

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84299

LOJİK KONTROLLÜ SİSTEMLERİN ANALİZİ  
VE ASENKRON MOTORLA TAHRİK EDİLEN  
JET FANINA UYGULANMASI

DOKTORA TEZİ

Ercüment KARAKAŞ

Ana Bilim Dalı : Elektrik Eğitimi

Danışman : Prof. Dr. Hasan KÜLÜNK

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMAN YAYIN MERKEZİ**

OCAK 1999

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LOJİK KONTROLLÜ SİSTEMLERİN ANALİZİ  
VE ASENKRON MOTORLA TAHRİK EDİLEN  
JET FANINA UYGULANMASI**

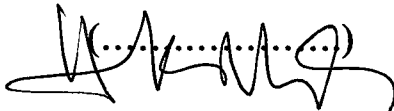
**DOKTORA TEZİ  
Ercüment KARAKAŞ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.12.1998**

**Tezin Sunulduğu Tarih : 07.01.1999**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Hasan KÜLÜNK**

(.....)  


**Üye**

**Prof. Dr. İrfan GÜNEY**

(.....)  


**Üye**

**Doç. Dr. Metin GÖKAŞAN**

(.....)  


**OCAK 1999**

# LOJİK KONTROLLÜ SİSTEMLERİN ANALİZİ VE ASENKRON MOTORLA TAHRİK EDİLEN JET FANINA UYGULANMASI

**Ercüment KARAKAŞ**

**Anahtar Kelimeler :** PID, BMD, Asenkron Motor Matematiksel Modeli,  
Matlab-Simulink Simülasyonu.

**Özet :** Birinci Bölümde, PID (Proportional Integral Derivative) ve BMD (Bulanık Mantık Denetleyici) sistemlerinin literatür taraması yapılarak bazı uygulamaları özetlenmektedir.

İkinci Bölümde, PID ve BMD sistemleri ile tipik bir jet fanının kontrolü ve buna ilişkin geleneksel ve bulanık mantık hakkındaki temel prensipler birlikte verilmektedir.

Üçüncü Bölümde, bir fan motorunun matematiksel modeli, bazı kabuller yapılarak, çıkarılmaktadır. Bu amaçla modern kontrol yöntemlerinin ileri bir düzeyi olan BMD sistemi bir jet fanına uygulanmaktadır.

Dördüncü Bölümde, matematiksel modelin bilgisayar ortamına aktarılması gerçekleştirilmektedir. Yüksek seviyede nümerik işlemlerin çözümüne uygun ve gösterim amaçlı yazılmış bir çeşit bilgisayar yazılım programı olan Matlab sayesinde, BMD sistemiyle, PID'ye kıyasla, çözümler daha kısa sürede elde edilmektedir.

Beşinci Bölümde, PID ve BMD simülasyon sonuçlarının grafiksel analizi sunulmaktadır. Karşılaştırma ve değerlendirme işlemleri, açısız hız, mil momenti, frekans CO ve VI değerlerine göre çalışan aktif fan sayısı bakımından yapılmaktadır.

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen analizde, yukarıda belirtilen fiziksel parametrelere göre kıyaslanan PID ve BMD sistemlerinden BMD'nin, daha üstün performansa sahip olduğu sonucuna varılmaktadır.

**THE ANALYSIS OF LOGIC CONTROLLED SYSTEMS  
AND ITS APPLICATION TO JET FAN DRIVED  
BY ASYNCHRONIZE MOTOR**

**Ercüment KARAKAŞ**

**Keywords :** PID, FLC, The Mathematical Model of Asynchronize Motor Simulation Simulation of Matlab-Simulink.

**Abstract :** In Chapter I, a literature survey of PID (Proportional Integral Derivative) and FLC (Fuzzy Logic Controller) is carried out and some applications are summarized.

In Chapter II, the control of typical jet fan and associated systems PID and FLC together with basic principles about conventional and fuzzy logic are presented.

In Chapter III, a mathematical model of a jet fan is obtained on the basis of assumptions. For this purpose FLC which is an advanced version of modern control techniques is applied to a jet fan.

In Chapter IV, the transfer of mathematical model into computer medium is realized. With Matlab software, which is very suitable to carry out high level numerical manipulations as well as visual purposes, the solutions are obtained in a shorter time compared with PID control with utilizing FLC monitoring system.

In Chapter V, the graphical analysis of PID and FLC are submitted. Comparison and evaluation operations are made in accordance with angular velocity, shaft torque, frequency and number of active fans which operate with CO and VI values as are obtained via sensors.

As far as the analysis realized in computer medium is considered, it is concluded that FLC system has predicted better performance as compared with PID system for the physical mentioned above.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, PID ve BMD sistemleri kıyaslanmakta, jet fan matematiksel modeli çıkarılmakta PWM ( Pulse Width Modulation = Darbe Genişlik Modülasyonu ) tekniği ile sürülmektedir. PID ve BMD sistemleri ile nominal yük momenti uygulanarak, açılma hız, mil momenti ve frekans basamak tepkileri incelenmektedir.

İnsan hayatı açısından çok zararlı olan CO ve toz miktarının en kısa sürede, en ekonomik ve güvenilir şekilde tünel içinden dışarı atılma işleminin BMD sistemiyle yapılmasının, PID'ye kıyasla, daha uygun olduğu sonucuna varılmaktadır.

Bu çalışmalarım süresince çok yoğun iş ortamına rağmen yardımını benden esirgemeyen Kurucu Dekanım Sayın Prof. Dr. Hasan KÜLÜNK'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Plymouth Üniversitesi, Mekatronik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Martin POLKINGHORN'a, benden görüş ve düşüncelerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İrfan GÜNEY, Doç. Dr. Selçuk VAROL, Yrd. Doç. Dr. Kadir ERKAN ve mesai arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Engin ÖZDEMİR, Öğr. Gör. Dr. Ercan ÖLÇER ve Arş. Gör. Bülent KARAGÖZ'e çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
TABLOLAR DİZİNİ .....	xix
<b>BÖLÜM 1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Geleneksel Mantıkla (Conventional Logic) Denetim Konusunda Yapılmış Çalışmalar .....	2
1.2 Bulanık Mantıkla (Fuzzy Logic) Denetim Konusunda Yapılmış Çalışmalar .....	6
1.3 Tezin Amacı ve İzlenen Yöntem .....	12
<b>BÖLÜM 2. GELENEKSEL VE BULANIK MANTIK KÜME TEORİSİ.....</b>	<b>14</b>
2.1 Geleneksel Mantık.....	14
2.1.1 Küme teorisi.....	15
2.1.2 Küme işlemleri .....	16
2.1.3 Kümelerin özellikleri .....	17
2.1.4 Küme fonksiyonlarının haritalanması .....	17
2.2 Bulanık Mantık .....	18
2.2.1 Küme teorisi .....	19
2.2.2 Kurallar .....	20
2.2.3 Çıkarım .....	21
2.2.4 Durulaştırma .....	22
2.2.5 Bulanıklaştırıcı .....	24

2.2.6 Veri tabanı .....	25
2.2.7 İşlemler .....	28
2.2.8 BMD temel blok diyagramları .....	31
2.2.9 Uygulama alanları .....	33
2.3 PID ve BMD İle Kontrol Edilen Sistemin Genel Blok ve İşaret Akış Diyagramları .....	34
2.3.1 PID ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı .....	34
2.3.2 PID ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı .....	36
2.3.3 BMD ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı .....	37
2.3.4 BMD ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı .....	39
2.3.5 PWM üretimi işaret akış diyagramı .....	40
<b>BÖLÜM 3. FAN MOTORLARININ MATEMATİKSEL MODELİ .....</b>	<b>41</b>
3.1 Giriş .....	41
3.2 Asenkron Makina Denklemlerinin (d-q) Dönen Eksen Takımında Elde Edilmesi .....	46
3.3 Bilgisayar Ortamına Aktarılan Denklem Takımları .....	51
<b>BÖLÜM 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>54</b>
4.1 Giriş .....	54
4.2 Matlab (Matrix Laboratory) Simülasyon Programı .....	54
4.3 PID (Proportional Integral Derivative = Oransal Tümevsel Türevsel ) Denetim Simülasyonu .....	55
4.4 Bulanık Mantık Denetim Simülasyonu .....	64
4.4.1 BMD ile yol verme kontrol yapısının oluşturulması .....	67
4.4.2 BMD il yük kontrol yapısının oluşturulması .....	74
4.5 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM = Pulse Width Modulation) Simülasyonu .....	84
4.7 Fan Motoru Matematiksel Modeli Simülasyonu .....	88

BÖLÜM 5. PID VE BULANIK DENETİMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....	91
5.1 Giriş .....	91
5.2 Açısal Hız Bakımından .....	91
5.3 Mil Momenti Bakımından .....	97
5.4 Frekans Bakımından .....	103
5.5 Fan Sayısı Bakımından .....	108
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	117
KAYNAKLAR .....	120
EKLER .....	130
ÖZGEÇMİŞ .....	138



## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

$a, b, c$	: Stator fazları
$\alpha$	: Açısal ivme ( $\text{rad/s}^2$ )
$\beta$	: Rotor “a” fazı ile d eksenini arasındaki açıdır ( $^\circ$ )
$B$	: Havalandırma olayında oluşan sürtünme kayıplarını karakterize eden katsayı ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ )
$b(t)$	: Zamana bağımlı geribesleme elemanı çıkışı
$\text{CO}$	: Karbonmonoksit
$de$	: Hata değişimi
$du$	: Denetleyici çıkış sinyali değişimi
$\text{DU}$	: Kontrol çıkış sinyali
$\Delta t_b$	: Boşta çalışma süresi (s)
$\Delta t$	: Jet fan mili açısal hızının maksimum (nominal) açısal hızına ulaşma zamanı (s)
$\Delta t_y$	: Yük momentinin kalkış anından kararlı duruma dönmesi için oluşan zaman farkı (s)
$\Delta T$	: Jet fanı miline yükün uygulanması sonucu oluşan moment arasındaki fark (Nm)
$\Delta T_k$	: Boşta çalışma ile kararlı duruma geçme arasında oluşan moment farkı (Nm)
$\Delta \omega$	: Açısal hız değişimi ( $\text{rad/s}$ )
$\Delta \omega_r$	: Referans açısal hız ile Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen açısal hız arasındaki fark ( $\text{rad/s}$ )
$e$	: Hata
$E$	: Hata değeri
$f(u)$	: u’ya bağımlı fonksiyon
$f_s$	: Stator frekansı (Hz)
$\Psi_{ds}$	: d eksenine indirgenmiş stator akısı

$\Psi_{qs}$	: q eksenine indirgenmiş stator akısı
$\Psi_{dr}$	: d eksenine indirgenmiş rotor akısı
$\Psi_{qr}$	: q eksenine indirgenmiş rotor akısı
H	: Geri besleme elemanı
$i_{as}, i_{bs}, i_{cs}$	: Stator faz akımları (A)
$i_{ar}, i_{br}, i_{cr}$	: Rotor faz akımları (A)
$i_{ds}$	: d eksenine indirgenmiş stator akımı (A)
$i_{qs}$	: q eksenine indirgenmiş stator akımı (A)
$i'_{dr}$	: d eksenine indirgenmiş rotor akımı (A)
$i'_{qr}$	: q eksenine indirgenmiş rotor akımı (A)
J	: Motor miline indirgenmiş toplam eylemsizlik momenti ( $\text{kg.m}^2$ )
$[K_r]$	: Rotor için yazılan Park Dönüşüm matrisi
$[K_s]$	: Stator için yazılan Park Dönüşüm matrisi
$K_p$	: Oransal kazanç
$K_I$	: Tümlenimsel kazanç
$K_D$	: Türevsel kazanç
$\chi$	: Haritalama karakteristiği fonksiyonu
$L_{ad}$	: d eksenine indirgenmiş toplam endüktans (H)
$L_{aq}$	: q eksenine indirgenmiş toplam endüktans (H)
$L_s$	: Stator endüktansı (H)
$L_r$	: Rotor endüktansı (H)
$L_{ss}$	: İki stator faz sargısı arasındaki endüktans (H)
$L_{rr}$	: İki rotor faz sargısı arasındaki endüktans (H)
$L_{sr}$	: Stator ve rotor arasında endüktans (H)
$L_{1s}$	: Stator devresine ait kaçak endüktans (H)
$L_{1r}$	: Rotor devresine ait kaçak endüktans (H)
$L_m$	: Fan motoru mıknatıslanma endüktansı (H)
$L_{ms}$	: Stator devresine ait magnetik karşılıklı endüktans (H)
$L_{mr}$	: Rotor devresine ait magnetik karşılıklı endüktans (H)
$\lambda_{as}, \lambda_{bs}, \lambda_{cs}$	: Stator faz sargı akıları

$\lambda_{ar}, \lambda_{br}, \lambda_{cr}$	: Rotor faz sargı akıları
$\lambda_{ds}$	: d eksenine indirgenmiş stator faz sargı akısı
$\lambda_{qs}$	: q eksenine indirgenmiş stator faz sargı akısı
$\lambda_{dr}$	: d eksenine indirgenmiş rotor faz sargı akısı
$\lambda_{qr}$	: q eksenine indirgenmiş rotor faz sargı akısı
$M$	: Karşılıklı (mutual) endüktans(H)
$\mu$	: Üyelik derecesi
$\mu_A$	: A kümesinin üyelik derecesi
$\mu_B$	: B kümesinin üyelik derecesi
$n_x$	: Söylem evreni içinde elemanların toplam sayısı, bayağı sayı
$P(X)$	: Güç kümesi
$P_1$	: CO sensörü giriş ekstrem değeri (ppm)
$P_2$	: VI sensörü giriş ekstrem değeri ( $m^{-1}$ )
$P_3$	: Fan sayısı çıkışı ekstrem değeri (adet)
$p$	: Makina çift kutup sayısı
$\Pi$	: Trapez fonksiyonu
$\Pi_b$	: Gauss çan eğrisi fonksiyonu
$R_s$	: Fan motoru stator direnci ( $\Omega$ )
$R_r$	: Fan motoru rotor direnci ( $\Omega$ )
$r(t)$	: Zamana bağımlı referans giriş sinyali
$T_e$	: Elektriksel moment (Nm)
$T_L$	: Yük momenti (Nm)
$t_k$	: Kararlı duruma geçme süresi (s)
$t_s$	: Salınımlı çalışma süresi (s)
$\theta$	: Stator "a" fazı sargı eksenini ile d eksenini arasındaki açı ( $^\circ$ )
$\theta_s$	: Stator "a" fazı ile rotor "a" fazı eksenini arasındaki açı ( $^\circ$ )
$u(t)$	: Zamana bağımlı denetleyici çıkış sinyali
$U(s)$	: s domeninde PID denetleyici çıkışı
$U_T$	: PWM üçgen dalga gerilimi (volt)
$\Lambda$	: Üçgen fonksiyonu
$V(s)$	: s domeninde gerilim (volt)

$V_{ds}$	: Stator d eksenine indirgenmiş gerilim (volt)
$V_{qs}$	: Stator q eksenine indirgenmiş gerilim (volt)
$V_m$	: Maksimum gerilim (volt)
$V_a, V_b, V_c$	: Sinüs kaynağı a, b, c faz gerilimleri (volt)
$V_{a1}, V_{b1}, V_{c1}$	: PWM çıkış faz gerilimleri (volt)
$V_{as}, V_{bs}, V_{cs}$	: Stator a, b, c faz gerilimleri (volt)
$V_{ar}, V_{br}, V_{cr}$	: Rotor a, b, c faz gerilimleri (volt)
$w(t)$	: Zamana bağımlı açısal hız (parabol için) (rad/s)
$w_{ref}$	: Referans açısal hız (rad/s)
$w_s$	: Stator açısal hızı (rad/s)
$w$	: Jet fan açısal hızı (rad/s)
$w_1$	: 1. Giriş açısal hızı (rad/s)
$w_2$	: 2. Giriş açısal hızı (rad/s)
$w_0$	: Çıkış açısal hızın ağırlık merkezi (rad/s)
$x$	: Söylem evreninin herhangi bir elemanı
$X_{ls}$	: Stator devresine ait kaçak endüktif reaktans ( $\Omega$ )
$X_{lr}$	: Rotor devresine ait kaçak endüktif reaktans ( $\Omega$ )
$X_{ss}$	: İki stator faz sargısı arasındaki endüktif reaktans ( $\Omega$ )
$X'_{rr}$	: İki rotor faz sargısı arasındaki kaçak reaktans ( $\Omega$ )
$X_M$	: Karşılıklı (mutual) endüktif reaktans ( $\Omega$ )
$X, Y$	: Söylem evrenleri
CPU	: Central Processing Unit $\equiv$ Merkezi İşlem Birimi
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyici
FLC	: Fuzzy Logic Controller $\equiv$ Bulanık Mantık Denetleyici
fansáy	: Fan sayısı
Matlab	: Matrix Laboratory $\equiv$ Matris Laboratuvarı
MB	: Mega Byte
MUX	: Multiplexer $\equiv$ Çoklayıcı
NB	: Negatif Büyük
NM	: Negatif Orta
NS	: Negatif Küçük

<b>PID</b>	: Proportional Integral Derivative $\equiv$ Oransal Tmlevsel Türevsel
<b>PI</b>	: Proportional Integral $\equiv$ Oransal Tmlevsel
<b>PB</b>	: Pozitif Büyük
<b>PM</b>	: Pozitif Orta
<b>PS</b>	: Pozitif Küçük
<b>PLC</b>	: Programmable Logic Controller $\equiv$ Programlanabilir Mantık Denetleyici
<b>ppm</b>	: Particle per million $\equiv$ Milyonda bir parçacık
<b>Sum</b>	: Toplama
<b>VI</b>	: Visibility Index $\equiv$ Görünürlük Endeksi
<b>Z</b>	: Sıfır



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	CO için geleneksel küme durumu .....	14
Şekil 2.2.	VI için geleneksel küme durumu .....	15
Şekil 2.3.	Bulanık küme teorisi .....	19
Şekil 2.4.	Bulanık kümede örtüşüm .....	20
Şekil 2.5.	VEYA tipi bulanık çıkarım .....	21
Şekil 2.6.	VE tipi bulanık çıkarım .....	22
Şekil 2.7.	Ağırlık Merkezi Metodu .....	23
Şekil 2.8.	Bulanıklaştırıcının temel yapısı .....	24
Şekil 2.9.	$\Lambda$ fonksiyonunun tanımı .....	25
Şekil 2.10.	$\Pi$ fonksiyonunun tanımı .....	26
Şekil 2.11.	Gauss çan eğrisi $\Pi_b$ fonksiyonunun tanımı .....	27
Şekil 2.12.	Karbonmonoksit ve üyelik derecesi değişimi	
	a) Geleneksel küme	
	b) Bulanık küme .....	28
Şekil 2.13.	Bulanık küme işlemleri	
	a) İki bulanık küme	
	b) Birleşme	
	c) Kesişme	
	d) Tümleme .....	25
Şekil 2.14.	BMD'nin blok yapısı .....	31
Şekil 2.15.	BMD'nin tipik bir kontrol sistemine uygulanması .....	32
Şekil 2.16.	PID denetleyici ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı .....	35
Şekil 2.17.	PID ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı .....	36
Şekil 2.18.	BMD ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı .....	38
Şekil 2.19.	BMD ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı .....	39
Şekil 2.20.	PWM üretimi işaret akış diyagramı .....	40

Şekil 3.1.	4 kutuplu 3 fazlı sincap kafesli simetrik asenkron motorun	
	a) Temel yapısı	
	b) Eşdeğer bağlantı şeması .....	43
Şekil 3.2.	$\omega$ açısal hızı ile dönen (d-q) referans eksen takımının	
	asekron makinanın stator ve rotor eksenleri ile geometrik ilişkisi .....	47
Şekil 3.3.	Asenkron makina d-q eşdeğer devresi .....	50
Şekil 4.1.	Sürekli (analog) işaretle çalışan temel denetim sistemi blok diyagramı ..	56
Şekil 4.2.	PID (Proportional Integral Derivative = Oransal Tümlensel Türevsel )	
	denetim simülasyonu blok diyagramı .....	58
Şekil 4.3.	Sinüs kaynağı bloğu simülasyonu .....	59
Şekil 4.4.	Mekanik uç bloğu simülasyonu .....	61
Şekil 4.5.	PID denetleyici ile fan sayısı denetimi blok diyagramları	
	a) $P_1=220$ ppm, $P_2=15 \cdot 10^{-3} m^{-1}$ , $P_3=22$ ekstrem değerleri için denetim	
	b) $P_1, P_2, P_3$ genel değerleri için denetim .....	62
Şekil 4.6.	PID fan kontrol bloğu .....	63
Şekil 4.7.	Bulanık mantık kontrol blok yapısı .....	64
Şekil 4.8.	Bulanık mantık kontrol bloğu simülasyonu .....	64
Şekil 4.9.	Anahtarlama mekanizması bloğu simülasyonu .....	65
Şekil 4.10.	Fis ( bulanık çıkarım sistemi) editöründen genel görünüm .....	66
Şekil 4.11.	“Ase.fis” yol verme editörünün genel görünümü .....	67
Şekil 4.12.	Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	68
Şekil 4.13.	Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı	
	(üçgen üyelik fonksiyonu) .....	68
Şekil 4.14.	Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	69
Şekil 4.15.	Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu) .....	71
Şekil 4.16.	Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı	
	(trapez üyelik fonksiyonu) .....	71
Şekil 4.17.	Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu) . ....	72
Şekil 4.18.	Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı	
	(Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	73
Şekil 4.19.	Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı	
	(Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	73

Şekil 4.20. Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	74
Şekil 4.21. “Yük.fis” yük kontrol editörünün genel davranışı .....	74
Şekil 4.22. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	75
Şekil 4.23. Yükü kontrol eden kontrol frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu) .....	76
Şekil 4.24. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	76
Şekil 4.25. BMD ile fan sayısı denetimi blok diyagramları a) $P_1= 220$ ppm, $P_2 = 15 \cdot 10^{-3} m^{-1}$ , $P_3=22$ ekstrem değerleri için denetim b) $P_1, P_2, P_3$ genel değerleri için denetim .....	78
Şekil 4.26. a) BMD CO girişi (üçgen üyelik fonksiyonu) b) BMD VI girişi (üçgen üyelik fonksiyonu).....	79
Şekil 4.27. BMD fan sayısı (fansay) kontrol çıkışı (üçgen üyelik fonksiyonu).....	80
Şekil 4.28. a) BMD CO girişi (trapez üyelik fonksiyonu) b) BMD VI girişi (trapez üyelik fonksiyonu) c) BMD fansayısı (fansay) çıkışı (trapez üyelik fonksiyonu) .....	81
Şekil 4.29. a) BMD CO girişi (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) b) BMD VI girişi (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	82
c) BMD fansayısı (fansay) çıkışı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	83
Şekil 4.30 Bulanık mantık fan kontrol bloğu .....	84
Şekil 4.31. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM = Pulse Width Modulation ) simülasyon blok diyagramı .....	85
Şekil 4.32. Darbe Genişlik Modülasyonunda (PWM) c sinüsoidal gerilimi ile üçgen dalganın karşılaştırmadan önceki durumu .....	86
Şekil 4.33. Darbe Genişlik Modülasyonunda (PWM) c sinüsoidal gerilimi ile üçgen dalganın karşılaştırma yapıldıktan sonraki durumu .....	87
Şekil 4.34. Fan motoru matematiksel modeli simülasyonu blok diyagramı .....	88
Şekil 5.1. PID denetleyici ile kontrol. Açısız hız-Zaman grafiği .....	93



