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
- Mattavelli, P., Rossetia, L., Spiazzi, G., Tenti, P. 1997. General-purpose fuzzy controller for DC-DC converters, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 12, No: 1, 79-85.
- Mauer, G.F. 1995. A fuzzy logic controller for an ABS braking system, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 3, 381-388.
- Özçalık, H.R., Uygur, A.F. 2003. Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel-Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etkin Modellenmesi, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi Sayı. 6, No:1, 36-46.
- Ross, T.J. 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., America.
- Sugeno, M., 1992, Industrial Applications of Fuzzy Control North Holland, Amsterdam.
- Takagi, T., Sugeno, M. 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, IEEE Trans. Syst. Man Cybernet., 116-152.