Şekil 5.2.	PID denetleyici ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Açısal hız-Zaman grafiği .....	93
Şekil 5.3.	BMD ile kontrol. Açısal hız-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu)...	94
Şekil 5.4.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Açısal hız-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	94
Şekil 5.5.	BMD ile kontrol. Açısal hız-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu)..	95
Şekil 5.6.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Açısal hız-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu) .....	95
Şekil 5.7.	BMD ile kontrol. Açısal hız-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	96
Şekil 5.8.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Açısal hız-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	96
Şekil 5.9.	PID denetleyici ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği .....	99
Şekil 5.10.	PID denetleyici ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği .....	99
Şekil 5.11.	BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	100
Şekil 5.12.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	100
Şekil 5.13.	BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu) .....	101
Şekil 5.14.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu) .....	101
Şekil 5.15.	BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	102
Şekil 5.16.	BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	102
Şekil 5.17.	PID denetleyici ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği .....	104
Şekil 5.18.	PID denetleyici ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği .....	104
Şekil 5.19.	BMD ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu)...	105

Şekil 5.20. BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	105
Şekil 5.21. BMD ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu) ..	106
Şekil 5.22. BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu) .....	106
Şekil 5.23. BMD ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	107
Şekil 5.24. BMD ile kontrol. $T_{en}=234,395$ Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	107
Şekil 5.25. CO = 20 ppm, VI = $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	110
Şekil 5.26. CO = 40 ppm, VI = $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	111
Şekil 5.27. CO = 80 ppm, VI = $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	111
Şekil 5.28. CO = 150 ppm, VI = $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	112
Şekil 5.29. CO = 200 ppm, VI = $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	112
Şekil 5.30. CO = 220 ppm, VI = $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü .....	113
Şekil 5.31. CO = 20 ppm, VI = $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü .....	113
Şekil 5.32. CO = 40 ppm, VI = $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)	114
Şekil 5.33. CO = 80 ppm, VI = $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)	114
Şekil 5.34. CO = 150 ppm, VI = $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)	115
Şekil 5.35. CO = 200 ppm, VI = $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)	115

Şekil 5.36. CO = 220 ppm, VI = 15.10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup> giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları) 116



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	68
Tablo 4.2. Yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) (üçgen üyelik foksiyonu) .....	69
Tablo 4.3. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	69
Tablo 4.4. Yol verme işleminde kullanılan BMD kural tabanı .....	70
Tablo 4.5. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	71
Tablo 4.6. Yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	72
Tablo 4.7. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	72
Tablo 4.8. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	73
Tablo 4.9. Yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	74
Tablo 4.10. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	74
Tablo 4.11. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	76
Tablo 4.12. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	76
Tablo 4.13. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu) .....	77
Tablo 4.14. Yük kontrol işleminde kullanılan BMD kural tabanı .....	77
Tablo 4.15. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	79

Tablo 4.16. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	80
Tablo 4.17. BMD fan sayısı kural tabanı .....	80
Tablo 4.18. BMD fan sayısı (fansay) kontrol çıkışı sınır ve pik değerleri (adet) (üçgen üyelik fonksiyonu) .....	81
Tablo 4.19. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	82
Tablo 4.20. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	82
Tablo 4.21. BMD fan sayısı (fansay) çıkışı sınır ve pik değerleri (adet) (trapez üyelik fonksiyonu) .....	83
Tablo 4.22. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (Gauss çan eğrişi üyelik fonksiyonu) .....	84
Tablo 4.23. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (Gauss çan eğrişi üyelik fonksiyonu) .....	84
Tablo 4.24. BMD fan sayısı (fansay) çıkışı sınır ve pik değerleri (adet) (Gauss çan eğrişi üyelik fonksiyonu) .....	85
Tablo 4.25. Tipik bir fan motoru Matematiksel Modeli parametreleri .....	90
Tablo 5.1. PID ve BMD sistemlerinin açısız hız bakımından kıyaslanması .....	92
Tablo 5.2. PID ve BMD sistemlerinin mil momenti bakımından kıyaslanması .....	98
Tablo 5.3. PID ve BMD'nin CO ve VI giriş değerlerine göre devreye girebilecek aktif fan sayısı bakımından kıyaslanması .....	109

## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik-elektronik ve bilgisayar sistemlerinin yoğun kullanıldığı kontrol uygulamaları ile, optimum çözümlere daha kolay ulaşılabilmektedir. Bu alandaki uygulamalardan tünel havalandırma sistemi denetimi, dünyada ve ülkemizde, genelde PLC (Programmable Logic Controller = Programlanabilir Mantık Denetleyicileri) destekli, PID (Proportional Integral Derivative = Oransal Tümlensel Türevsel) denetleme tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Böyle bir sistemde çalışma süresi geleneksel mantık (conventional logic) ile yapıldığından dolayı, sistem kayıpları artmakta, yeni durumlara karşı en mantıklı ve seri tepki verebilme yeteneği azalmaktadır.

İnsan sağlığı ve çevre kirliliği alanlarında kullanılan tipik bir PID denetleme tekniği destekli PLC denetim sistemi ile FLC (Fuzzy Logic Controller = Bulanık Mantık Denetleyici = BMD) denetim sistemi arasında karşılaştırma yapılarak, optimum çalışma koşullarının saptanması ve kontrolü, ön plana çıkmaktadır.

Tünel havalandırma denetim sisteminde amaç, sürücüler için konforlu ve güvenli bir çevre sağlamaktır. Tünel içinde yeterli miktarda temiz hava akışı sağlanması ve bu denetim sisteminde kullanılan jet fanların tükettiği elektrik enerjisinin minimum seviyede tutulması hedeflenmektedir.

3 kilometreyi aşan uzun tünellerde, artan havalandırma sorunu, denetim ve işletim maliyetleri için çok önem taşımaktadır. Genelde tünel havalandırması, belli bir geometriye göre tünel tavanına tesis edilen jet fanları ile kontrol edilerek optimal duruma getirilmektedir. Jet fanlar, kirli havayı tünel içinden çıkış noktalarına doğru emmekte ve aynı zamanda içerideki is, kurum ve dumanın izin verilen seviyenin üstüne çıkmasını engellemektedir. Tünel içindeki kirlilik yoğunluğu, VI (Visibility Index = Görünürlük Endeksi) metreler ve CO (Carbonmonoxide = Karbonmonoksit ) bu amaç için geliştirilmiş cihazlar ile ölçülmektedir. Havalandırma denetimi, algılayıcılardan

alınan bilgi tabanına göre yürütülmektedir. Optimizasyon işlemlerine ilişkin komutlar, araçlar tarafından meydana getirilen atık gazlardaki kirlilik miktarı ile hava akışının sürümü ve tünel kıyılarındaki kirliliğin derecesine göre, jet fanlarına iletilmektedir. “Optimum” kelimesi, kirlilik yoğunluğunun karayollarınca kabul edilen belirli sınırlar dahilinde tutulması ve bu anda enerji tüketiminin minimum olması anlamına gelmektedir. PID modeli kullanıldığında, tünel içindeki araçlar tarafından meydana getirilen kirlilik emisyonu, arzu edilen sınırlar dahilinde, yeterli hassasiyette, kontrol edilememektedir. Bu model nonlinear olduğundan dolayı, işletim esnasında oluşan güç tüketiminin minimum seviyede tutulması güçleşmektedir (Hirota 1993), (Chen 1996).

Havalandırma amacıyla kullanılan PID denetim sisteminde devreye alınan eleman sayısının oldukça fazla olması, CO ve VI gibi kontrol parametrelerinin tanımlanmasını zorlaştırmaktadır. İnsan düşünce sistemine oldukça benzeyen BMD (Bulanık Mantık Denetim) sistemi ile bu tip problemlerin çözümü daha kolaylaşmaktadır (Hirota 1996), (Chen 1996).

Havalandırma sistemi denetimi, Matlab adlı veri tabanına (data base) sahip C++ diline uyumlu bir simülasyon programı ile tasarlanmaktadır. Jet fanlar PID ve BMD sistemleri uygulanarak, nominal yük momenti altında denetlenmekte ve performans açısından karşılaştırılmaktadır (Chen 1996), (Liaw 1996).

### **1.1 Geleneksel Mantıkla (Conventional Logic) Denetim Konusunda Yapılmış Çalışmalar**

1980’li yılların sonu ile 1990’lı yılların ortalarına kadar geçen 7-8 yıllık dönemde geleneksel mantık yaklaşımıyla gerçekleştirilen araştırmalar aşağıda özetlenmektedir.

Yüksel (1987), programlanabilir kontrol cihazlarının birçok endüstriyel işlemde kullanıldığını, röleli kontrol sistemlerinin yerini aldığı belirtmektedir. PLC’lerin otomasyonda bir devrim olduğu vurgulanmaktadır.

Karşanbaş (1989), son yıllarda programlanabilir kontrol uygulamalarında özellikle statik anahtarlamalı sistemlerin, proses bilgisayarları röle ve kontaktör denetimine kıyasla, dereceleri sürekli artan bir şekilde tesis edilmekte olduğunu belirtmektedir. Kablo bağlamalı kontrol sistemlerinde kararlılığın uzun süreli olmadığı ve uzun süreli çalışmalarda hata verdiği vurgulanmaktadır.

Davlin (1991), güç santrali kontrol sisteminde kullanılan PLC'lerin yenilenmesini gerçekleştirmiştir. 1960'lı yılların teknolojisini içeren PLC analog kontrol sistemleri, PC tabanlı yapılarak yeniden düzenlenmiştir.

Davlin (1991), eski gaz istasyonlarının yenilenmesi, düzenlenmesi ve kontrolü için PLC'leri kullanmıştır. PLC'lerde esnekliğin iyi olduğu ve kontrol sistemlerinde kullanıldığında, 1980'li yıllara kıyasla, verimin yükseldiği vurgulanmaktadır.

Kurtulan (1991), PLC kumanda devrelerinde röle, zaman rölesi gibi elemanların işlevini üstlenmekte olduğunu, ayrıca sayma, saklama, atlama gibi rölelerde bulunmayan fonksiyonları, daha esnek, karmaşık ve yetenekli kumanda problemlerinin çözümüne olanak sağladığını belirtmektedir.

Özorbeyi (1991), günümüz endüstrisinde otomasyonu sağlamak amacıyla kullanılan geleneksel röleli sistemlerin yerine, günümüzde programlanabilir denetleyicilerin kullanıldığını açıklamaktadır. Aynı yazar birçok firmanın çeşitli yeteneklerde programlanır denetleyici tasarımı gerçekleştirdiğini, bu ürünler arasında fazla uygunluk bulunmadığını ancak denetim dilinde benzerliklerin bulunduğunu ifade etmektedir.

Ram (1992), PLC'nin, çok geniş olarak üretim sistemlerinde, mantık denetimi için kullanıldığını belirtmektedir. PLC'lerin otomatik üretim işlemlerinde ve malzeme taşımacılığında hizmet verdiği açıklanmaktadır. Üretim sistemlerinde taleplerin değişmesi sonucu çok sık yeni yazılımlara ihtiyaç duyulduğu, değişiklikler ile birlikte yeni kontrol yazılımlarının oluşturulması gerektiğini belirtilmektedir.



Lu (1992), bir PLC kontrol programında harcanan zamanın testi ve geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır. Bu problemlerin, bilgisayar ortamında, kontrol programlarının testi ile yok edilebileceği vurgulanmaktadır.

ABB (1993), güç konverterlerinde kullanılan yüksek hızlı programlanabilir denetleyiciler ile alternatif akım motorlarının kontrol edilmesine ilişkin araştırma sonuçlarını vermektedir.

ABB (1993), yüksek hızlı programlanabilir denetleyiciler ile İsviçre Mont Seil'de kurulan 500 kW gücünde güneş enerjisi güç istasyonunun şebekeye bağlantısını incelemektedir.

Aksoy (1993), Doğu Karadeniz Bölgesi metal döküm endüstrisinde kullanılmak üzere, tamamen yerli teknoloji ile kurulmuş olan, 280 bar'lık bir hidrolik sistem pres makinasını ele alarak, öncelikle elektromekanik düzenele gerçekleştirilen bu sistemin bir yıllık çalışma döneminde otomasyon açısından verimliliğini gözetlemektedir. Gözetleme sonucunda elektromekanik düzeneğin istenilen verimde çalışmadığı saptanarak bunun yerine, PLC'li otomasyon sistemi önerilmekte ve tasarlanmaktadır.

Güney (1993), otomatik şalterlerin kalite kontrolünde, insanların devreye girmesiyle oluşacak hataların, otomasyonun bilgisayar ve programları denetleyicilerle gerçekleştirilmesiyle minimuma indirilebileceğini belirtmektedir.

Güney (1993), gittikçe yaygınlaşan PLC'yi orta gerilim transformatör merkezlerinin ölçüm ve koruma sistemine uygulamıştır.

McDonald (1993), merdiven diyagram yöntemlerini kullanmadan, yüksek programlama dili "C" vasıtasıyla, yiyecek ve kimyasal işlemler içeren kontrolleri PLC ile gerçekleştirmiştir.

Paula (1993), birçok endüstriyel kontrol ve/veya güvenlik uygulamalarında kullanılan PLC'lerin, nicel güvenilirlik analizini incelemiştir. Bu çalışmalarında, PLC

uygulamalarında oluşan hata oranları detaylı olarak verilmiştir. PLC'lerde kullanılan tekil işlemci hatası, anahtarlama kontrol fonksiyonları bakımından, diğer işlemcilere göre, daha az bulmuş olup, çalışma aralığı oranı %98,37'den %99,59'a çıkarılmaktadır.

McIntosh (1993), PLC tabanlı sistem ve kontrol yapılarının geliştirilebilmesi için PLC yazılım kütüphanesi bileşenlerinin standartlaştırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Hood (1993), Amerika Birleşik Devletleri Illionis Eyalet Merkezinde, gaz depolama akış hızını, basınç ve sıcaklık kontrolünü PLC denetimiyle gerçekleştirmiştir.

Uzam (1993), bir endüstriyel ortam için gereken denetim işlevinin tasarlanmasında PLC seçimini etkileyen en önemli faktörlerin giriş/çıkış sayısı olduğundan hareketle, bu giriş ve çıkışların ilgili olduğu elemanları ortaya çıkarmıştır. PLC'lerde yaygın olarak kullanılan giriş/çıkış arabirimleri hakkında önemli kriterler ortaya konulmuştur.

Üstündağ (1993), endüstriyel tesislerin otomasyon işlerinde PLC'lerin yaygın olarak kullanıldığını ancak PLC'ler ile proses kontrolünde gerekli programın sentezine yönelik evrensel bir algoritmanın henüz ortaya konmadığını belirtmektedir. Kullanılmış lojik tekniklerinin, iki sebepten dolayı, etkin bir sonuç veremediği; bunların birincisinin prostedeki durum değişikliklerinin olay tarafından sürülebilmesi yanında zamana bağlı değişikliklerin de olması, diğer nedenin ise PLC komut kümesinde tanımlı bulunan fonksiyonların etkin biçimde kullanımına uygun olmayışı gösterilmektedir. Sorunun giderilmesi amacı ile lojik yaklaşıma bazı iyileştirmeler önerilmektedir.

Davlin (1991), Russelectric Şirketinin türbin-generatör grubunun kontrolü ve şebekeye bağlantısına ilişkin PLC uygulamasını incelemektedir.

Halang (1994), PLC'lerin proses kontrolünde çok popüler olduğunu ancak yazılımının çok karmaşık olabileceğini vurgulamaktadır.

Yukarıda belirtilen 20'yi aşkın yerli ve yabancı araştırmacının çalışmaları incelendiğinde daha ziyade; röleli kontrol, PID ve PLC denetim sistemlerinin sürülmesi ve bunların geniş bir yelpazedeki endüstriyel uygulamaları üzerinde yoğunlaştığı halde insan düşünce sistematığına daha çok benzeyen ve henüz gelişme aşamasında olan BMD sistemlerine hiç değinilmediği görülmektedir. İlerleyen sayfalarda inceleneceği üzere, bunun BMD denetim sistemiyle yapılması çok daha uygun olup, bu yaklaşımın referans olarak seçilen tipik bir tünel için incelenmesi Tez'in özünü oluşturmaktadır.

## **1.2 Bulanık Mantıkla (Fuzzy Logic) Denetim Konusunda Yapılmış Çalışmalar**

1989-1997 döneminde BMD yaklaşımı ile gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar ise aşağıda özetlenmektedir.

Evans (1989), endüstri ve sistem mühendisliği alanında seçilmiş uygulamaları bulanık küme yaklaşımı ile incelemiştir.

Imiida (1990), ısı pompası takviyeli bir klima sisteminde enerji tasarrufu sağlanması ve yüksek olan gürültü seviyesinin düşürülebilmesi için bulanık mantık simülasyonu önermiştir.

Liaw (1991), tipik bir asenkron motor sürücüsü için, dinamik bir model geliştirerek, rotor hız kontrolünde, bulanık denetleyici sisteminin kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaynak (1992), geleneksel ve bulanık mantık denetleyicilerini kıyaslamıştır. Geleneksel denetleyici, denetim sürecinin matematiksel modele ihtiyaç duyduğu, süreç değişkenleri ölçümlerinin doğru ve kesin olması gerektiği, karmaşık kontrol içeren uygulamalarda ise sistemin ekonomik olmadığı; halbuki BMD'nin, kontrol için uzman deneyimlerine ihtiyaç duyduğu, kesin olmayan bilgileri kullanabildiği, ucuz algılayıcılar sayesinde sürecin ölçümüne esneklik kazandırdığı ve hızlı tepki verdiği belirtilmiştir.

Min (1992), PWM tekniği kullanılan AC motor sürücüsünü, BMD ile, kontrol etmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, geliştirilen bu yöntemle geleneksel metodlara göre, daha iyi performans sağladığı belirtilmiştir.

Ishizuka (1992), bazı BMD durulaştırma devrelerinin tasarımını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla bazı donanım, transistör yapıları ve devre bağlantıları geliştirilmiştir.

Hirota (1993), tünel havalandırma kontrol sisteminin genel görüntüsünü vererek, detaya girmeden, tünel içinde kirlilik tahmini için bulanık model tanımlamıştır. Tünel havalandırma maliyetlerinin, BMD ile, düşeceği önerilmiştir.

Liu (1993), PID denetleyicilerde sabit kazançlar bulunduğunu, oysa BMD ile birlikte kullanıldığında, değişken kazançlar tanımlanabildiği belirtilmiştir.

Başbuğ (1994), bulanık mantık konusunda genel bilgiler vererek, bulanık kümelerin ve kuralların bir araya toplanmasıyla, denetim yüzeyi oluşturulmasından dolayı, sistemin matematiksel davranışı tam olarak belli olmadığı durumlarda bile, denetleyicilerin rahatlıkla tasarlanabileceğini ifade etmektedir. Bulanık mantığın, bulanık küme teorisine dayanan, matematiksel disiplin olduğu vurgulanmaktadır.

Lin (1994), BMD tabanlı PWM inverter ile tipik bir AC motoru sürmüştür. PID ve BMD sistemleri karşılaştırılarak, bulanık mantığın daha başarılı olduğu vurgulanmıştır.

Chen (1994), asenkron motor hız denetiminin, PID ve yapay sinir ağlı BMD ile yapılabileceğini göstermiştir.

Sayed (1994), asenkron motor hız kontrolünü, BMD ile gerçekleştirmiştir.

Munakata (1994), bulanık sistemlere genel bir bakış yapmıştır. Bulanık mantığın uygulandığı ticari ve endüstriyel uygulamalar yıl bazında incelenmiştir. Bulanık mantığın tarihsel gelişimi çıkarılarak, bulanık mantığın; ulaşım, elektronik, robotik,

bilgisayar, telekomünikasyon, mühendislik, tarım, yönetim ve eğitim gibi özel uygulama alanlarının listeleri çıkarılmıştır.

Qin (1994), doğrusal olmayan proses kontrolü için bulanık mantık kullanımını inceleyerek, asit çözücüsü prosesinde PID ve Bulanık Mantık Denetleyicinin birlikte kullanılabileceğini göstermiştir.

Liu (1994), doğrusal olmayan sistemler için, BMD'yi incelemiştir. Bulanık mantık yardımıyla sistemin yaklaşımı üzerinde durulmuştur. 49 adet bulanık kural tanımlanarak, geliştirdiği matematiksel model ikinci dereceden doğrusal sisteme uygulanmıştır. Ayrıca Liu, bulanık modelin bilgisayar simülasyonunu gerçekleştirmiştir.

Tan (1994), verilen genel bir doğrusal geribeslemeli kontrol için, BMD tasarımını gerçekleştirmiştir. Doğrusal kontrol için yazılan kuralların pratikte de uygulanabileceği önerilmiştir.

Holtz (1994), elektronik güç dönüşümü için PWM tekniğini ele alarak bunun matematiksel algoritmalarını geliştirmiştir.

Baliga (1994), değişken frekanslı sürücüler için, yarı iletken malzeme içeren cihazların güç devrelerinde fonksiyonlarını inceleyerek bunların transistörlü eşdeğer devrelerini çıkarmıştır.

Altaş (1994), üç fazlı asenkron motorun bir PV (güneş pili) paneli tarafından sürülmesi sonucu maksimum gücün eldesi amacıyla BMD uygulaması yapmıştır. Bulgular PID denetleyici ile karşılaştırıldığında, bulanık mantığın başarılı olduğu vurgulanmıştır.

Guyette (1994), sınıf listesi için kural tabanlı bir uzman sistem yaklaşımı geliştirmiştir. Bilgisayar tabanlı düzlemde, uzman sistem tasarımı yaklaşımıyla; öğretim elemanı, verdiği ders ve ders saati gibi veriler girilerek, insan düşünce sistematığına yakın sınıf listesi, görev dağılımı, başarılı bir şekilde, gerçekleştirilmiştir.

Ghaffari (1994), buhar güç santrallerinde ısıtıcı kontrolünü BMD ile gerçekleştirerek, bulguları PID ile kıyaslamıştır. Bunun sonucunda, BMD'nin daha başarılı olduğunu gösterilmiştir.

Tang (1994), değişken hızlı sürücünün yapay zeka ile kontrolü için bulanık mantık uygulaması yapmıştır. Bulanık mantık, uzman sistemler, yapay sinir ağları gibi yapay zeka tekniklerinin modern otomasyon işlemlerinde daha başarılı olduğu vurgulanmıştır.

Sousa (1995), asenkron motor hız denetimini, vektör kontrollü olarak, bulanık denetleyici ile gerçekleştirmiştir. Uygulama TMS320C25 dijital sinyal işlemcisi yardımıyla yapılmıştır.

Fletcher (1995), havalandırma tünellerinde, ateşten dolayı oluşan, duman hareketinin nümerik simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Çalışmada, tünel içindeki duman hareketi ve ateşin analizi için modelleme yapılmıştır.

Bonissone (1995), General Electric Şirketi'nde bulanık mantığın endüstriyel uygulamalarını incelemiştir. Bu uygulamalar arasında; hava yastıklı (air craft) makina, lokomotif, buhar türbini, güç besleme birimi ve bulaşık makinası kontrolü yer almaktadır.

Mendel (1995), mühendislikte bulanık mantık sistemlerini, özel bir ders notu şeklinde bulanık mantık terminolojisini, küme işlemlerini, bulanık mantık sisteminin mühendislikteki yerini, dilsel değişkenlerini, geleneksel küme işlemlerini ve mantığını karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

Nijhuis (1995), standart mikrodenetleyicilerin bulanık mantık ile optimizasyonunu incelemiştir. Mikrodenetleyicilerin hafıza kullanımı ve işlem hızının bulanık mantık kullanımı ile iyileştirilebileceği araştırılmıştır.

Çaşkurlu (1995), sabit v/f ilkesi ile tasarlanan sürücü düzeneklerinin sürekli durum hız hatasını minimum yapmaya, hızlanma ve yavaşlama esnasında PID denetleyicilerde

gözlenen kararsız çalışma durumlarını ortadan kaldırmaya ilişkin çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla, moment ve akı denetim altında öğrenebilen, geribeslemesiz, BMD tasarlanmıştır.

Xiong (1995), BMD tasarımı için yeni bir metodoloji geliştirmiştir. Kontrol işlemleri esnasında ölü zaman etkisi azaltılmaktadır. Kural tabanının, yeni metodoloji ile, prosesin genel dinamiğine daha kolay uyum sağladığı gösterilmiştir.

Palm (1995), bulanık girişler hakkında bilgi vererek Bulanık Mantık Teorisine açıklık getirmiştir. Giriş sinyallerinin bulanıklaştırılması incelenerek matematiksel bağıntıları çıkarılmıştır.

Tsukano (1995), analog bulanık fonksiyon bloklarının sentezini gerçekleştirmiştir. SPICE simülasyonu yardımıyla maksimum ve minimum devreleri incelenmiştir.

Richter (1996), küçük tipte deniz araçlarında kullanılan otomatik plot sistemini; PID denetleyici, kendi kendini organize eden BMD ve yapay sinir ağı BMD ile kontrol ederek, sistemde iyileştirme gerçekleştirmiştir. Sonuçta, yapay sinir ağı bulanık denetimle; daha hızlı öğrenen, daha az hata yapan, yeni bir üretim ve yeni bir kontrol modeli elde edilmiştir.

Hall (1996), Matlab (Matrix Laboratory) yazılım programının teknolojik gelişmeler için kullanılabilirliğini ve algoritmalara uygunluğunu incelemiştir. Bulanık sistem araç kutusundan bahsederek, dinamik sistem simülasyon paketi (Simulink) içinde, BMD'nin kullanımı gösterilmiştir.

Gray (1996), orta güçlü (1 Hp'den 125 Hp'ye kadar) AC motorlarının daha verimli çalışabilmesi için IEEE standardını geliştirmiştir.

Hsu (1996), asenkron motorların endüstride en çok kullanılan motor tipi olduğunu belirterek, Hava Aralığı-Moment metoduyla, yük değişimlerine ait verimleri incelemiştir.



Liaw (1996), asenkron motorun sürülmesinde, bulanık mantık uyumlu, alan-etkileşimli bir mekanizma gerçekleştirmiştir. Asenkron motor PWM ile sürülmüştür.

Huang (1996), çok katlı Bulanık Mantık Denetleyici kullanılarak, asenkron motorun yüksek performanslı hız ve pozisyon taramasını ve laboratuvar ortamında testlerini gerçekleştirmiştir. BMD'nin, PID'ye kıyasla, birçok avantaja sahip olduğu ve özellikle matematiksel modele ihtiyaç göstermediği, böylece sistem parametrelerine bağımlılığın azaldığı ileri sürülmüştür.

Chen (1996), karayolu tünellerinin havalandırma sistemindeki en önemli sorunların başında, düşük oranda karbonmonoksit (CO) yoğunluğu ve yüksek düzeyde görünürlük oranı (VI) sağlanması olduğunu belirtmiştir. Algılayıcı tabanlı ve BMD kullanılan bir tünel havalandırma sistemi, bilgisayar ortamında, başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Wade (1997), asenkron makina vektör kontrolünü Matlab/Simulink programı ile bilgisayar ortamında incelemiştir. Asenkron motor, PWM inverter ile sürülmüştür.

Kischkat (1997), civatalamanın otomotiv sanayinde büyük bir önem taşıdığını, yapılan hatalı civatalama ile moment-açı akışının değiştiğini ve bunun da kalite ve emniyeti etkilediğini incelemiştir. Uzman sistemine dayalı bulanık mantık kullanarak, civatalamada meydana gelen hataların tespiti ve giderilmesi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Blasko (1997), üç fazlı AC-DC gerilim kaynaklı çeviricinin, yeni bir matematiksel modelle, kontrolünü gerçekleştirmiştir.

Bellasio (1997), trafikten dolayı tünel içinde oluşan kirlilik yoğunluğunun tanımlanabilmesi için iki model geliştirmiştir. Ancak tünel içindeki fiziksel olayların kontrolünden bahsetmemiştir. Araçların hareketinden dolayı tünel içinde oluşan türbülanslı hava akımının davranışı ve tüneldeki kirliliğin bulanık mantıkla denetimi bilgisayar ortamında incelenmiştir.



Karakaş (1997), yenilenebilir enerji kaynaklarının kontrolü için bulanık mantık yaklaşımını önermiştir. PID ile kontrol edilen melez sistemler ve BMD ile kontrol edilen melez sistemlerin karşılaştırılması yapılarak, BMD'nin daha üstün olduğu vurgulanmıştır.

Yukarıda belirtilen BMD sistemine ilişkin çalışmalar PID ve PLC denetim sistemlerinin daha gelişmiş bir nesli olarak değerlendirilir. Bazıları tünel havalandırmasını da kapsayan BMD sistemleri üzerindeki yoğun incelemelerin gelecekte de süreceği düşünülmektedir. Özellikle enerji tasarrufu ve çevre kirliliği gibi doğaya ilişkin değerlerin dünya boyutunda uluslararası önem kazanması ve ihtiyaçların hızla artması nedeniyle, tepki süresi mümkün olduğunca küçük BMD sistemleri ön plana çıkmaktadır. Gelişen bilgisayar dilleri ve hızlı mikroişlemcilerle paralel olarak BMD sistemi her geçen gün yaygın kullanılabilir olacaktır.

### **1.3 Tezin Amacı ve İzlenen Yöntem**

Tipik olarak seçilen karayolu üzerindeki bir tünel içinde araç emisyonlarından oluşan karbonmonoksit (CO) ve benzeri, insan ve her türlü canlı sağlığına zararlı, gazların ve görünürlük oranının (VI) düşmesine sebep olan toz parçacıklarının; güvenli ve ekonomik olarak, en kısa sürede dış ortama atılabilmesi, denetimli bir jet fan havalandırma sisteminin çalıştırılmasına bağlıdır. Bu Doktora Tezinin amacı; PID ve BMD tekniklerini, Matlab-Simulink adı verilen ileri bilgisayar diliyle hazırlanan paket programla, gelişmiş sanal bilgisayar ortamında işletmek, tipik olarak seçilen tünel için; açısal hız (rad/s), mil momenti (Nm), frekans (Hz), jet fan sayısı CO ve VI temel parametreleri bakımından analiz yapmak ve bulguları karşılaştırmaktır. Bu parametreler; kontrol tekniğine kolayca uyum sağlamaları ve son ikisinin sınır değerlerinin karayollarınca bilinmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Gerçek proje maliyeti milyonlarca doları aşan bir tünel havalandırma uygulamasının sanal bilgisayar ortamında da olsa bile tasarlanması çok heyecan verici bir çalışma niteliğindedir. Bu amaçla, Pentium 120<sup>+</sup> işlemcili, 420 MB Hard Disk, 16 MB RAM ve

Windows'95 işletim sistemi olanaklarına sahip gelişmiş bir bilgisayar sistemi kullanılmaktadır.

Literatürde üç tip üyelik fonksiyonuna rastlanmaktadır. Yapılan bu çalışmaların sonucunda üçgen tipin daha yüksek performans sergilediği belirtilmektedir (Chen 1996), (Liaw 1996). Enerji ekonomisi açısından, yüksek performans tercih edilmesi nedeniyle, Tez'de bu üç fonksiyonun bulanık kontrolör tasarımı yapılarak bulgular kıyaslandığında, literatürdeki gibi, üçgen tipin daha yüksek performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

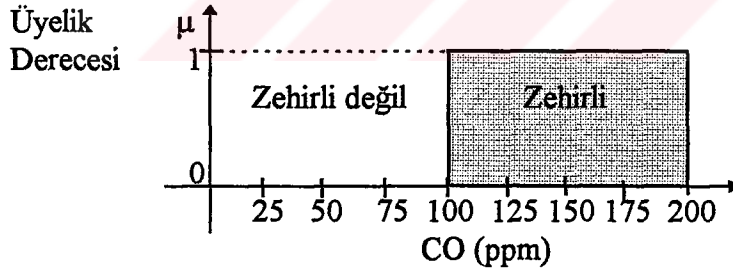
Yurtdışı ve yurtiçi üniversite ve araştırma merkezlerinde benzer konularda çalışan pekçok bilim adamının da, tasarımlarını sanal bilgisayar ortamında, simülasyonlar şeklinde, yaptıkları gözlenmektedir. PLC denetimi kullanılan veya gelecekte kullanımı planlanan tünellerin havalandırma sistemleri ile elde edilen veriler gelecekte literatürde yayınlandıkça, bu Tez'de önerilen BMD yaklaşımının daha popüler hale geleceği düşünülmektedir. Bu bakımdan, Tez'de önerilen BMD uygulaması ve buna göre yapılan tasarım, gelecek birkaç yıl içinde daha da güncel hale gelecek ve pek çok uygulama alanı bulabilecektir. Örneğin yakın bir gelecekte inşa edilmesi planlanan İstanbul Boğaziçi su-altı tüp geçidi havalandırma sisteminde BMD uygulamasının, PLC'ye kıyasla, daha rasyonel olacağı düşünülmektedir.

## 2. GELENEKSEL VE BULANIK MANTIK KÜME TEORİSİ

### 2.1 Geleneksel Mantık

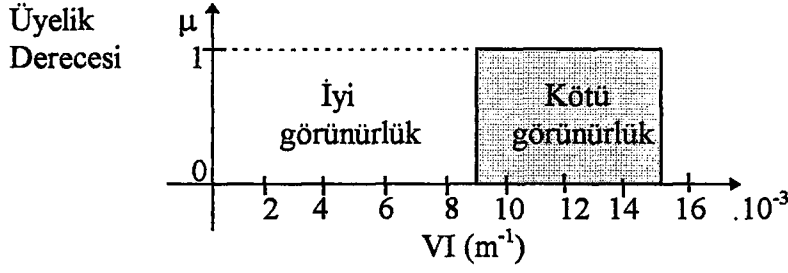
Geleneksel (conventional) mantıkta, herhangi bir nesne bir kümeye aittir veya ait değildir. Bu 0 veya 1 değerlerinde oluşan ikili (binary) mantıktır. Bu iki değer arasında değerler yoktur. Örneğin 0-1 mantığı ile çalışan PLC'lerde çıkış ya "0" 0 volt ya da "1" 24 voltur. Bu iki değer arasında değerler yoktur. Bu durumda PLC ile kontrol edilen bir piston ya hava girişi sağlanarak itme oluşacak (lojik 1) ya da pistonunda herhangi bir hareket oluşmayacaktır (lojik 0).

Geleneksel mantık ile kontrol edilen CO ve VI değerlerinin üyelik durumları Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de görülmektedir. Bu duruma göre, 100 ppm'de tünel içindeki hava zehirli olduğu halde, 99 ppm değerinde zehirli sayılmamaktadır (Chen, P. H. and et al, 1996).



Şekil 2.1. CO için geleneksel küme durumu

Benzer şekilde VI için yapılacak olursa,  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  değerinde görünürlük kötü olduğu halde  $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  değerinde görünürlük kötü sayılmamaktadır.



Şekil 2.2. VI için geleneksel küme durumu

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'den görüleceği gibi geleneksel mantık çok keskin bir yapıya sahiptir. Yaşantılarımızda olaylar ve dilsel ifadeler bu kadar keskin değildir. Geleneksel mantık ile ifade edilen zehirli-zehirli değil ifadeleri, az zehirli, daha az zehirli, çok zehirli, iyi görünürlük-kötü görünürlük yerine az görünürlük, daha az görünürlük, iyiye yakın, kötüye yakın görünürlük, orta görünürlük gibi dilsel ifadelere dönüştürerek gerçek dünyaya (real world) uyarlar (Koyama T., et al, 1993).

### 2.1.1 Küme teorisi

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere "Zehirli" veya "Zehirli Değil" sözcüğü pek çok elemandan oluşan kümeyi ifade eder. Bu nedenle, PLC ve BMD sistemleri Küme Teorisi (Set Theory) ile yakından ilgili bulunmaktadır. Bu nedenle kümelere ait temel işlem kurallarının bilinmesi ve kullanılması zorunlu olmaktadır. Söylem evreni olarak adlandırılan, aynı karakteristikleri taşıyan tüm objelerin kümesi X diye tanımlanmaktadır. Bu evrende her eleman x olarak gösterilmektedir. Söylem evreninin elemanları kesik ve sonlu veya sürekli veyahut da sonsuz olabilir. X söylem evreni içindeki elemanların toplam sayısı, bayağı bir sayıdır ve  $n_x$  olarak tanımlanmaktadır. Bir A kümesi, X söylem evreninde, elemanların bir araya getirilmesiyle oluşur. Bu durumda A kümesi, X söylem evreninin bir alt kümesidir (Jamshidi 1993).

Boş küme  $\phi$  hiç elemanı olmayan bir küme olarak tanımlanabilir ve söylem evreninde tüm kümelerin elemanı olarak nitelendirilebilir. X söylem evreninin tüm alt kümeleri güç kümesi P(X) olarak adlandırılan özel bir kümeyi kapsar. Örnek verilecek olursa; 3

elemanlı bir söylem evreni için,  $X = \{a, b, c\}$ , bayağı sayısı  $n_x = 3$  ve güç kümesi  $2^{n_x} = 2^3 = 8$  elemanlıdır.

### 2.1.2 Küme işlemleri

A ve B, X söylem evreninde iki küme ise; bu iki kümenin birleşimi,  $A \cup B$  olarak gösterilir ve X söylem evreninin tüm elemanları A kümesine veya B kümesine veyahut da her iki kümeye aittir (Terano 1994).

İki kümenin kesişimi  $A \cap B$  olarak gösterilir ve X söylem evreninde tüm elemanlar A ve B kümelerine aittir.

Bir A kümesinin tamlanması  $A^c$  olarak gösterilir ve X söylem evreninde tüm elemanların birleşimi A kümesinde değildir (Terano 1994).

A kümesinin B kümesini kapsamaması,  $A \subset B$  olarak gösterilir ve A kümesinin tüm elemanlarının B kümesinin elemanlarını içerdiğini belirtir. Fakat B kümesinin elemanları A kümesini içermemektedir (Terano 1994).

Küme işlemleri için iki özel Kanun tanımlanmaktadır. Bunlar Harici Orta Kanunu ile De Morgan Kanunudur (Terano 1994).

Harici Orta Kanunu :

$$A \cup A^c = X \quad (2.1)$$

De Morgan Kanunu :

$$(A \cap B)^c = A^c \cup B \quad (2.2)$$

$$(A \cup B)^c = A^c \cap B \quad (2.3)$$

ile ifade edilmektedir.

### 2.1.3 Kümelerin özellikleri

Bulanık mantık yapısı içinde önemli bir yer tutan kümeler arasında bellibaşlı 7 özellik bulunmaktadır. Bunlar Değişim-Birleşim-Dağılım-Benzerlik-Geçiş-Özdeşlik ve Kuvvet Alma özellikleridir (Terano 1994).

### 2.1.4 Küme fonksiyonlarının haritalanması

Geleneksel küme fonksiyonlarının haritalanması işlemi, genel anlamda, söylem evreninin alt küme elemanlarının haritası için kullanılabilir; ya da söylem evreninin alt kümelerini, diğer bir evrende kümelendirmek için kullanılabilir (Jamshidi 1993).

X ve Y iki farklı söylem evreni olsun. Eğer x elemanı, X söylem evreninde bulunuyorsa, x elemanı, Y söylem evreninde bir y elemanına denk düşmektedir. Bu söylenen ifade, X söylem evreninden Y söylem evrenine haritalama işleminin genel terimi olup:

$$f: X \rightarrow Y \quad (2.4)$$

şeklinde gösterilir. Haritalama karakteristiği fonksiyonu  $\chi_A$  :

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.5)$$

ile tanımlanır. Burada,  $\chi_A$ , söylem evreninde x elemanı için A kümesi üyeliğinin gösterilişidir. Bu gösteriş tarzı ve haritalandırma aslında Boole Cebri ikili mantığını ortaya çıkarmaktadır. İkili mantığa göre; bir şey vardır ya da yoktur, veya bir anahtar ya açıktır ya da kapalıdır gibi (0,1) özellikleri taşımaktadır (Jamshidi 1993). Başka bir deyişle, X ve Y söylem evrenleri arasındaki Haritalama Karakteristiği PLC denetim sistemiyle tamamen örtüşmektedir.

## 2.2 Bulanık Mantık

Geleneksel mantığın birçok alanda yetersiz kalması, insan aklının işleyiş ve mantığına uygun bulunmaması gibi nedenler, araştırmacıları bulanık mantığı keşfetmeğe ve geliştirerek uygulamaya yöneltmiştir. Bunun temel prensipleri L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında yazılan bir makalede açıklanmıştır (Editorial 1993).

Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz 1920’li yıllarda önermelerin ikili mantığı 0 ve 1 değerleri arasında, kesirli değerleri de alabileceği mantık ilkelerini açıkladı. Kuantum felsefeci ve Nobel ödülü sahibi Max Planck (1918, Alman Fizikçisi), “ Philosophy of Science “ Dergisinde 1937 yılında yayımlanan bir makalesinde liste ya da nesnelere oluşan kümeler mantık kurallarını uygulayarak ilk bulanık küme eğrilerinin çizilebileceğini belirtti .

Bu olaydan yaklaşık 30 yıl sonra University of California at Berkeley’de Lotfi A. Zadeh bu alana adını veren “Bulanık Kümeler” adlı yazısını yayınladı (Editorial 1993).

BMD 1970’li yılların ortalarına kadar, Ebrahim H. Mamdani’nin bir buhar makinesi için bulanık mantıkla çalışan bir denetleyici tasarlayıncaya kadar, kullanım alanı bulamadı (Editorial 1993).

Bulanık mantığın ilk uygulama alanları çimento sanayi ve su arıtma sistemleridir. Daha sonra buhar türbini, nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi değişik alanlarda da bulanık mantıktan yararlanılmıştır (Editorial 1993).

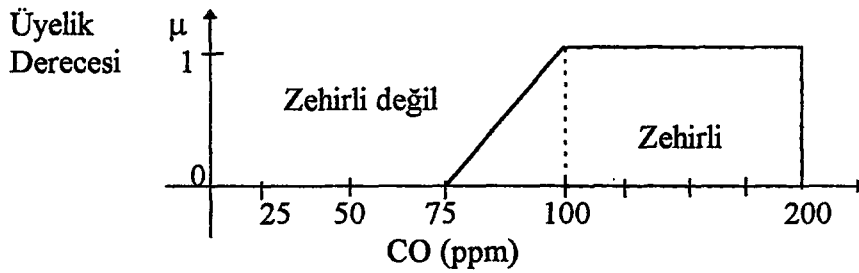
1920’lerde mantıkçıların “Her şey bir derecelendirme sorunudur” diye özetlenen yaklaşımı, bulanık mantığın temelini oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle bulanık mantık; olayların oluşum olasılığından çok, bunun derecesi ile ilgilenir. Bundan dolayı bazı bilim adamları bulanık mantığı olasılığın bir devamı olarak düşünmüşlerdir. Bu iki kavram yakın özellikler içerse de tamamen aynı değildir.

Bulanık mantığın temel prensiplerinden bazıları aşağıda verilmektedir.

- Bulanık küme sözel değişkenleri göstermek için kullanılır.
- Az sıcak, biraz soğuk gibi bulanık mantık üyelik fonksiyonları söz konusu bir fiziksel değişkenin (örneğin bir ortamın sıcaklık seviyesinin) 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesini tanımlamak için kullanılır.
- Bulanık işlemciler, bulanık ifadeler arasında mantıksal ilişkilere hız verir. Bunlarla EĞER-O HALDE (IF-THEN) türünden işlem kuralları, uzman sistemlerde kullanılan yöntemle benzer olarak, sembolik yoldan formüle edilebilir.
- Bulanık mantık sistemi, bir bakıma var olan bilgiden kurallara dayanarak, yeni bilgiler elde edilme yoludur.

### 2.2.1 Küme teorisi

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilen mantıkta esneklik görülmektedir. Böyle bir durumda örneğin, tünel içinde, 98 ppm seviyesinde karbonmonoksit (CO) gazı oluşumunda, insan hayatı tehlike altında olmasına rağmen bir tehlike olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 2.3’de Bulanık mantık üyelik derecesinde 100 ppm’de 1 olan maksimum değer 75 ppm’de minimum değerine doğru kademelendirilmiş bir azalma görülmektedir (Chen, P. H., et al, 1996).



Şekil 2.3. Bulanık küme teorisi

Şekil 2.4’de bulanık kümede örtüşümü inceleyecek olursak, zehirli bulanık küme üyelik derecesi, 0,5’de zehirsiz bulanık küme üyeliğini kazanmaktadır.

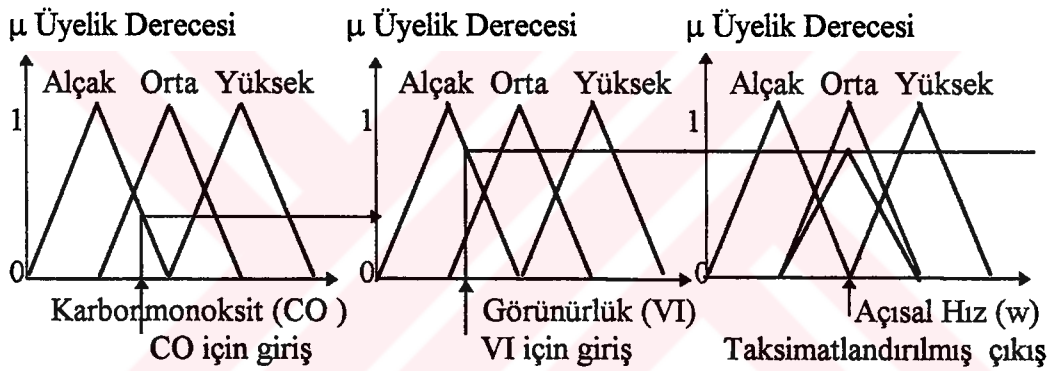




### 2.2.3 Çıkarım

Geleneksel mantıkta, verilen önermelerden bir sonuca varmaya “çıkarım” denmektedir. Önermeler, geleneksel mantıkta kesinlik ifade etmektedir ve açıktır. Çıkarımı yapmak ise önermelerin birbiriyle tam olarak uyuşması olayıdır.

Bulanık sistemlerde girişler, yüksek, hızlı, sıcak gibi dilsel değişkenlerden oluştuğundan dolayı, girişler hakkında sonuca varma ve karar verme EĞER (IF)-O HALDE (THEN) şeklinde kuralların kullanılması ile olasıdır. Şekil 2.5’de VEYA tipi bulanık çıkarım yapısı görülmektedir.

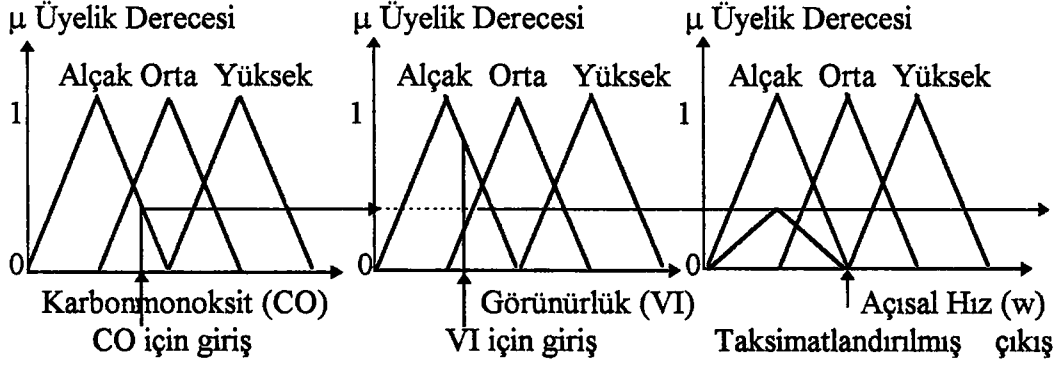


Şekil 2.5. VEYA tipi bulanık çıkarım

Şekil 2.5’deki sistem karbonmonoksit ve görünürlük olmak üzere iki giriş değişkenine ve jet fan açılma hızı adı altında çıkış değişkenine sahiptir. Her giriş değişkeni ise alçak, orta ve yüksek olmak üzere üç bulanık kümeyle sahiptir. Kuralı ise; EĞER karbonmonoksit veya görünürlük alçak ise, O HALDE jet fan açılma hızı , optimal değere göre, orta seviyededir.

Bulanık sisteme gelen karbonmonoksit, görünürlük okunur ve jet fan açılma hızı olarak bir çıkış değeri belirlenir. Kuralda uygulanan test eğer VEYA (OR) ise o zaman çıkış, girişin maksimum üyelik derecesine göre taksimatlandırılır. Şekil 2.5’deki örnekte çıkış fonksiyonu, karbonmonoksit için alçak, bulanık kümede CO giriş değerinin üyelik derecesine göre ve görünürlük için, alçak bulanık kümede VI’nın üyelik derecesine

göre taksimatlandırılmıştır. Çünkü burada jet fan açısai hızı orta bulanık kümesine VEYA testini uygulayan kuralın giriş üyeliğinin maksimum derecesine göre taksimatlandırılmıştır.

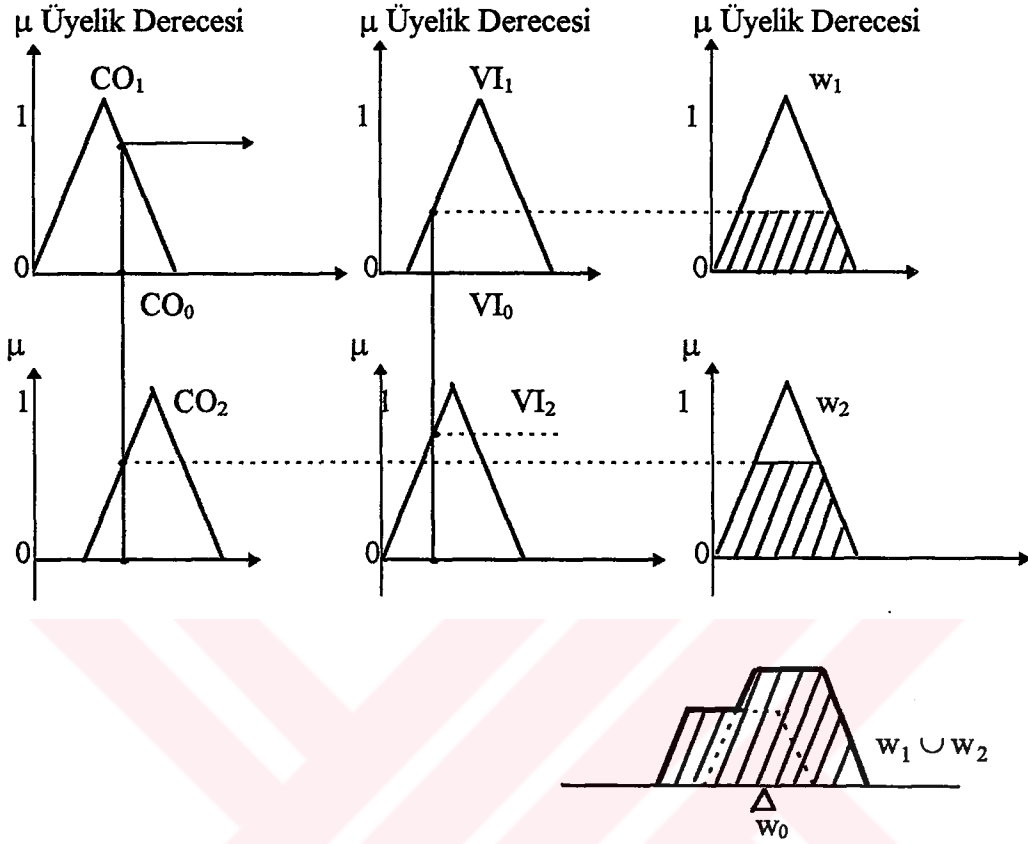


Şekil 2.6. VE tipi bulanık çıkarım

Şekil 2.6'da VE testi uygulanmaktadır. Bu testte çıkış değeri giriş üyelik derecesinin minimumuna göre derecelendirilir. Giriş değişkenlerinin üyelik derecesine göre, alçak bulanık kümenin çıkış değişkenleri taksimatlandırılmıştır.

#### 2.2.4 Durulaştırma

Bulanık çıkarımda verilen örnekte jet fan açısai hızının belirli bir değerde çalışması istendiğinden elde edilen bulanık değerden kesin bir değere geçmek gerekir. Bulanık değerden kesin bir değere geçme işlemine "Durulaştırma" denir.



Şekil 2.7. Ağırlık Merkezi Metodu

Durulaştırmaya ilişkin aşağıda verilen metotlar bulunmaktadır:

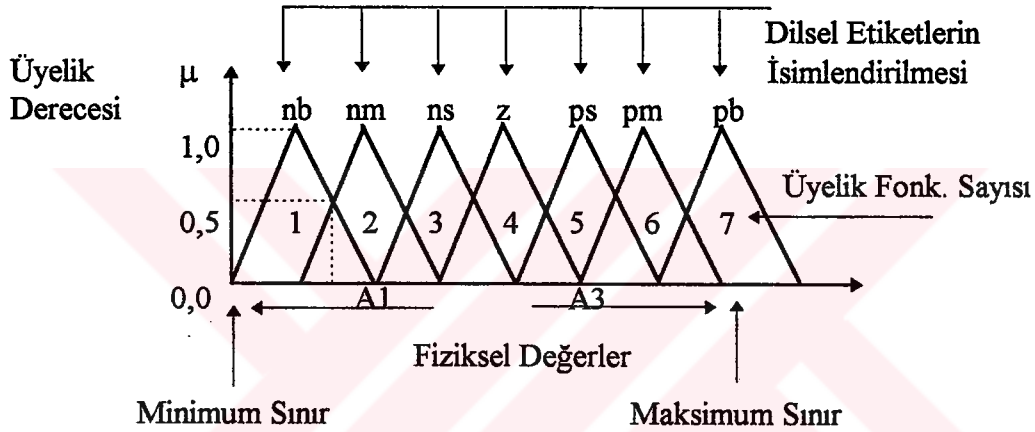
- Ağırlık Merkezi (Centre of Gravity) Metodu.
- Toplamların Merkezi (Centre of Sums) Metodu.
- En Geniş Alanın Merkezi (Centre of Largest Area) Metodu.

Bunlardan en çok Ağırlık Merkezi Metodu kullanılmaktadır. Şekil 2.7’de verilen örnekte durulaştırma işlemi Ağırlık Merkezi Metodu kullanılarak yapılmaktadır (Kandel 1994).

Ağırlık Merkezi Metoduna göre durulaştırma işlemi uygulanan bulanık kuralların sonucunda; taksimatlandırılmış çıkışların birleşimi ve böylece Şekil 2.7’de görüldüğü üzere, bileşke alanın ağırlık merkezinin saptanması mümkün olabilmektedir (Kandel 1994). Bilgisayar ortamında Ağırlık Merkezinin bulunması ile, optimum çalışma noktasına ulaşılmaktadır.

## 2.2.5 Bulanıklaştırıcı

Sistem çıkışında elde edilen  $e(t) = w_{ref}(t) - w(t)$  ve  $de(t) = e(t) - e(t-1)$  fiziksel değerleri BMD'nin giriş değerlerini oluşturmaktadır. Giriş yapan fiziksel değerlerin üyelik fonksiyonlarının tipinin, minimum ve maksimum değerlerinin belirlenmesi, dilsel etiketlerinin isimlendirilmesi bulanıklaştırıcı bölümünde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.8'de bulanıklaştırıcının temel yapısı görülmektedir.



Şekil 2.8. Bulanıklaştırıcının temel yapısı (Siemens, 1993)

Şekil 2.8'in incelemesinden, üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değiştiği yatay eksen üzerinde sistemden okunan fiziksel değerlerin (CO, VI,  $e(t)$  ve  $de(t)$ ) minimum ve maksimum sınır değerlerinin bulunduğu, üyelik fonksiyonunun sayısı ve tipi görülmektedir. Her üyelik fonksiyonu, ns (negatif küçük), nb (negatif büyük), z (sıfır), pb (pozitif büyük) gibi dilsel etiketler ile isimlendirildiği anlaşılmaktadır.

Sistemden okunan fiziksel değerler, minimum ve maksimum sınır arasında bir noktaya düşmektedir. Bu noktaya karşılık gelen bir dilsel etiket ismi bulunmaktadır ve bu dilsel etiket ismine karşılık gelen üyelik derecesi oluşmaktadır. Böylece, bulanıklaştırıcı ile keskin (crisp) fiziksel değerler 0-1 arasında bir üyelik derecesine sahip olarak bulanıklaştırılmaktadır. Ayrıca, fiziksel değerlerin minimum ve maksimum sınırlarının

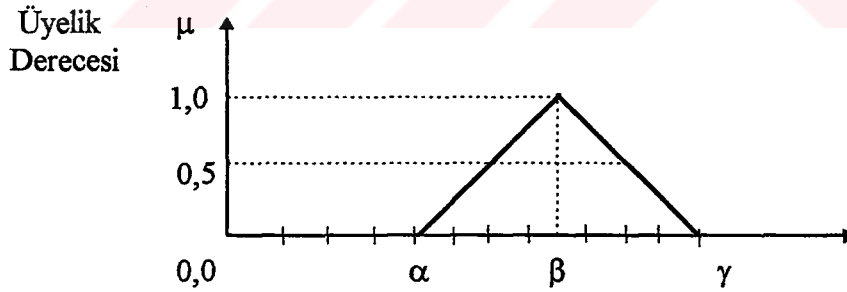
belirlenmesi, her üyelik fonksiyonunun A1, A3 gibi hangi fiziksel değere eş düştüğünün saptanmasına ölçeklendirme (scalling) denmektedir (Siemens, 1993).

### 2.2.6 Veri tabanı

Sistem hakkında tam bilgiye sahip olma, üyelik fonksiyonunun tipinin belirlenmesi, bulanıklaştırma ve durulaştırma birimlerinde kullanılan dilsel etiketlerin ve fiziksel sınırların belirlenmesi, durulaştırma işleminin tabanı veri tabanını oluşturmaktadır (Drainkov, et al, 1993). Kontrol kurallarında bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemlerinde kullanılacak bulanık alt kümelerin işlemsel tanımlamalarını vermektedir (Bose, 1994).

Nonlineer (doğrusal olmayan) sistemlerde en çok kullanılan üyelik fonksiyon tipleri üçgen (triangular), Gauss çan eğrisi ( Gauss bell-shaped) ve trapez (trapezoidal)'dır. Bu üç tip üyelik fonksiyonları, üç tip matematiksel fonksiyondan yararlanarak elde edilmektedir, (Drainkov, et al, 1993). Bunlar;

#### a) $\Lambda$ fonksiyonu



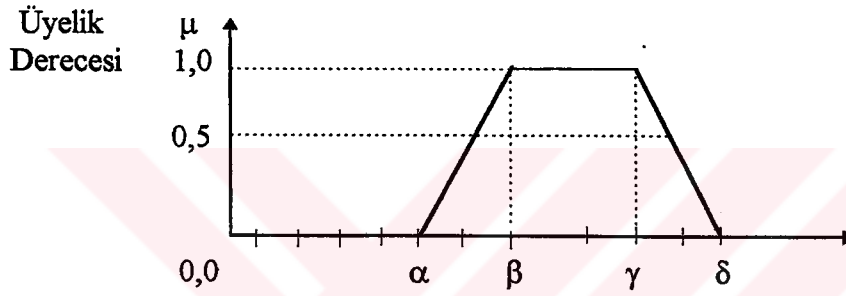
Şekil 2.9.  $\Lambda$  fonksiyonunun tanımı

Fonksiyon  $\Lambda : X \rightarrow [0,1]$   $x : X$  söylem evreninde herhangi bir eleman.

$$\Lambda(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0, & x < \alpha \\ \frac{(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, & \alpha \leq x \leq \beta \\ \frac{(\alpha-x)}{(\beta-\alpha)}, & \beta \leq x \leq \gamma \\ 0, & x > \gamma \end{cases} \quad (2.6)$$

olarak tanımlanmaktadır.

### b) II fonksiyonu



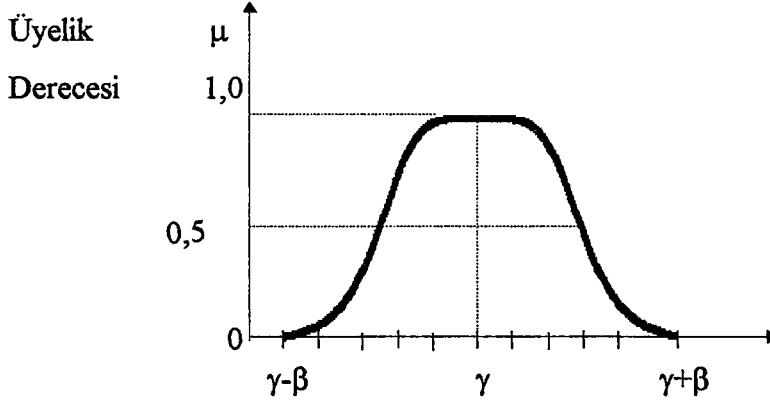
Şekil 2.10. II fonksiyonu tanımı

Fonksiyon II :  $X \rightarrow [0,1]$

$$\Pi(x; \alpha, \beta, \gamma, \delta) = \begin{cases} 0, & x < \alpha \\ \frac{(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)}, & \alpha \leq x \leq \beta, \\ 1, & \beta \leq x \leq \gamma \\ \frac{(\gamma-x)}{(\delta-\gamma)}, & \gamma < x \leq \delta \\ 0, & x > \delta \end{cases} \quad (2.7)$$

olarak tanımlanmaktadır.

c) Gauss çan eğrisi  $\Pi_b$  fonksiyonu



Şekil 2.11. Gauss çan eğrisi  $\Pi_b$  fonksiyonu tanımı

Fonksiyon  $\Pi_b : X \rightarrow [0,1]$

$$\Pi_b(x; \beta, \gamma) = \begin{cases} \left( x; \gamma - \beta, \gamma - \frac{\beta}{2}, \gamma \right) & x \leq \gamma \\ 1 - \left( x; \gamma, \gamma + \frac{\beta}{2}, \alpha + \beta \right) & x \geq \gamma \end{cases} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanmaktadır.

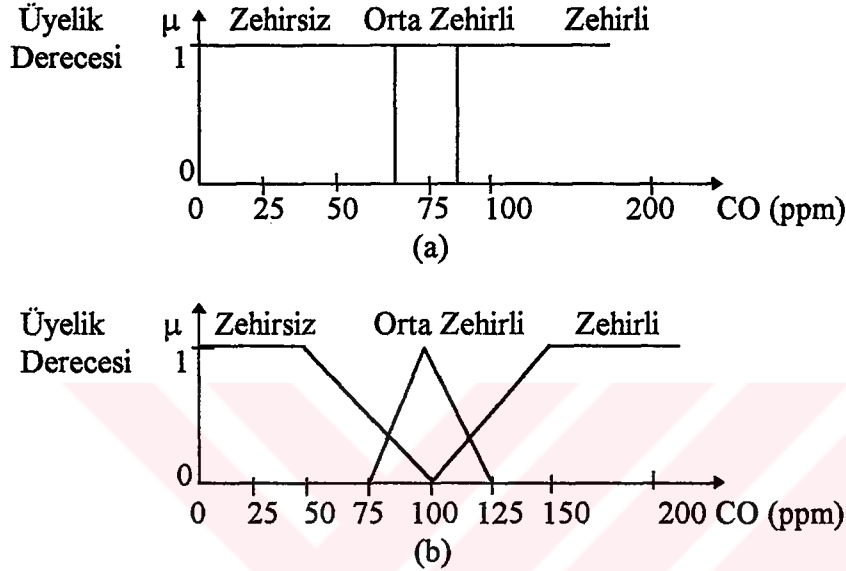
Hesaplama verimi, belleğin verimli kullanımı ve performanslı bir analiz için üyelik fonksiyon şekillerinin tekdüze (uniform) olması istenir. Ayrıca üyelik fonksiyonunun parametrik ve fonksiyonel tanımı olması, tekdüze (uniform) olmasını sergilemektedir. (Drainkov, et al, 1993).

En çok kullanılan üyelik fonksiyonları, üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi fonksiyonlarıdır. Bu üç fonksiyon parametrik, tekdüze (uniform) ve fonksiyonel tanımları içermektedir. Belleği minimum düzeyde kullanarak, gerçek zaman (real-time) uygulamalarında çıkarım birimini verimli kullanmaktadır. Bunlardan üçgen üyelik fonksiyonu diğer ikisine kıyasla, daha sade tanım cümlesine sahip olduğundan, uygulanması en kolay olandır (Drainkov, et al, 1993).



## 2.2.7 İşlemler

Geleneksel küme teorisinin tersine, bulanık küme teorisinde, verilen eleman 0 (üyelik yok) ile 1 (tam üye) arasında değişen üyelik derecesi ile bulanık kümenin elemanı olabilir. Buna örnek Şekil 2.12'dedir.



Şekil 2.12. Karbonmonoksit ve üyelik derecesi değişimi  
a) Geleneksel küme  
b) Bulanık küme

Şekil 2.12. tipik bir karbonmonoksit kontrol sisteminin durumunu göstermektedir. Şekil 2.12 (a)'da keskin bir sınıflandırma sağlanmaktadır. CO = 128 ppm olan karbonmonoksit noktaları, sadece ZEHİRLİ kümesinin elemanıdır. Şekil 2.12 (b) ile karşılaştırıldığında karbonmonoksit bir bulanık değişkeni olarak göz önüne alınır. CO = 128 ppm noktaları hem ORTA ZEHİRLİ hem de ZEHİRLİ bulanık kümelerinin kısmi üyesidir. Bulanık değişkenler genellikle dilsel değişkenler olarak ifade edilir ve bulanık kümeler onların dilsel değerlerinin (ZEHİRLİ, ORTA ZEHİRLİ, ZEHİRSİZ) matematiksel olarak gösterimidir (Iokibe, et al, 1993).

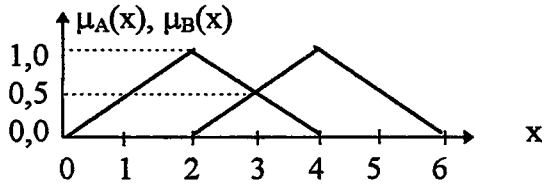
Kontrol teorisinde aşağıda verilen Boolean Teorisinin üç temel işlemi bulanık küme teorisinde de geçerlidir. Şekil 2.13'de bulanık kümenin bu temel işlemleri şematik olarak gösterilmektedir.

- Birleşim :

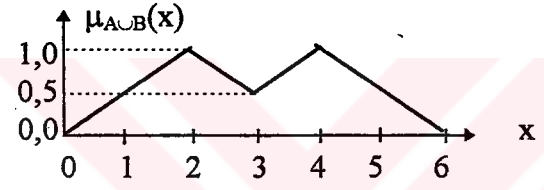
X söylem evreninde tanımlanmış A ve B olarak verilen iki bulanık kümenin birleşimi,  $A \cup B$  olarak gösterilir ve denklem (2.9)'da verilen üyelik fonksiyonu ile X söylem evreninin bir bulanık kümesidir:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.9)$$

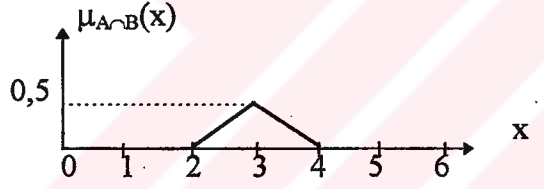
Burada x, X söylem evreninin herhangi bir elemanıdır.



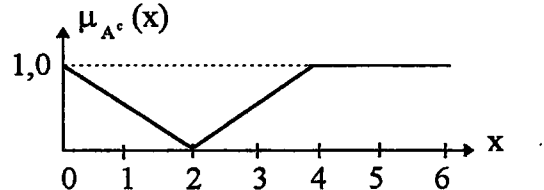
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.13. Bulanık küme işlemleri

- İki bulanık küme
- Birleşme
- Kesişme
- Tümleme

- Kesişim :

X söylem evreninin iki bulanık kümesi A ve B kümelerinin kesişimi  $A \cap B$  ile gösterilir ve denklem (2.10) ile verilir;

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} [\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.10)$$

- Tümleme:

X söylem evreninin bir kümesi olarak verilen A kümesinin tümlenyeni  $A^c$  ile gösterilir ve üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A(x) \quad (2.11)$$

şeklinde verilir.

Konu bulanık denetim açısından düşünüldüğünde, EĞER-O HALDE kurallar düzeni kullanılmak zorundadır. Tipik bir EĞER-O HALDE düzeni ise:

$$\text{EĞER } (x = A \text{ VE } y = B) \text{ ise, O HALDE } (z = C) \quad (2.12)$$

ile verilmektedir. Burada: x, y, z bulanık değişkenler; A, B ve C ise X, Y, Z uzayına karşılık gelen bulanık alt kümelerdir. Girdilerin EĞER kısmında verildiği kabul edilirse, sonuç ve hareket O HALDE kısmında tanımlanacaktır. Bu maksatla, denetleyici çıkış sinyali değişimini ( $\Delta u$ ) belirlemek için, hız hatası ( $e$ ) ve hata değişimini ( $\Delta e$ ) kullanıldığı tipik bir hız denetim sistemi tasarlanabilir. Bu durumda kural tabanını belirlemek gerekir:

Kural 1: EĞER  $e = Z$  VE  $\Delta e = Z$  ise, O HALDE  $\Delta u = Z$ ;

Kural 2: EĞER  $e = Z$  VE  $\Delta e = NS$  ise, O HALDE  $\Delta u = NS$ ;

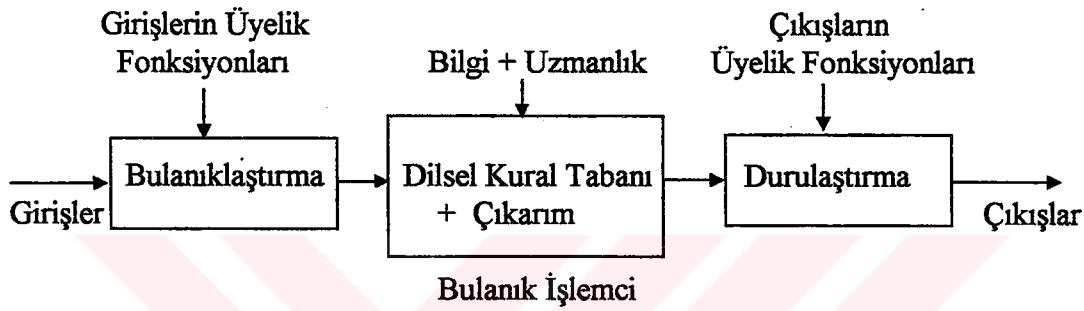
Kural 3: EĞER  $e = PS$  VE  $\Delta e = NS$  ise, O HALDE  $\Delta u = Z$

Bu oluşturulan kural tabanında, Z = Sıfır, PS = Pozitif Küçük, NS = Negatif Küçük olarak kullanılmaktadır. Bu tür dilsel etiketlerin kullanımı, sistemin durumunu ifade

etmeyi kolaylaştırdığı gibi istenen denetim hareketini, günlük dille ifade etmeyi mümkün kılmaktadır (Jamshidi 1993).

## 2.2.8 BMD temel blok diyagramları

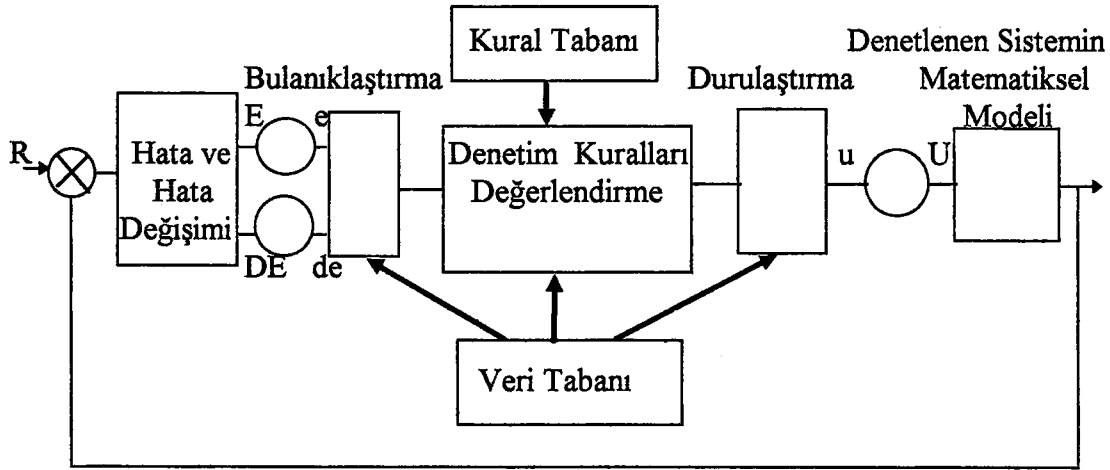
BMD sisteminin kullanılabilmesi için bunun temel yapısının bilinmesi gerekmektedir. BMD'nin blok olarak yapısı Şekil 2.14'de görülmektedir.



Şekil 2.14. BMD'nin blok yapısı, (Frank 1994).

Şekil 2.14 incelendiğinde; giriş sinyalinin bulanıklaştırma, bulanık çıkarım mekanizmasıyla birlikte kural tabanı ve denetim elemanları için sürekli sinyal üreten durulaştırmaya ait bloklardan meydana gelmektedir. Bulanıklaştırma bloğu, sürekli giriş sinyalini küçük, orta ve büyük gibi dilsel bulanık değişkenlere dönüştürür. Bulanık işlemci, sözel kurallar yardımıyla insan deneyimlerinin aktarılabilirdiği kural sonuçlandırma işlemini gerçekleştirmekte ve durulaştırma bloğu, sonuçlandırılmış denetim hareketini sürekli bir sinyale çevirmektedir.

Şekil 2.14'de verilen blok diyagramı, bulanık denetim sistemine uygulanabilmektedir. Böyle bir sistemin yapısı Şekil 2.15'de görülmektedir.



Şekil 2.15. BMD'nin tipik bir kontrol sistemine uygulanması, (Bose, 1994).

Şekil 2.15'in incelemesinden,  $U$  denetim sinyali, hata ( $e$ ) ve hata değişimi ( $de$ ) (bu  $de/dt$  örnekleme aralığı olarak nitelendirilir), iki değişkenden elde edilmektedir.  $e$  ve  $de$  değerleri,  $E$  ve  $DE$  sinyallerinin kazanç faktörlerine bölünmesi ile elde edilen sinyallerdir. Bu sinyaller birim değer ( $pu = \text{per unit}$ ) sinyallerdir. Geleneksel giriş işaretleri BMD'de değerlendirilmeden önce bulanık kümelere dönüştürülme işlemi bulanıklaştırma biriminde yapılmaktadır. Uzman kişinin sistem hakkında deneyimleri kural şekline dönüştürülerek kural tabanına yerleştirilir. Bu kural tabanı yardımı ile bulanık işlemci değerlendirme yapar ve çıkış üretir. BMD çıkışının istenilen geleneksel sinyallere dönüştürülebilmesi durulaştırma biriminde gerçekleşmektedir. Durulaştırma işlemi Ağırlık Merkezi (Centre of Gravity), Toplamların Merkezi (Centre of Sums) ve En Geniş Alanın Merkezi (Centre of Largest Area) Metodlarıyla yapılmaktadır.

Açıklanan Bulanık Mantık Teorisi, Matlab simülasyon programı ile jet fan matematiksel modeline uygulanmaktadır. Matematiksel modelin nominal yük momenti ile yüklenmesi esnasında denetleyicinin tepki verme süresi, mil momenti, açılmal hız, fan sayısı, frekans, CO, VI gibi büyüklükleri incelenmiştir.

### 2.2.9 Uygulama alanları

Bulanık mantık; doğa (meteoroloji, hava, okyanuslar gibi) ve insanın oluşturduğu yapay sistemlerin (ekonomi, borsa veya seçimler gibi) modellenmesi ve kontrolü için en uygun bir yaklaşım olarak henüz gelişme sürecinden geçen bir tekniktir (Kepez 1995).

Bulanık mantığın:

- Geleneksel yöntemlerle yeterli doğrulukta modellenmeyen çok karmaşık sistemlerde;
- Önemli ölçüde doğrusal olmayan sistemlerde;
- Başlangıç koşullarında, girişlerinde veya tanımlarında belirsizlikler olan sistemlerde, kullanılması en iyi çözümü vermektedir.

Bu nitelikleri taşıyan uygulamalar için gerekli yöntemleri içerecek şekilde bulanık kontrol geliştirilmiştir. Bulanık mantık; modelleme, değerlendirme, optimizasyon, karar verme, denetim, teşhis ve bilgi gibi uygulamalarda gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır.

Bulanık denetim, yapay zeka ve yönetim gibi çok çeşitli alanlarda denenmiştir. Fakat bulanık mantık teori fikrini geniş alanlara yaymak için daha pek çok projenin ortaya çıkacağına inanılmaktadır.

Bulanık sistem teorisi, belirsiz düşünce ve karar süreçlerinin gelişen modellerine ait başlama noktası kabul edildiği için aşağıdaki uygulama alanları geliştirilebilir:

- Yönetim ve sosyal problemler için kullanılabilen insan modellerinin yapılması;
- Otomasyon ve bilgi sistemlerinde kullanım için yüksek derecede insan yeteneklerinin taklidi;
- İnsan ve makinalar arasındaki insan merkezli arabirimlerin oluşumu;
- Diğer sosyal ve yapay zeka uygulamaları (risk analizi, tahmin ve fonksiyonel cihazların gelişimi) (Hirota, 1993).

Sonuç olarak, bulanık mantık yaklaşımının yakın gelecekte çok önemli bir araştırma alanı olacağı rahatlıkla söylenebilir.

## 2.3 PID ve BMD İle Kontrol Edilen Sistemin Genel Blok ve İşaret Akış Diyagramları

### 2.3.1 PID ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı

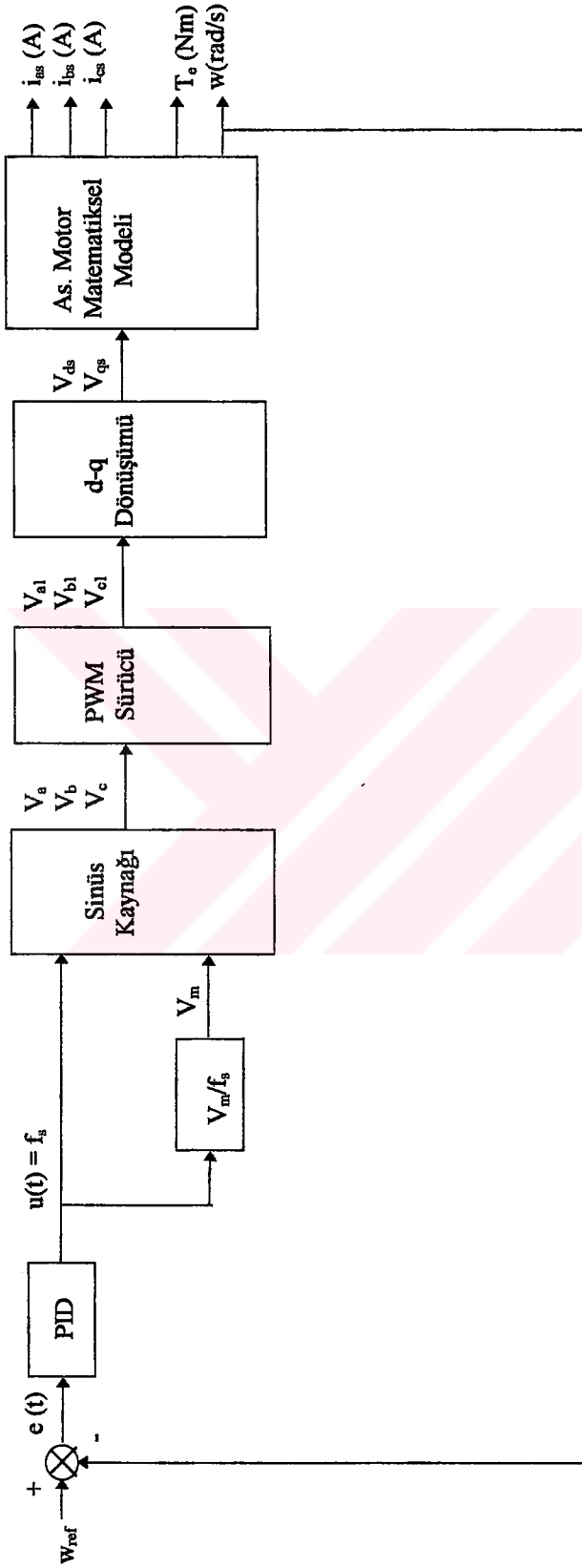
Şekil 2.16'da görülen sistem incelenirse, sabit referans girişi  $w_{ref}$  (rad/s) açısal hız görülmektedir. Asenkron motor matematiksel modelinin çıkışından okunan açısal hız (rad/s) ile referans açısal hızın farkı oluşan hatayı  $e(t)$  vermektedir. Oluşan hatayı bağıntı olarak ifade edecek olursak;

$$e(t) = w_{ref}(t) - w(t) \quad (2.13)$$

elde edilir. Bağıntı (2.13)'de kontrol edilen değişken frekans ve buna bağlı olarak da motor çıkışındaki  $w(t)$  açısal hızdır. Geleneksel mantık ile kontrol edilen sistemlerde kullanılan PID denetleyici girişini hata  $e(t)$  oluşturmaktadır. Denetleyici çıkışı  $u(t)$  olarak gösterilirse;

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.14)$$

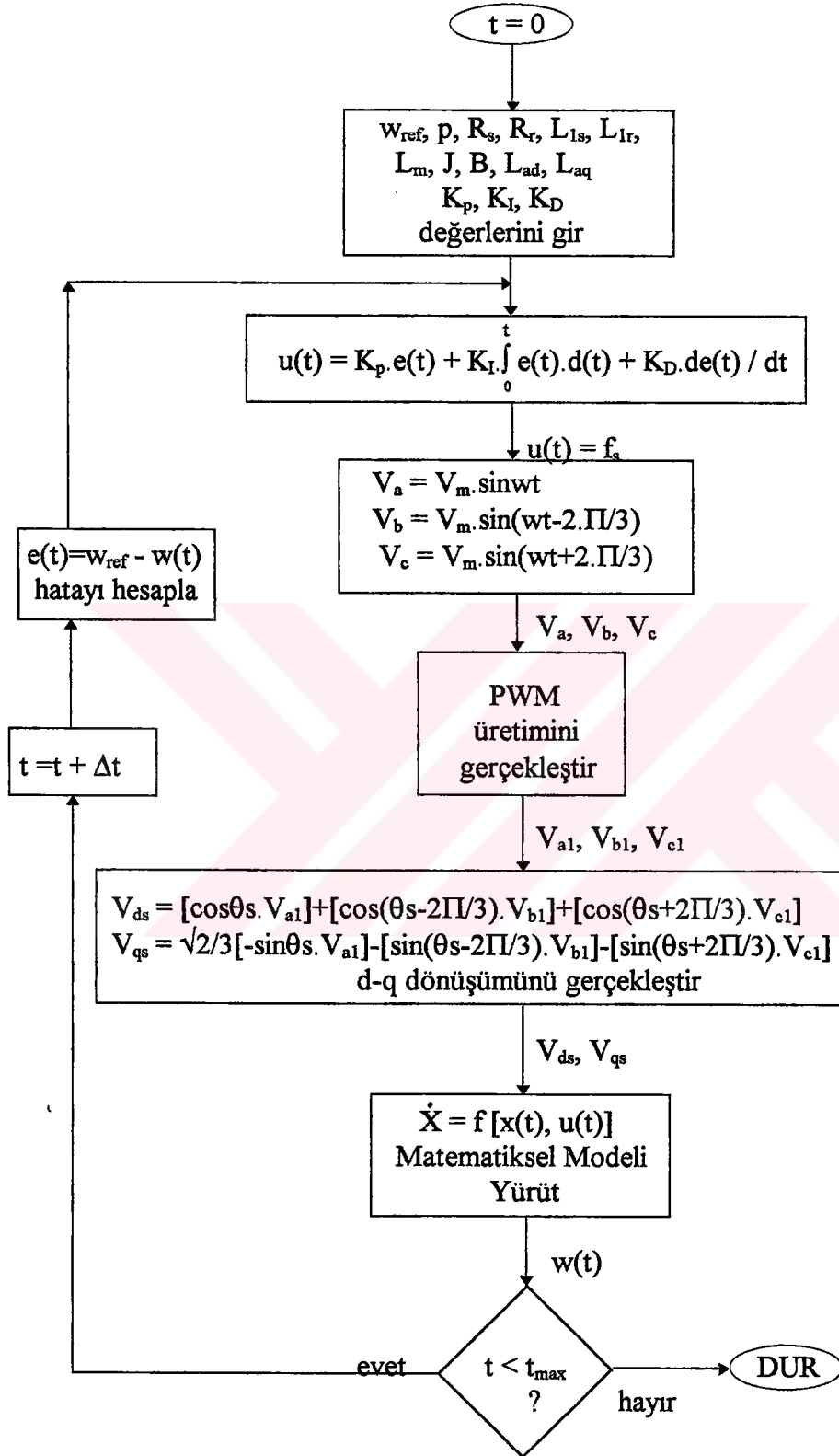
ifadesi elde edilecektir. (2.14) bağıntısında görülen  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  sırasıyla oransal, integral ve türevsel kazançları göstermektedir. Bu kazançlar sabit olarak alınmaktadır ve hatanın minimuma indirilmesini sağlayan, her sistemin kararlı çalışabilmesi için ayrı ayrı bulunan sabit katsayılar olarak da ifade edilebilir (Liaw 1996).



Şekil 2.16. PID denetleyici ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı



### 2.3.2 PID ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı



Şekil 2.17. PID ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı

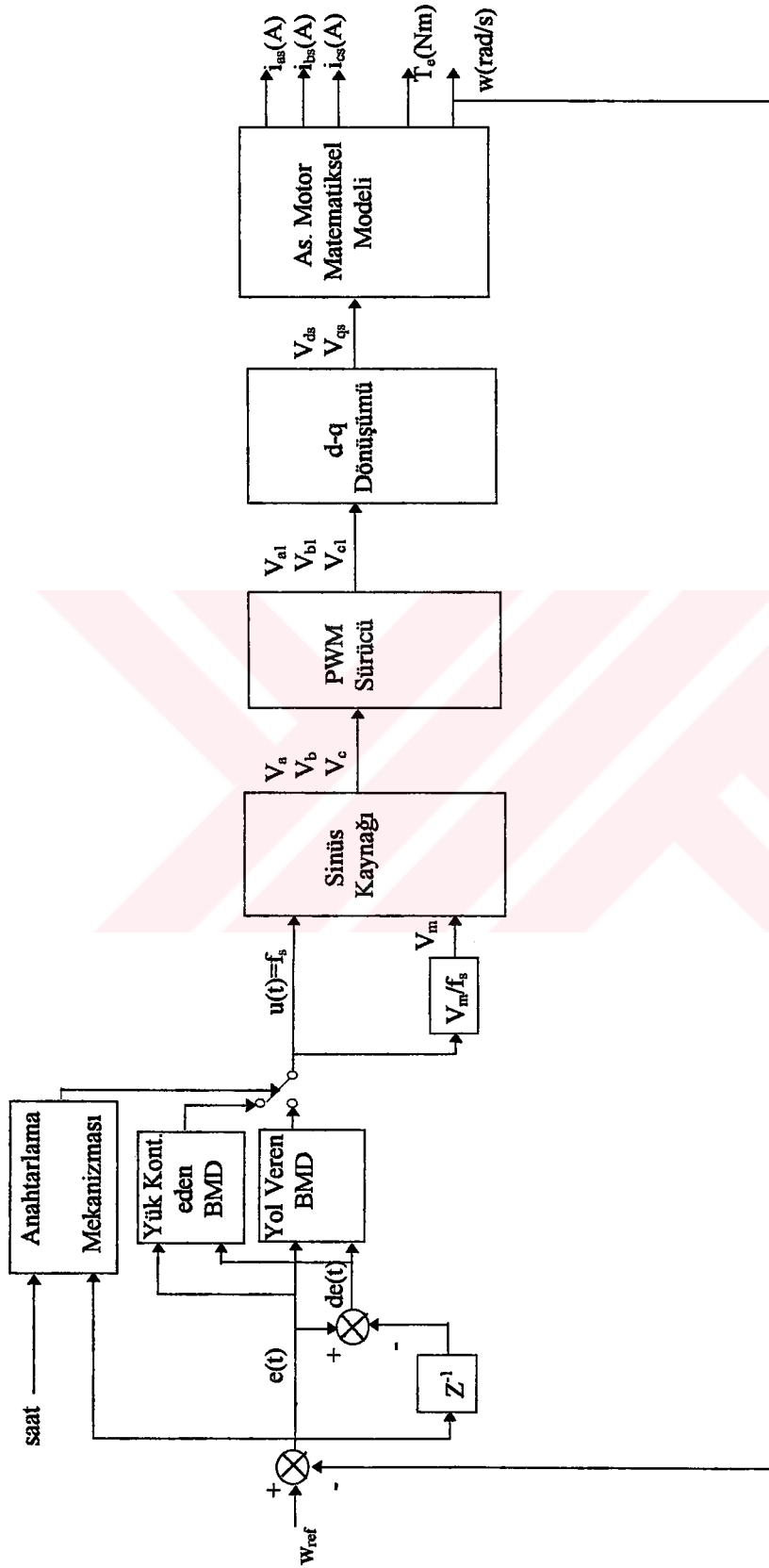
### 2.3.3 BMD ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı

Şekil 2.18’de görülen blok diyagramında PID denetleyici yerine BMD kullanılmaktadır. Asenkron motor matematiksel model çıkışından elde edilen  $w$  (rad/s) açısal hız değişimi kontrol edilmektedir. Motorun ilk yol alma anından referans açısal hızı ( $w_{ref}$ ) ulaşması anına kadar açısal hızda meydana gelen hata ifadesi denklem (2.13) ile aynı olmaktadır. BMD’nin geleneksel PID denetleyiciye kıyasla farklı olan kısmı ikinci girişi olan hata değişimi  $de(t)$ ’dir. Hata değişimi; hata örneklemesinin bir önceki hata örnekleme arasında oluşan fark olarak tanımlanabilir (Liaw 1996). Bağıntı olarak;

$$de(t) = e(t) - e(t-1) \quad (2.15)$$

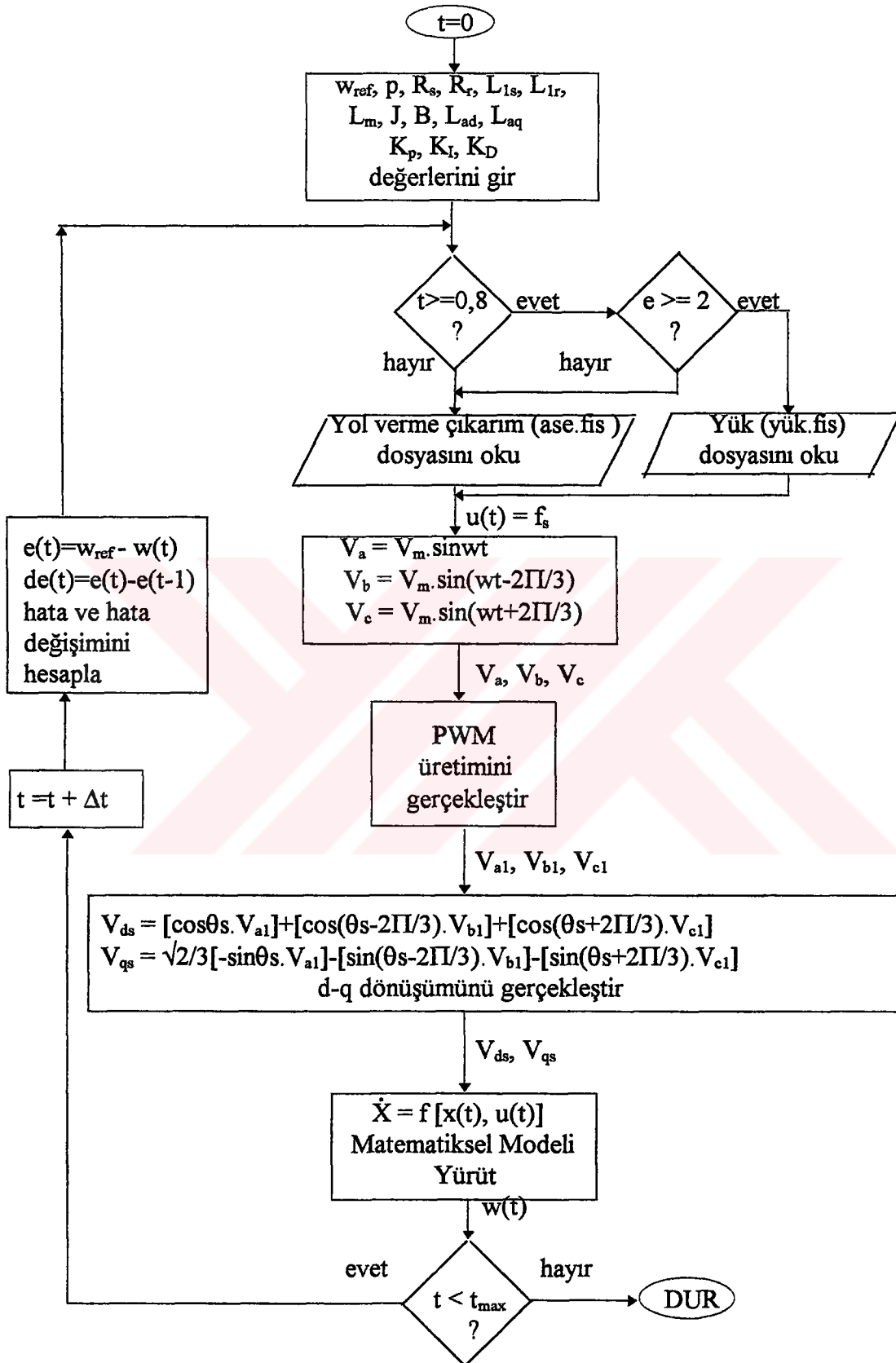
yazılabilir (Liaw 1996).

Hata ölçümüne ek olarak hata değişiminden dolayı BMD ile geleneksel PID denetleyiciye kıyasla daha hassas açısal hız kontrolü yapabilmektedir. Fiziksel değerler olarak sistemden okunan hata ve değişim değerleri BMD’ye girmekte, bulanıklaştırma, çıkarım ve bulanıklaştırma birimlerinden geçerek frekans olarak sisteme uygulanmaktadır.



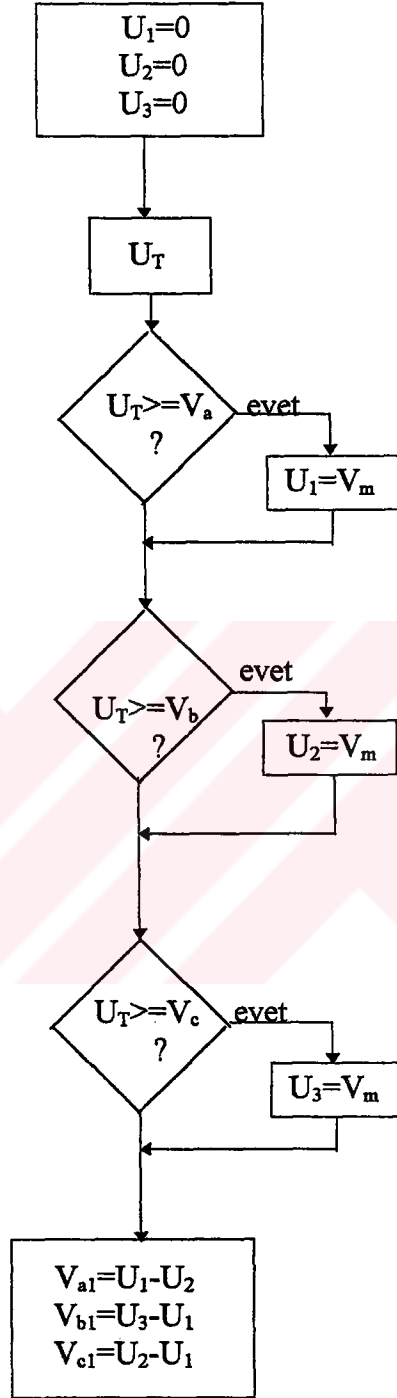
Şekil 2.18. BMD ile kontrol edilen sistemin genel blok diyagramı

### 2.3.4 BMD ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı



Şekil 2.19. BMD ile kontrol edilen sistemin işaret akış diyagramı

### 2.3.5 PWM üretimi işaret akış diyagramı



Şekil 2.20. PWM üretimi işaret akış diyagramı

### 3. FAN MOTORLARININ MATEMATİKSEL MODELİ

#### 3.1 Giriş

Tünel havalandırma sisteminde kullanılan jet fanlar asenkron motor ile tahrik edilmektedir. Sincap kafesli asenkron motorun matematiksel modeli çıkarılarak Matlab (Matrix Laboratory = Matris Laboratuvarı) programında kullanılmıştır. Modellemeden amaç, makineye uygulanacak kontrol işaretlerini türetebilmek ve makineye (motor) giriş kontrol parametreleri uygulamadan önce, söz konusu büyüklüklerin makineyi temsil edebilecek bir yapıya uygulanmasını sağlamaktır. Bu durumda oluşabilecek aksaklıklar önceden saptanarak gerekli önlemlerin önceden alınması sağlanmış olur. Bütün bu uygulamalar için makina modeli çok önemlidir.

Modellemede sincap kafesli statoru üç fazlı gerilimle beslenen simetrik bir asenkron makina göz önüne alınmıştır. Fiziksel sistem olarak oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan bu makina incelemelerde bulunabilmek için bazı kabuller yapılarak basite indirgenerek matematiksel modeli çıkarılır. Bu kabuller;

- a) Düzgün hava aralığı,
- b) Doymanın ihmali,
- c) Stator sargılarının hava aralığında sinüsoidal bir magneto motor kuvvet (mmk) oluşturmak için dengeli sarıldığıdır.

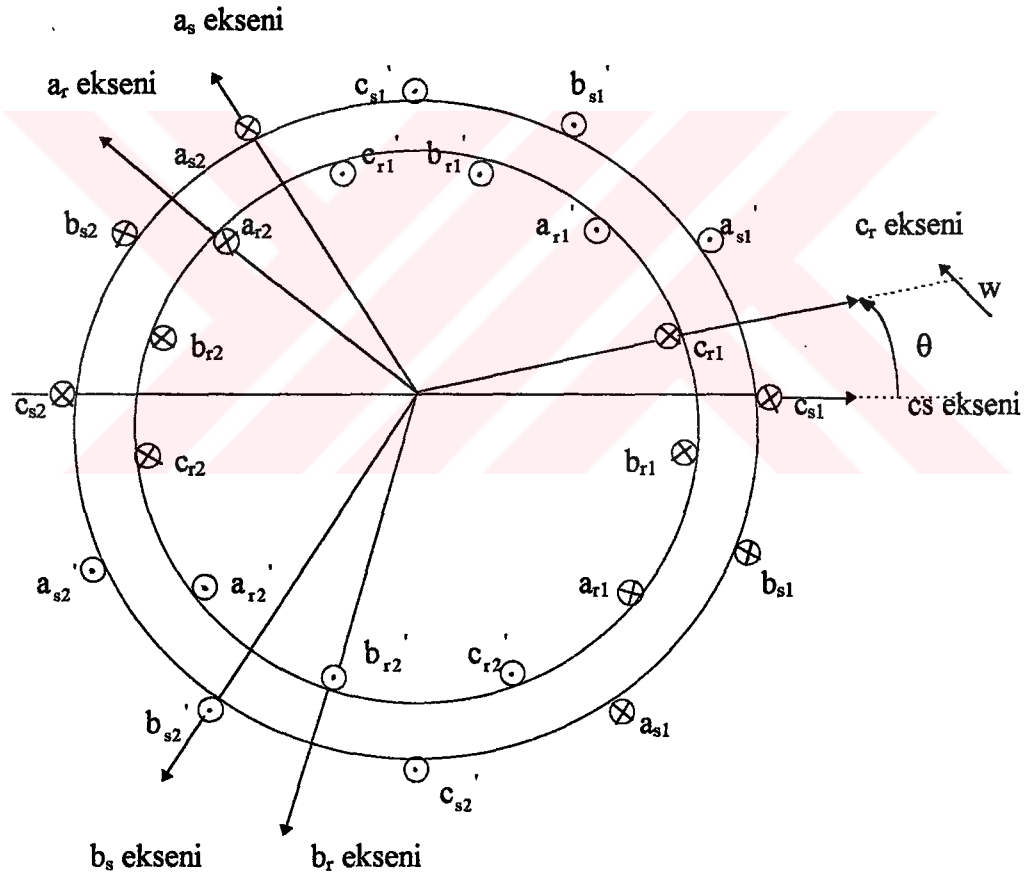
Reel uygulamalarda asenkron motorların çalışmasını etkileyen faktörler bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları;

- a) Doğrusal olmayan magnetik devre,
- b) Sıcaklığın değişmesiyle makinanın stator ve rotor direnç değerlerinin değişmesi,
- c) Magneto motor kuvvetinin saf sinüsoidal olmamasıdır.

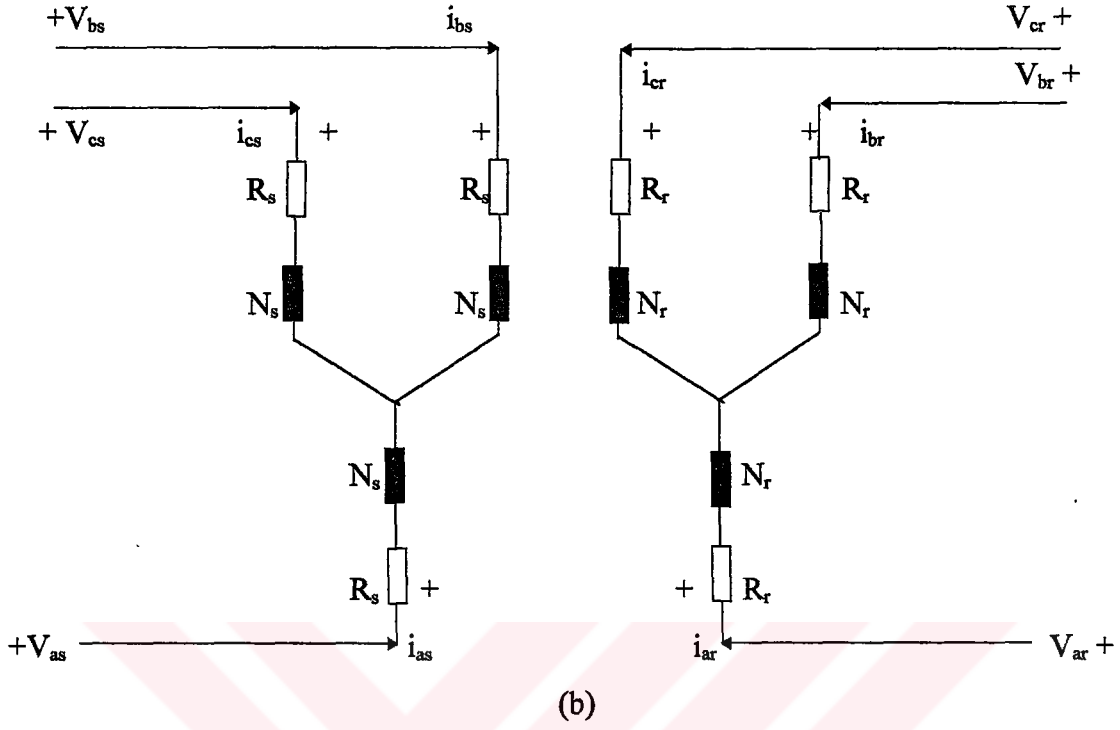
Bu faktörlerden dolayı asenkron makineler nonlineer bir yapıya sahiptir (Krause 1987).

Bu Tez çalışmasında asenkron motor denetimlerinin kıyaslanması; uygun bir motor gücü ve buna bağlı nominal moment seçildikten sonra, PID ve BMD'nin uygulanması sonucu elde edilen birim basamak tepkileriyle, yapılmaktadır. Denetim düzeneklerinin oluşturulabilmesi için kuşkusuz jet fan matematiksel modelinin çıkarılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu açıklananlar ışığında simülasyonu gerçekleştirilecek olan asenkron motorun temel yapısı ve eşdeğer bağlantı şemaları sırasıyla Şekil 3.1 (a) ve (b)'de verilmektedir.



(a)



Şekil 3.1. 4 kutuplu 3 fazlı sincap kafesli simetrik asenkron motorun  
a) Temel yapısı,  
b) Eşdeğer bağlantı şeması (Krause 1987).

Tanımlanan varsayımlar ve eşdeğer devrenin analizi yapılacak olursa asenkron makinanın elektriksel devre denklemleri yazılabilir;

$$V_{abcs} = R_s i_{abcs} + \frac{d\lambda_{abcs}}{dt} \quad (3.1)$$

$$V_{abcr} = R_r i_{abcr} + \frac{d\lambda_{abcr}}{dt} \quad (3.2)$$

Buna göre, makinanın statoruna ilişkin devre denklemleri;

$$V_{as} = R_s i_{as} + \frac{d\lambda_{as}}{dt} \quad (3.3)$$

$$V_{bs} = R_s i_{bs} + \frac{d\lambda_{bs}}{dt} \quad (3.4)$$

$$V_{cs} = R_s i_{cs} + \frac{d\lambda_{cs}}{dt} \quad (3.5)$$



rotoruna ilişkin devre denklemleri ise;

$$V_{ar} = R_r i_{ar} + \frac{d\lambda_{ar}}{dt} \quad (3.6)$$

$$V_{br} = R_r i_{br} + \frac{d\lambda_{br}}{dt} \quad (3.7)$$

$$V_{cr} = R_r i_{cr} + \frac{d\lambda_{cr}}{dt} \quad (3.8)$$

olmaktadır. Burada  $\lambda_{as}, \lambda_{bs}, \lambda_{cs}$  stator faz sargılarının akılarını,  $\lambda_{ar}, \lambda_{br}, \lambda_{cr}$  rotor sargılarının akılarını göstermektedir (Krause 1987).

Magnetik doğrusal sistem için kaçak akılar matris biçiminde yazılacak olursa,

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abcs} \\ \lambda_{abcr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & L_{sr} \\ (L_{sr})^T & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abcs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

elde edilebilir. Burada  $L_s$  ve  $L_r$  stator ve rotor öz endüksiyon katsayılarını, "T" harfi ise transpozeyi göstermektedir.  $L_s$  ve  $L_r$  açık olarak;

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_{1s} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{1s} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{1s} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_{1r} + L_{mr} & -\frac{1}{2}L_{mr} & -\frac{1}{2}L_{mr} \\ -\frac{1}{2}L_{mr} & L_{1r} + L_{mr} & -\frac{1}{2}L_{mr} \\ -\frac{1}{2}L_{mr} & -\frac{1}{2}L_{mr} & L_{1r} + L_{mr} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

matrisleriyle verilmektedir (Krause 1987).

Denklem (3.10) ve (3.11)'de kullanılan  $L_{1s}$  ve  $L_{ms}$  sırasıyla stator devresine ait kaçak ve magnetik karşılıklı endüksiyon katsayıları temsil etmektedir. Stator ve rotor arasındaki karşılıklı endüksiyon katsayısı ise;

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} L_{sr} \cos\theta & L_{sr} \cos\left(\theta + \frac{2\Pi}{3}\right) & L_{sr} \cos\left(\theta - \frac{2\Pi}{3}\right) \\ L_{sr} \cos\left(\theta - \frac{2\Pi}{3}\right) & L_{sr} \cos\theta & L_{sr} \cos\left(\theta + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ L_{sr} \cos\left(\theta + \frac{2\Pi}{3}\right) & L_{sr} \cos\left(\theta - \frac{2\Pi}{3}\right) & L_{sr} \cos\theta \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

ile verilmektedir.  $L_{1r}$  ve  $L_{mr}$  rotor sargıları için kullanılan kaçak ve magnetik endüksiyon katsayılarını ifade etmektedir.

Karşılıklı endüksiyon katsayıları matrisleri;

$$[L_{sr}] = \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{sr}]^T & [L_{rr}] \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

olarak yazılmaktadır. Burada,

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_{ss} & 0 & 0 \\ 0 & L_{ss} & 0 \\ 0 & 0 & L_{ss} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} L_{rr} & 0 & 0 \\ 0 & L_{rr} & 0 \\ 0 & 0 & L_{rr} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

olarak ifade edilmektedir. (3.1) ve (3.2) nolu denklemler matris olarak yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} [V_s] \\ [V_r] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [R_s] & [0] \\ [0] & [R_r] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \left\{ \begin{bmatrix} [L_{ss}] & [L_{sr}] \\ [L_{sr}] & [L_{rr}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [I_s] \\ [I_r] \end{bmatrix} \right\} \quad (3.16)$$

elde edilir. Burada;

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

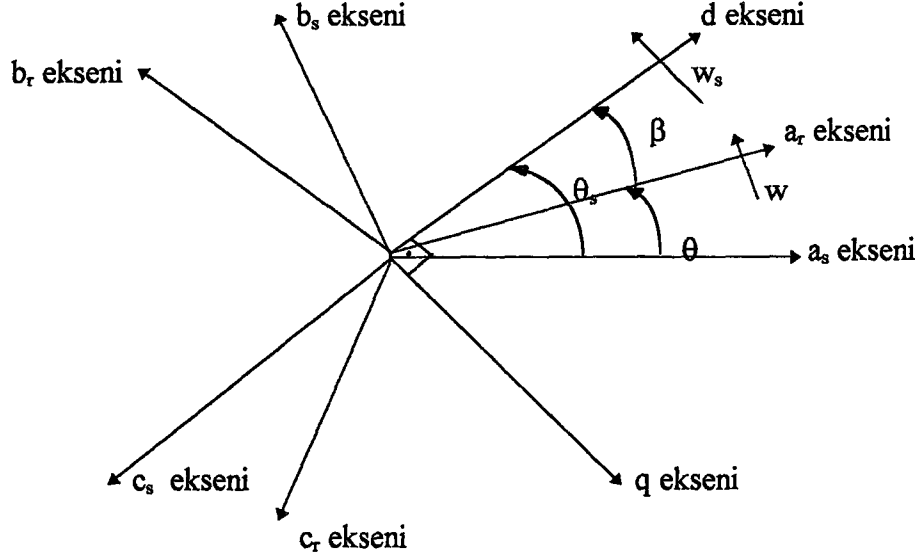
$$[R_r] = \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

$$[V_s] = \begin{bmatrix} V_{as}(t) \\ V_{bs}(t) \\ V_{cs}(t) \end{bmatrix}, [V_r] = \begin{bmatrix} V_{ar}(t) \\ V_{br}(t) \\ V_{cr}(t) \end{bmatrix}, [I_s] = \begin{bmatrix} I_{as}(t) \\ I_{bs}(t) \\ I_{cs}(t) \end{bmatrix}, [I_r] = \begin{bmatrix} I_{ar}(t) \\ I_{br}(t) \\ I_{cr}(t) \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

olmaktadır. Denklem (3.14)'den görüldüğü üzere, stator ve rotor akım ve gerilim matrisleri zamana bağlı nonlineer diferansiyel ifadeleri içermektedir.

### 3.2 Asenkron Makina Denklemlerinin (d-q) Dönen Eksen Takımında Elde Edilmesi

Asenkron makinanın dinamik davranışı, stator ve rotor sargıları arasındaki magnetik bağdan dolayı, oldukça karmaşıktır. Bu magnetik bağ karşılıklı endüktans katsayısı endüktans (M) ile belirlenmektedir. Fakat bu değer, rotor ve stator arasındaki açığa ( $\theta$ ) göre değişim göstermektedir. Dönüşümün temel ilkesi stator ve rotor arasındaki bağı hareketi ortadan kaldırmak için, rotor, stator akım ve gerilimlerini aynı referans eksen takımına taşımaktır. Bu nedenle simetrik Park Dönüşümleri kullanılmaktadır. Bu dönüşüm ile, sistem parametreleri, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, birbirine dik iki eksen üzerinde (d-q) tanımlanabilmektedir (Krause 1987).



Şekil 3.2.  $w$  açısal hızı ile dönen (d-q) referans eksen takımının asenkron makinanın stator ve rotor eksenleri ile geometrik ilişkisi

Şekil 3.2'den görüldüğü gibi,

$$\theta_s = \beta + \theta \quad (3.20)$$

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \frac{d\beta}{dt} + \frac{d\theta}{dt} \quad (3.21)$$

$$w_s = \frac{d\beta}{dt} + w \quad (3.22)$$

$$\frac{d\beta}{dt} = w_s - w = p \cdot w, \quad w_s = \frac{d\theta_s}{dt}, \quad w = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.23)$$

olmaktadır. Burada,  $\theta_s$  : Stator a fazı sargı eksenini ile d eksenini arasındaki açı;  $\theta$  : Stator a fazı ile rotor a fazı eksenini arasındaki açı;  $\beta$  : Rotor a fazı ile d eksenini arasındaki açıdır. Şekil 3.2 için Park Dönüşümü  $[K_r]$ , rotor için yazılırsa;

$$[K_r] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\beta & \cos\left(\beta - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\beta + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \sin\beta & \sin\left(\beta - \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\beta + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$$[\mathbf{K}_r]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta & 1 \\ \cos\left(\beta - \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\beta - \frac{2\Pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\beta + \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\beta + \frac{2\Pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

olmaktadır. Benzer şekilde Park Dönüşümlerini stator için yazılırsa;

$$[\mathbf{K}_s] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta_s & \cos\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \sin\theta_s & \sin\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

$$[\mathbf{K}_s]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_s & \sin\theta_s & 1 \\ \cos\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

elde edilir. D-q eksen takımına göre gerilim, akım ve akı denklemleri yazılırsa;

$$[\mathbf{V}_s]_{d,q,0} = [v_{ds} \quad v_{qs} \quad v_{0s}]^T \quad (3.28)$$

$$[\mathbf{I}_s]_{d,q,0} = [i_{ds} \quad i_{qs} \quad i_{0s}]^T \quad (3.29)$$

$$[\mathbf{\Psi}_s]_{d,q,0} = [\Psi_{ds} \quad \Psi_{qs} \quad \Psi_{0s}]^T \quad (3.30)$$

$$[\mathbf{V}_r]_{d,q,0} = [v_{dr} \quad v_{qr} \quad v_{0r}]^T \quad (3.31)$$

$$[\mathbf{I}_r]_{d,q,0} = [i_{dr} \quad i_{qr} \quad i_{0r}]^T \quad (3.32)$$

$$[\mathbf{\Psi}_r]_{d,q,0} = [\Psi_{dr} \quad \Psi_{qr} \quad \Psi_{0r}]^T \quad (3.33)$$

olmaktadır. Gerilim eşitlikleri yazılırsa;

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + w_s \lambda_{ds} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} \quad (3.34)$$

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - w_s \lambda_{qs} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} \quad (3.35)$$

$$v_{qr} = R_r i'_{qr} + (w_s - w) \lambda_{dr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} \quad (3.36)$$

$$v_{dr} = R_r i'_{dr} - (w_s - w) \lambda_{qr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt} \quad (3.37)$$

olmaktadır.

Akı bağıntıları yazılırsa;

$$\lambda_{qs} = L_{1s} i_{qs} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (3.38)$$

$$\lambda_{ds} = L_{1s} i_{ds} + M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (3.39)$$

$$\lambda_{qr} = L_{1r} i'_{qr} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (3.40)$$

$$\lambda_{dr} = L_{1r} i'_{dr} + M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (3.41)$$

$$M = \frac{3}{2} L_{ms} \quad (3.42)$$

elde edilmektedir.

Asenkron makina d-q eşdeğer devresini çizebilmek için d-q eksen takımına dönüştürülmüş gerilim, akı denklemleri yazılırsa;

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + w \Psi_{ds} + \frac{d\Psi_{qs}}{dt} \quad (3.43)$$

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - w \Psi_{qs} + \frac{d\Psi_{ds}}{dt} \quad (3.44)$$

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + (w_s - w) \Psi_{dr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} \quad (3.45)$$

$$v_{dr} = R_r i_{dr} - (w_s - w) \Psi_{qr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} \quad (3.46)$$

bulunmaktadır.

Burada kullanılan akılar,

$$\Psi_{qs} = X_{ls}i_{qs} + X_M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (3.47)$$

$$\Psi_{ds} = X_{ls}i_{ds} + X_M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (3.48)$$

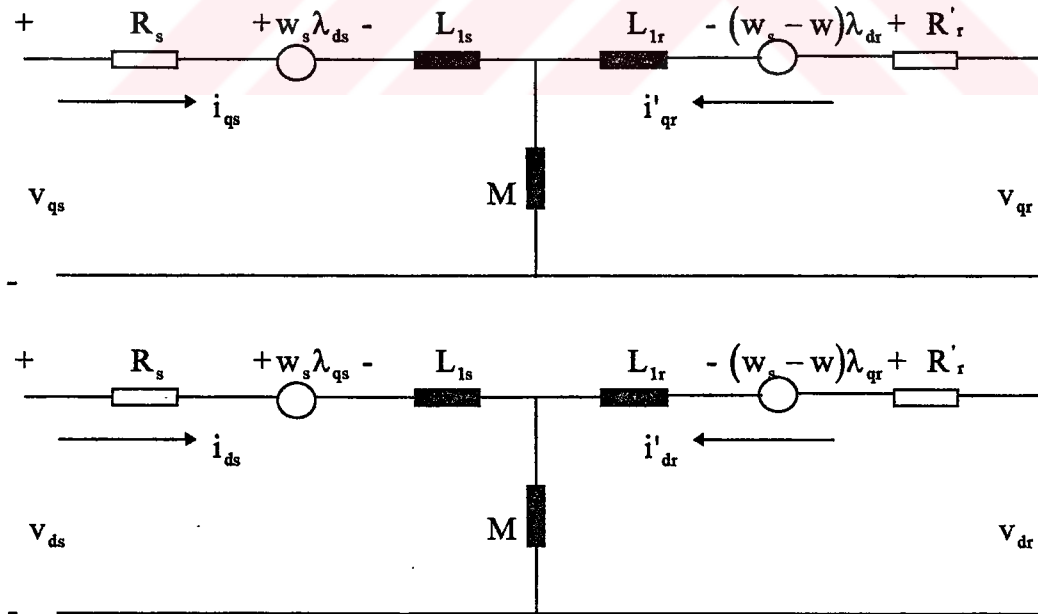
$$\Psi_{qr} = X_{lr}i'_{qr} + X_M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (3.49)$$

$$\Psi_{dr} = X_{lr}i'_{dr} + X_M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (3.50)$$

ifadeleri ile verilmektedir. (3.43), (3.44), (3.45) ve (3.46) nolu diferansiyel denklemler matris biçiminde topluca yazılırsa, akım gerilim ilişkisi;

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v_{qr} \\ v_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pX_{ss} & w_s X_{ss} & pX_M & w_s X_M \\ -w_s X_{ss} & R_s + pX_{ss} & -w_s X_M & pX_M \\ pX_M & (w_s - w)X_M & R_r + pX'_{rr} & (w_s - w)X'_{rr} \\ -(w_s - w)X_M & pX_M & (w_s - w)X'_{rr} & R_r + pX'_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

olarak elde edilir. Denklem (3.51)'de görülen "p" notasyonu d/dt türevi temsil etmektedir. Elde edilen denklemlerle Şekil 3.3'deki gibi bir asenkron makina d-q eşdeğer devresi çizilebilmektedir.



Şekil 3.3. Asenkron makina d-q eşdeğer devresi

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi simülasyonlarda sincap kafesli bir asenkron motor kullanılacağı için rotor devresi kısa devre edilmektedir. Denklemlerde görülen  $X_{ss}$  ve  $X'_{\pi}$  ifadeleri;

$$X_{ss} = X_{1s} + X_M \quad (3.52)$$

$$X'_{\pi} = X_{1r} + X_M \quad (3.53)$$

olarak yazılabilmektedir.

Mekanik uca ait eşitlik,

$$T_e = J \frac{dw}{dt} + Bw + T_L \quad (3.54)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Burada,  $T_e$  : Moment (Nm);  $J$  : Eylemsizlik momentini ( $\text{kg.m}^2$ );  $w$  : Açısal hızı (rad/s);  $B$  :Havalandırma olayında oluşan sürtünme kayıplarını karakterize eden bir katsayı ( $\text{kg.m}^2/\text{s}$ );  $T_L$  : Yük momentini (Nm) ifade etmektedir. Asenkron makina eşdeğer devresi elde edildikten sonra bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

### 3.3 Bilgisayar Ortamına Aktarılan Denklemler Takımları

Modelin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için elde edilen denklemler birinci dereceden diferansiyel denklemler haline getirilmesiyle kontrol problemi basitleşmektedir. (3.43) ve (3.44) nolu diferansiyel denklemler, Matlab simülasyon programı içinde Laplace dönüşümü kullanılarak aşağıdaki biçimde yazılmaktadır;

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_s & \cos\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) \\ \sin\theta_s & \sin\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) & \sin\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} \quad (3.55)$$



$$V_{as} = V_m \sin \theta_s, \quad V_{bs} = V_m \sin\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right), \quad V_{cs} = V_m \sin\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) \quad (3.56)$$

Akılara göre denklemler düzenlenirse;

$$\frac{d\Psi_{qs}}{dt} = v_{qs} - w_s \Psi_{ds} + \frac{R_s}{L_{ls}}(\Psi_{mq} - \Psi_{qs}) \quad (3.57)$$

$$\frac{d\Psi_{ds}}{dt} = v_{ds} + w_s \Psi_{qs} + \frac{R_s}{L_{ls}}(\Psi_{md} - \Psi_{ds}) \quad (3.58)$$

$$\frac{d\Psi_{qr}}{dt} = -(w_s - pw)\Psi_{dr} + \frac{R_r}{L_{lr}}(\Psi_{mq} - \Psi_{qr}) \quad (3.59)$$

$$\frac{d\Psi_{dr}}{dt} = (w_s - pw)\Psi_{qr} + \frac{R_r}{L_{lr}}(\Psi_{md} - \Psi_{dr}) \quad (3.60)$$

$$\Psi_{mq} = L_{aq} \left( \frac{\Psi_{qs}}{L_{ls}} + \frac{\Psi_{qr}}{L_{lr}} \right) \quad (3.61)$$

$$\Psi_{md} = L_{ad} \left( \frac{\Psi_{ds}}{L_{ls}} + \frac{\Psi_{dr}}{L_{lr}} \right) \quad (3.62)$$

$$L_{aq} = L_{ad} = \left( \frac{1}{L_m} + \frac{1}{L_{ls}} + \frac{1}{L_{lr}} \right)^{-1} \quad (3.63)$$

olmaktadır. Akımlara göre denklemler ifade edilebilir;

$$i_{qs} = \frac{1}{L_{ls}}(\Psi_{qs} - \Psi_{mq}) \quad (3.64)$$

$$i_{ds} = \frac{1}{L_{ls}}(\Psi_{ds} - \Psi_{md}) \quad (3.65)$$

$$i'_{qr} = \frac{1}{L_{lr}}(\Psi_{qr} - \Psi_{mq}) \quad (3.66)$$

$$i'_{dr} = \frac{1}{L_{lr}}(\Psi_{dr} - \Psi_{md}) \quad (3.67)$$

$$\Psi_{mq} = L_m(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (3.68)$$

$$\Psi_{md} = L_m(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (3.69)$$

Mekanik uca ait denklem;

$$T_e = \frac{2}{3} p (\Psi_{ds} i_{qs} - \Psi_{qs} i_{ds}) \quad (3.70)$$

olmaktadır. Stator akım denklemleri;

$$i_{as} = \frac{2}{3} \left[ \cos(\theta_s) i_{sd} - \sin(\theta_s) i_{sq} \right] \quad (3.71)$$

$$i_{bs} = \frac{2}{3} \left[ \cos\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) i_{sd} - \sin\left(\theta_s + \frac{2\Pi}{3}\right) i_{sq} \right] \quad (3.72)$$

$$i_{cs} = \frac{2}{3} \left[ \cos\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) i_{sd} - \sin\left(\theta_s - \frac{2\Pi}{3}\right) i_{sq} \right] \quad (3.73)$$

olarak bulunmaktadır.

Düzenlenen ve irdelenen denklemler Matlab simülasyon programına aktarılmıştır.

## 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

### 4.1 Giriş

Bu Bölümde, tünel havalandırma sistemi, jet fanlar dahil olmak üzere, matematiksel modelin bilgisayara aktarılması ve simülasyonu incelenmektedir. Bu amaçla, kullanılan simülasyon programı ile jet fan matematiksel modeli, d-q dönüşümü, Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM = Pulse Width Modulation), PID ve bulanık mantık kapalı çevrim kontrol sistemlerinin uygulaması detaylı olarak verilmektedir. BMD sisteminde, simülasyon programına ait üyelik fonksiyonlarının ve buna bağlı kuralların belirlenebilmesi için, herhangi bir tünelde PID sistemine göre jet fanlarla temizlenerek kontrolü planlanan karbonmonoksit (CO), Görünürlük Endeksi (VI) ve jet fan sayısının maksimum eşik değerleri sırasıyla 220 ppm,  $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  ve 22 olarak alınmaktadır. Bunlardan ilk ikisi ekstrem değerler, üçüncüsü ise tamamen serbest olup, PID ve BMD sistemlerinin kıyaslanabilmesi işleminde, sadece referans amacıyla seçilmektedir. Tez’de geliştirilen simülasyon programı, seçilen herhangi üç ekstrem değerle de aynı hassasiyetle sürülebilmektedir.

Ülkemizde henüz hiçbir karayolu, demiryolu, sualtı tüneli ve maden ocağındaki tünelde BMD sistemiyle kontrol yapılmadığı göz önüne alınarak, sanal bilgisayar ortamında olsa dahi, geleceğe dönük hayati önemde somut bir uygulama olması bakımından, burada özellikle tüneller söz konusu edilmektedir.

### 4.2 Matlab (Matrix Laboratory) Simülasyon Programı

Matlab ismi, Matrix Laboratory kelimelerinin altı çizili kısımlarından türetilmiştir. Matlab, yüksek seviyede nümerik işlemlerin çözümüne uygun ve gösterim amaçlı yazılmış bir çeşit bilgisayar yazılım programıdır. Nümerik analiz, matris hesaplaması, sinyal işleme, grafik çizimi vb. daha birçok işlem türünü içerir. Matlab programı, Basic,

Fortran, C++ gibi programlama dilleri ile hazırlanmakta ve böylece yazımı uzun süre alan nümerik problemlerin daha kısa sürede çözümünde önemli bir kaynak olmaktadır (Matlab 1993).

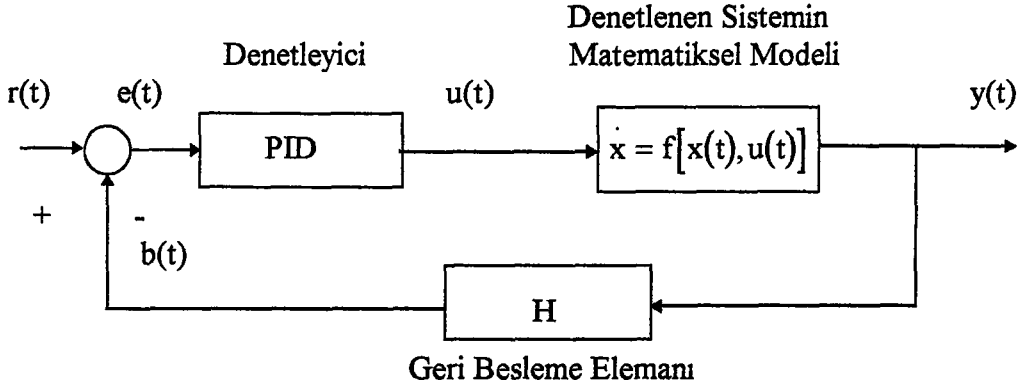
Matlab bünyesinde, "Toolbox = Araç kutusu" denilen ve çeşitli uygulamalar için özel çözümler içeren programlar da bulunmaktadır. Matlab'ın en önemli özelliği "Toolbox" tekniğiyle birlikte birçok probleme uygulanabilir nitelikte olmasıdır.

"Toolbox" örneklerinden bazıları; Sinyal İşleme (Signal Processing), Kontrol Sistemleri Tasarımı (Control Systems Design), Dinamik Sistemlerin Simülasyonu (Simulink), Sistem Tanıma (System Identification), Yapay Sinir Ağları (Neural Networks), Bulanık Mantık Denetleme (Fuzzy Logic Control), Gerçek Zaman Kontrol (Real Time Control) adlarıyla belirtilmektedir.

Matlab program örnekleri Ek-1, Ek-1A, Ek-1B, Ek-1C, Ek-2, Ek-2A, Ek3, Ek3-A'da verilmektedir. İlk dört Ek'de CO ve VI, son dört Ek'de ise hata ve hata değişimi giriş parametreleri olarak seçilmektedir. Bunlara karşı gelen çıkış parametreleri ise sırasıyla fan sayısı ve açılma hızı, mil momenti, frekans olmaktadır.

### **4.3 PID (Proportional Integral Derivative = Oransal Tümlensel Türevsel) Denetim Simülasyonu**

Sürekli (analog) işaretle çalışan geleneksel denetim sistemlerinin analiz ve sentezinde sistemin matematiksel modelinin kurulması esastır. Bu denetim sistemlerinin matematiksel modelleri, zaman domeninde, eğer sistem parametreleri zamanla değişmiyorsa ve doğrusal ise, normal diferansiyel denklemlerle ya da durum denklemleri ile verilir. Doğrusal zamanla değişmeyen bu kontrol sistemleri, s domeninde Laplace dönüşümü ve transfer fonksiyonları yardımı ile modellenir. Sürekli (analog) denetim işaretleri ile çalışan denetim sistemlerinin analiz ve sentezi bu modeller ile yapılır. Şekil 4.1'de sürekli işaretle çalışan ve PID denetimi kullanan temel bir denetim sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir (Sarıoğlu 1995).



Şekil 4.1. Sürekli (analog) işaretle çalışan temel denetim sistemi blok diyagramı

Şekil 4.1 incelendiğinde; girişte bir referans büyüklüğü  $r(t)$ , geri besleme elemanından gelen  $b(t)$  büyüklüğü, bu iki büyüklüğün farkını ifade eden  $e(t)$  hata işareti, denetleyici çıkışından alınan, denetleme sinyallerini temsil eden  $u(t)$  büyüklüğü,  $\dot{x} = f[x(t), u(t)]$  biçiminde verilen denetlenen sistemin matematiksel modeli, PID denetleyici, H geri besleme elemanı ve  $y(t)$  çıkış sinyali büyüklüğü görülmektedir (Sarioğlu 1995).

Blok diyagramı verilen ve sürekli işaretle çalışan denetim sisteminin zaman domeninde matematiksel modeli;

$$e(t) = r(t) - b(t) \quad (4.1)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (4.2)$$

$$b(t) = H y(t) \quad (4.3)$$

olmaktadır. Burada  $K_p$ , oransal kazancı;  $K_I$ , tümlevsel kazancı ve  $K_D$ , türevsel kazancı göstermektedir (Sarioğlu 1995).

Temel denetim sisteminde, denetlenen sistemin matematiksel modeli incelenerek durum denklemleri;

$$\bar{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n(t) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ve durum değişkeni vektörü;

$$\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n(t) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

olarak yazılmaktadır.

Sistemden elde edilen çıkış vektörü;

$$\mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n(t) \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

ifadesiyle belirtilir. Sistemin durum uzayında matematiksel modeli;

$$\frac{d\bar{\mathbf{x}}}{dt} = \bar{\mathbf{F}}[\bar{\mathbf{x}}(t), \bar{\mathbf{u}}(t)] \quad (4.7)$$

$$\underline{\mathbf{y}} = \bar{\mathbf{G}}[\bar{\mathbf{x}}(t), \bar{\mathbf{u}}(t)] \quad (4.8)$$

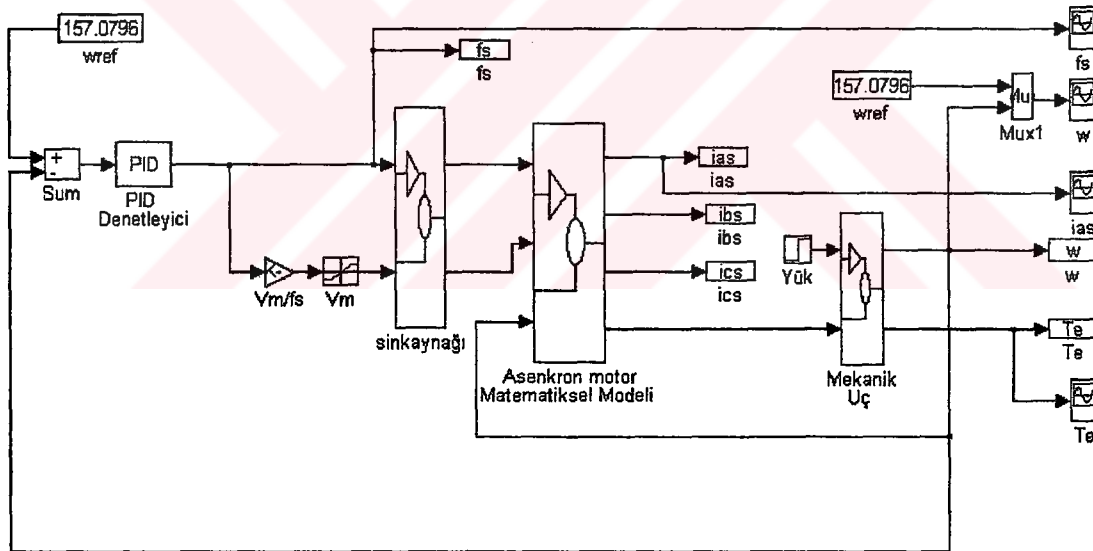
olarak verilir.  $\bar{F}$  ve  $\bar{G}$ , genelde  $x(t)$ 'nin doğrusal bir fonksiyonu değildir. Doğrusal ve zamanla değişmeyen kontrol sistemleri için (4.7) ve (4.8) matris denklemleri;

$$\dot{x} = \bar{A} \cdot \bar{X}(t) + \bar{B} \cdot \bar{U}(t) \quad (4.9)$$

$$y = \bar{C} \cdot \bar{X}(t) + \bar{D} \cdot \bar{U}(t) \quad (4.10)$$

biçiminde yazılır. Burada  $\bar{A}$ , (nxn) boyutunda;  $\bar{B}$ , (nxm) boyutunda;  $\bar{C}$ , (pxn) ve  $\bar{D}$ , (pxm) boyutunda parametre matrisleridir (Sarıoğlu 1988).

Bölüm 2 ve Bölüm 4'de buraya kadar açıklanan temel denetim sistemi blok diyagramı ve denklemlerden hareket edilerek bulunan PID denetim sisteminin blok diyagramı, Şekil 4.2'de görüldüğü üzere, Matlab simülasyon programında yapılmaktadır.



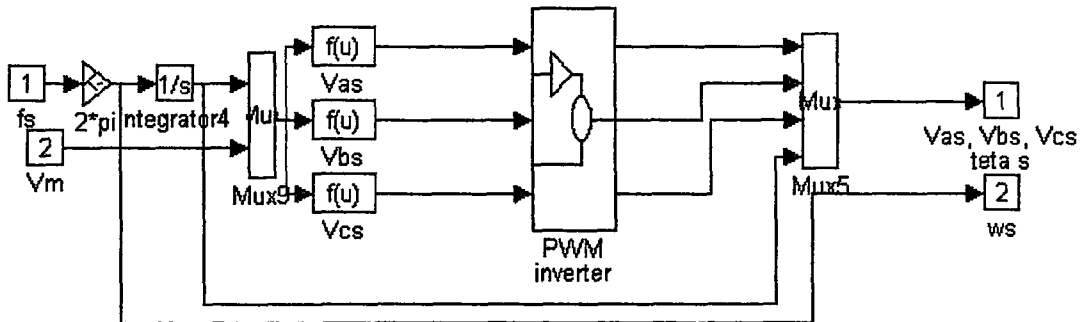
Şekil 4.2. PID (Proportional Integral Derivative = Oransal Tümlüsel Türevsel) denetim simülasyonu blok diyagramı

Şekil 4.2'nin incelemesinden; Matlab simülasyon programında sistem bloklar halinde tanımlanabilmektedir. Her blok kendi içinde s domeninde matematiksel modelini içerir. Blokların kapsamının bilinmesi için altlarına etiketlendirilmiştir. Burada blokları açıklayacak olursak, geri beslemeden gelen  $w$  (rad/s) açısal hızı 157,0796 rad/s

değerinde tanımlanan referans açısal hızı ile karşılaştırılmaktadır. Burada geribesleme sinyali toplama bloğu (sum)'nun (-) girişine geldiği için her kapalı çevrimde oluşan açısal hız 157,0796 rad/s'den çıkarılmakta ve oluşan fark bir hata şeklinde PID denetleyici girişine gelmektedir. PID denetleyici bloğu içinde  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  katsayıları girilmektedir. Buna göre;

$$U(s) = P + \frac{I}{s} + Ds \quad (4.11)$$

olarak yazılmaktadır. Deneme yanılma yöntemiyle,  $P=0,06366$ ,  $I=0,5990$  ve  $D=0,0030$  katsayıları bulunmaktadır. Burada,  $P$  katsayısı ile referans açısal hız çarpıldığında 10 sayısı elde edilmektedir. Bu sayı ilk anda PID denetleyicinin çıkışından üretilen frekans olan 10 Hz'i ifade etmektedir. Bir başka deyişle, sistem ilk anda 10 Hz'den başlamakta ve 50 Hz'e kadar frekans artırılmaktadır. Referans açısal hızına ulaşıldığında veya 50 Hz üretildiğinde sistem kararlı çalışıyor demektir.  $I$  ve  $D$  katsayıları deneme yanılma yöntemiyle açısal hız ve mil momenti çıkışı kontrol edilerek bulunmaktadır.  $V_m/f_s$  katsayısının değeri  $311/50=6,22$  olarak tespit edilmektedir. Bu değer, gerilim frekans oranını sabit tutmaktadır. Asenkron motorlarda bu oranın sabit tutulması ile çıkıştan alınan momentin sabit olması sağlanmaktadır.  $V_m$  doyma (saturation) bloğu ise elde edilen gerilimin 6,22 ile 311 volt arasında kalmasını sağlamaktadır. Bir sınırlandırıcı görevini yapan bu blok, gerilimin 6,22 volttan aşağı ve 311 volttan yukarı çıkmasını engellemektedir. Şekil 4.3'de sinüs kaynağı bloğunun içi görülmektedir. Bu blok içinde üç fazlı sistem ve PWM bloğu tanımlanmaktadır.



Şekil 4.3. Sinüs kaynağı bloğu simülasyonu



Şekil 4.3'ün incelemesinden, 1 nolu giriş  $f_s$  frekans girişini, 2 nolu giriş  $V_m$  gerilim girişini göstermektedir. Üç fazlı sistemin simülasyonu fonksiyon bloklarıyla yapılmakta, PWM çıkışından darbelere ayrılmış sinüsoidal gerilim multiplekser tarafından  $V_{as}$ ,  $V_{bs}$ ,  $V_{cs}$  gerilimlerine,  $tetas=\theta_s$  olarak 1 nolu çıkışa verilmektedir. Ayrıca bu blokta  $w_s=2.\Pi.f_s$  büyüklüğü de tanımlanmaktadır. Üç fazlı sistemin s domeninde gösterilebilmesi için uygulanan gerilim ifadesi;

$$v(s) = V_m \cdot \sin\left(2.\Pi.f_s \cdot \frac{1}{s}\right) \quad (4.12)$$

olarak belirlenmektedir. Buradaki büyüklüklerden  $V_m$ , 62,2 volttan başlayarak 311 volta ve  $f_s$  (Hz) frekansı 10 Hz'den başlayarak 50 Hz'e ulaşan bir sinyaldir. Sinyal bir hat üzerinden aralarında  $120^\circ$  faz farkı oluşturulmak üzere  $f(u)$  fonksiyonlarına girmektedir.  $f(u)$  fonksiyon blokları incelenecek olursa;

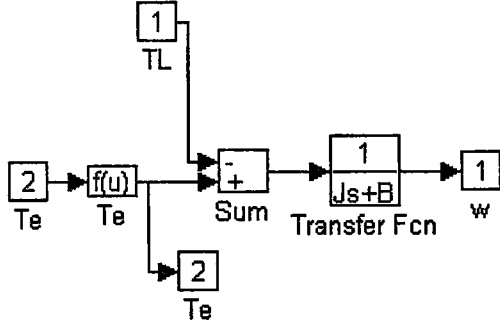
$$\text{a fazı için; } v_{as} = u(2) \cdot \sin[u(1)] \quad (4.13)$$

$$\text{b fazı için; } v_{bs} = u(2) \cdot \sin\left[u(1) - \left(\frac{2\pi}{3}\right)\right] \quad (4.14)$$

$$\text{c fazı için; } v_{cs} = u(2) \cdot \sin\left[u(1) + \left(\frac{2\pi}{3}\right)\right] \quad (4.15)$$

bulunmaktadır. Burada  $u(2)$  uygulanan  $V_m$  gerilimini,  $u(1) = 2.3,14.f_s \cdot \frac{1}{s}$  değerini, 0,  $-2\Pi/3$ ,  $2\Pi/3$  ise  $120^\circ$ 'lik faz farkını belirtmektedir. Fonksiyon bloklarının çıkışları a-b-c fazlarını oluşturmaktadır.

Şekil 4.2'de görülen mekanik uç bloğu, asenkron motorun miline ait denklemleri içermekte ve bloğun açılımı Şekil 4.4'de görülmektedir.



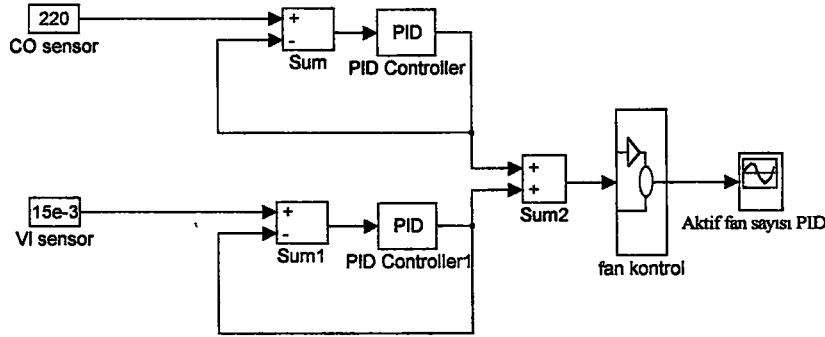
Şekil 4.4. Mekanik uç bloğu simülasyonu

Şekil 4.4'ün incelemesinden,  $T_e$  fonksiyon bloğu içinde denklem (3.70) ve  $\frac{1}{Js+B}$  transfer fonksiyonu içinde motorun eylemsizlik momenti ile sürtünme ve vantilasyon kayıpları tanımlanmaktadır. Ancak sadelik bakımından motorun sürtünme ve vantilasyon kayıpları ihmal edilmektedir. Transfer fonksiyonunun çıkışı açısal hızı (rad/s),  $T_e$  fonksiyon bloğunun çıkışı ise mil momentini (Nm) vermektedir. 1 nolu giriş jet fan miline uygulanan, nominal yük momentidir. Bir başka deyişle, asenkron motor nominal moment ile yüklenmektedir. Sisteme bozucu etki olarak (-) girmektedir. Değeri,  $P=50$  Hp (36800 w) gücünde ve  $w=157$  rad/s açısal hızıyla dönen 4 kutuplu bir makina için;

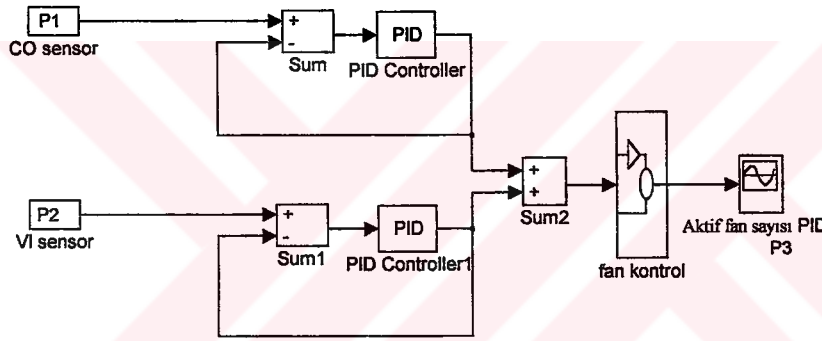
$$P = T_{em} w \quad (4.16)$$

ifadesinden  $T_{em} = 234.395$  Nm olarak bulunmaktadır. Bu değer, adım fonksiyonu olarak tanımlanan 1 numaralı  $T_L$  ucundan asenkron motora uygulanmaktadır. Dönme momentinin açısal hızın karesiyle orantılı olması halinde, fan motorlarına daha yumuşak bir yükleme işleminin uygulanması mümkün görülmektedir. Ancak Tez'de, adım fonksiyonu seçilerek, daha zor yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yükleme sonucunda PID denetleyici sistem  $f_s$  frekansını kontrol ederek, çıkış açısal hızı, referans açısal hızına ulaşmaktadır. Sistemin referans açısal hızına ulaşma zamanı (kararlılık zamanı) bulunmaktadır.

Öte yandan; CO ve VI sensörlerinden alınacak bilgiye göre devreye girecek fan sayısı belirlenmektedir. Bu denetime ait blok diyagramı Şekil 4.5'tedir.



(a)

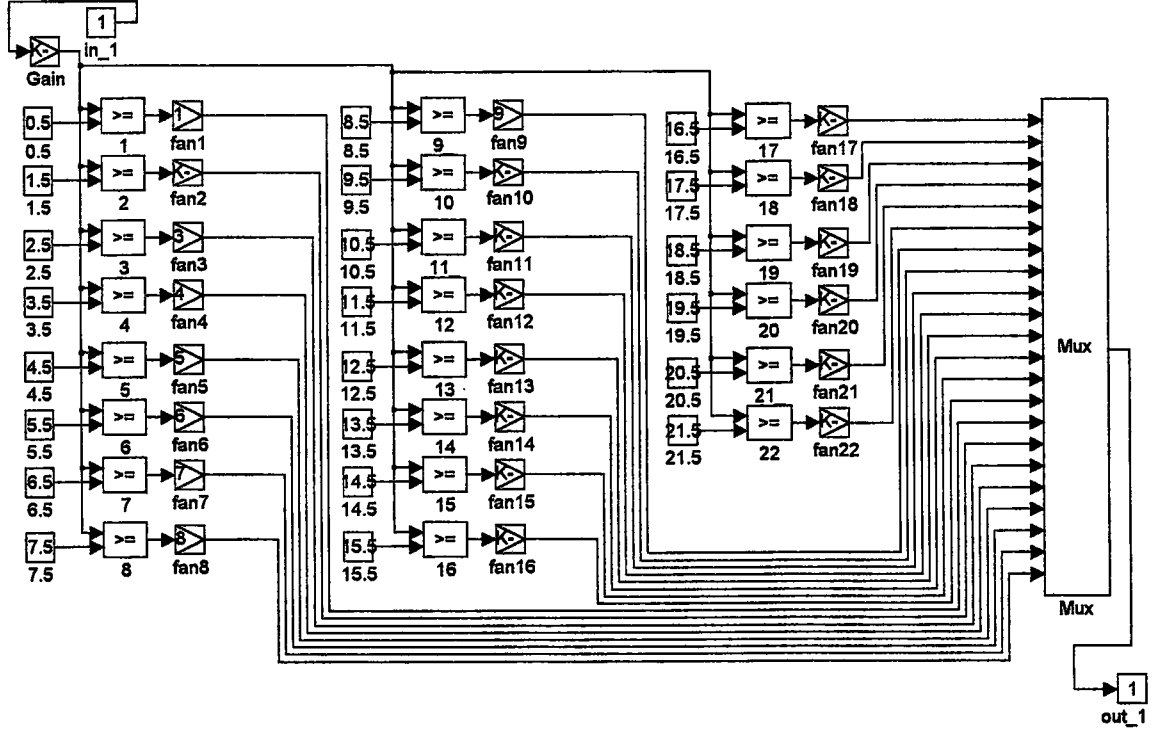


(b)

Şekil 4.5. PID denetleyici ile fan sayısı denetimi blok diyagramları

- $P_1 = 220 \text{ ppm}$ ,  $P_2 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ ,  $P_3 = 22$  ekstrem değerleri için denetim
- $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  genel değerleri için denetim

Şekil 4.5'den görüleceği üzere, CO ve VI sensörü burada tanımlanmaktadır. Bloklara giren değerler ise tünel içine tesis edilen sensörlerden alınmakta ve bilgisayar ortamında simülasyonu gerçekleştirilmektedir. CO ve VI sensörlerinin çıkışı PID denetleyicilere bağlanmaktadır. Bu nedenle iki adet denetleyici kullanılmaktadır. İki adet toplama noktası kullanılarak, PID denetleyiciler çıkışından alınan geri besleme sinyalleri ile karşılaştırılmaktadır. PID çıkışından alınan sinyaller sum2 toplama noktasında birleştirilerek, Şekil 4.6'da görüldüğü üzere, PID fan kontrol bloğuna gelmektedir.

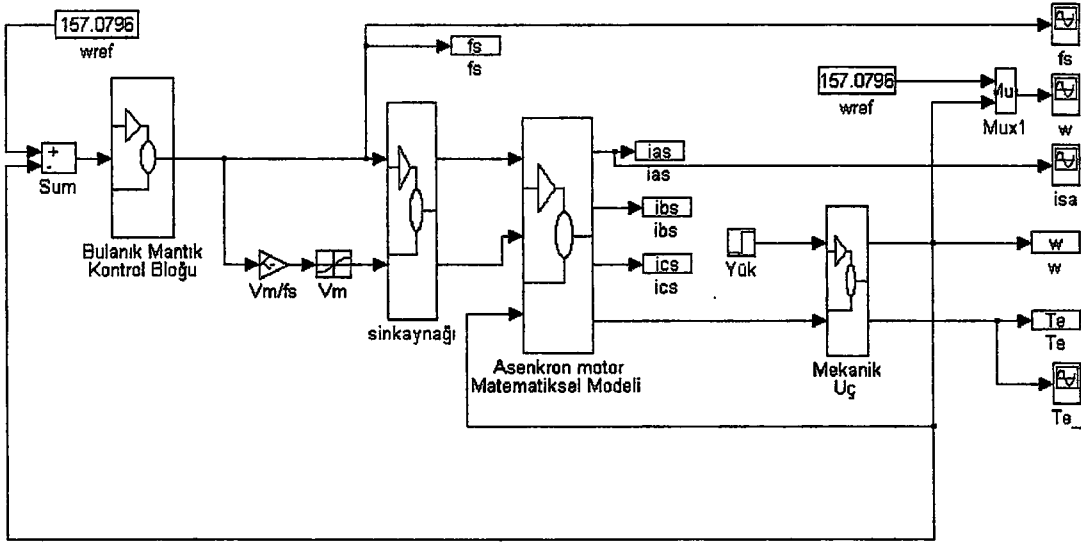


Şekil 4.6. PID fan kontrol bloğu

Şekil 4.6'da fan kontrol bloğu iç şeması detayları görülmektedir. Toplama noktası 2 (sum 2)'nin çıkışından alınan denetim sinyalleri Şekil 4.5'de görülen bloğun girişine (in-1) gelmektedir. Bu denetim sinyali blok içinde oluşturulan mantık kutularıyla değerlendirilmektedir. Burada kullanılan  $\geq$  mantık kutuları bir karşılaştırma yapmaktadır. Girişten gelen sinyal, kazanç (gain) ile çarpılarak mantık kutularına gelmektedir. Bilgisayar ortamında yapılan denemelerle ancak  $K < 1/10$  olması durumunda, kararlı bir çıkış elde edildiği görülmektedir. Karşılaştırma işlemi şöyle yapılmaktadır;

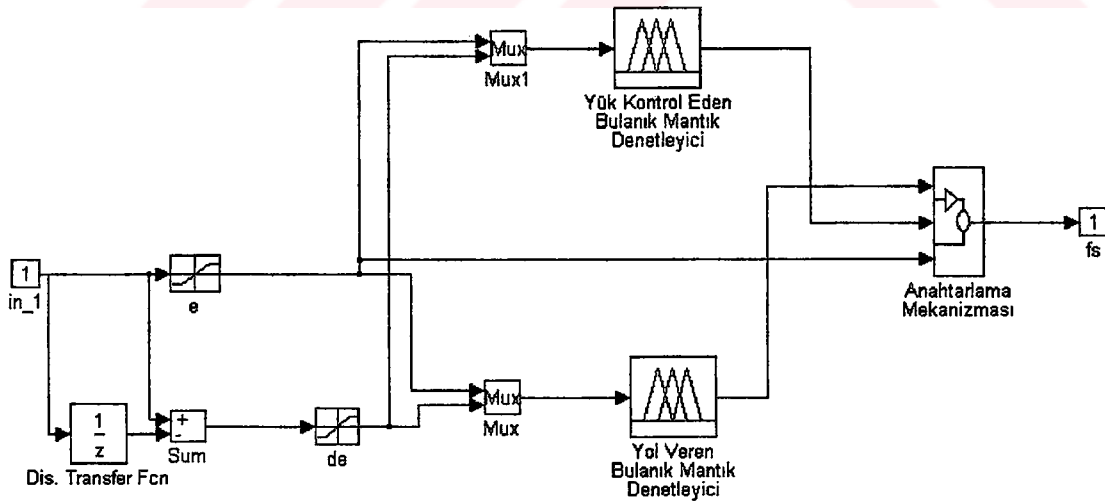
Eğer gelen sinyal 0,5'den büyük veya eşitse 1 nolu fan devreye girsin, eğer gelen sinyal 1,5'den büyük veya eşitse 1 ve 2 nolu fanlar devreye girsin, eğer gelen sinyal 2,5'den büyük veya eşitse 1, 2 ve 3 nolu fanlar devreye girsin, eğer gelen sinyal 21,5'den büyük veya eşitse 22 adet fanın tamamı devreye girsin şeklindedir. Böylece PID denetleyiciden gelen sinyalin büyüklüğüne göre fanların devreye alınması gerçekleşmektedir.

#### 4.4 Bulanık Mantık Denetim Simülasyonu



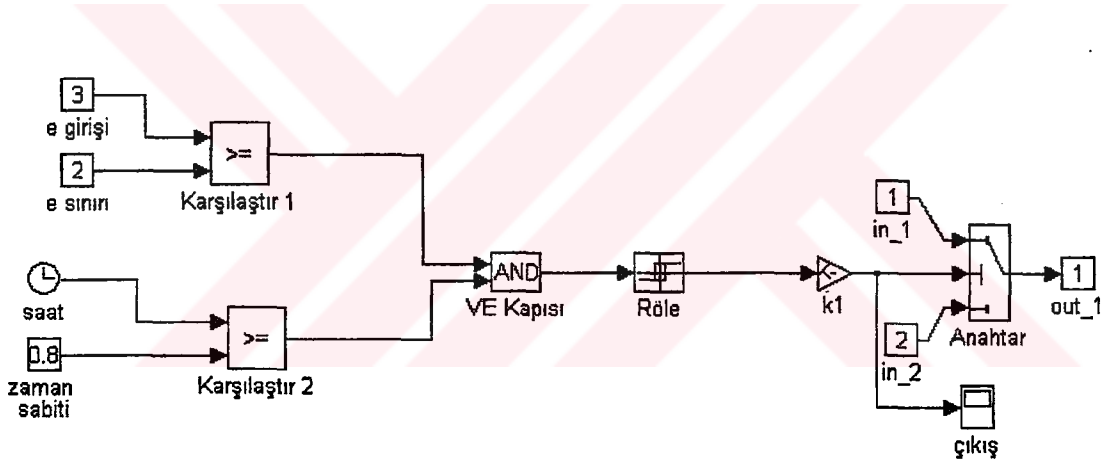
Şekil 4.7. Bulanık mantık kontrol blok diyagramı

BMD blok şeması Şekil 4.7’de verilmektedir. Şekil 4.7’nin incelenmesinden; Şekil 4.2’de verilen PID simülasyonu şemasına benzediği, sistemden sadece PID denetleyici çıkarılarak yerine Bulanık Mantık Kontrol Bloğu yerleştirildiği görülmektedir. Şekil 4.8’de ise Bulanık Mantık Kontrol Bloğu açık şeması verilmektedir.



Şekil 4.8. Bulanık mantık kontrol bloğu simülasyonu

Şekil 4.8'in incelemesinden; 1 nolu girişten gelen hata sinyali (e) ve kesik transfer fonksiyon bloğu için alınan aynı sinyal çıkışları karşılaştırılarak elde edilen hata değişimi (de), iki adet BMD'ye giriş olarak gelmektedir. Bunlardan birincisi asenkron motora yol vermeyi sağlayan "Yol Veren BMD", diğeri ise yükü denetleyen "Yükü Kontrol Eden BMD" dir. Bunun nedeni, aynı anda bir denetleyici hem 10 Hz'den başlayarak 50 Hz'e varan frekans artışı ile yol vermeye, hem de yüklenme işlemini yapamamaktadır. Bunun da nedeni, yol verme esnasında fis editöründe işletilen kuralların dilsel etiket olarak yoğun negatif, yüklenme esnasında ise yoğun pozitif biçiminde kullanılmasıdır. Aynı anda bir kural tabanında hem negatif hem de pozitif özellik bulunması olası bulunmamaktadır (Liaw 1996). Bundan dolayı, denetleyici girişleri aynı olmak şartıyla, iki kural tabanı ve iki çıkış tanımlanmaktadır. Sistemin işleyişi, denetleyicilerin devreye alınmaları ve çıkmaları anahtarlama mekanizması ile sağlanmaktadır (Liaw 1996).

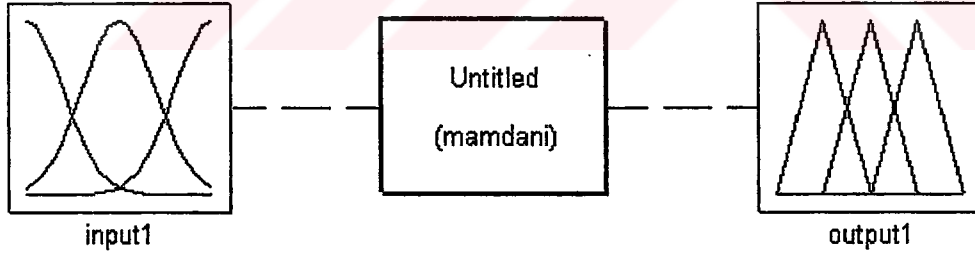


Şekil 4.9. Anahtarlama mekanizması bloğu simülasyonu

Şekil 4.9'da Anahtarlama mekanizması Bloğuna ait simülasyon şeması verilmektedir. Şekil 4.9'un incelemesinden; yükü kontrol eden Karşılaştır 1 mantık bloğu ve yol vermeyi kontrol eden Karşılaştır 2 mantık bloğu bulunduğu, bunların çıkışlarının ise VE kapısı ile röleye bağlandığı görülmektedir. Yol alma işleminin 0.8 s içinde gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bu durumda, 0.8 s zaman diliminden önce yükü kontrol eden denetleyici devreye girememektedir. Zaman sinyali, saat yardımıyla, sistem simülasyon zamanından alınmaktadır. Simülasyon işlemeye başladığı an saat da devreye girmektedir. Motor açılma hızı 0.8 s'den önce referans açılma hızına ulaşmaktadır. 0.8 s'ye ulaşıldıktan sonra, yüklenme gerçekleştirilebilmektedir. Bu

durumda Karşılaştır 2 mantık bloğunun çıkışı lojik 1 yani “ON” olmaktadır. VE kapısı ile, hem yük hem de yol verme gerçekleştiğinde, anahtarın konumunun değiştirilmesi sağlanmaktadır. Ancak şartlardan ikisi gerçekleştiğinde, anahtar konumunu değiştirerek, yük kontrol eden denetleyiciyi devreye almaktadır. Yükün kontrolü, bir hata sensörü görevi yapan Karşılaştır 1 mantık bloğu ile gerçekleştirilmektedir. Hata 2 rad/s veya daha büyük değerde ise, Karşılaştır 1 mantık bloğu çıkışı lojik 1 “ON” olmaktadır. Bu durumda, VE kapısına iki adet lojik 1 “ON” geldiğinde sistemin yüklendiği ve rölenin devreye girdiği anlaşılmaktadır. Rölenin devreye girmesiyle birlikte anahtara lojik 1 “ON” sinyali gelmekte, bunun sonucunda yükü kontrol eden denetleyici de aktif olmaktadır.  $k_1$  katsayısı -1 değerinde olup, anahtarın ters çalışmasını sağlamaktadır. Bu katsayının +1 olması halinde ise yükü kontrol eden denetleyici devreye alındıktan sonra, yol veren denetleyici devreye girmektedir. Bu durum, düşünülen mantığın tersi olduğundan dolayı -1 katsayısı ile sistem istenilen çalışma şartlarına çekilmektedir.

BMD’ler; Şekil 4.10’da görülen Matlab programı fis (fuzzy inference system = bulanık çıkarım sistemi) editörü içindeki bulanık araç kutusu (fuzzy toolbox) alt dosyası altında tanımlanmaktadır.



Şekil 4.10. Fis (bulanık çıkarım sistemi) editöründen genel görünüm

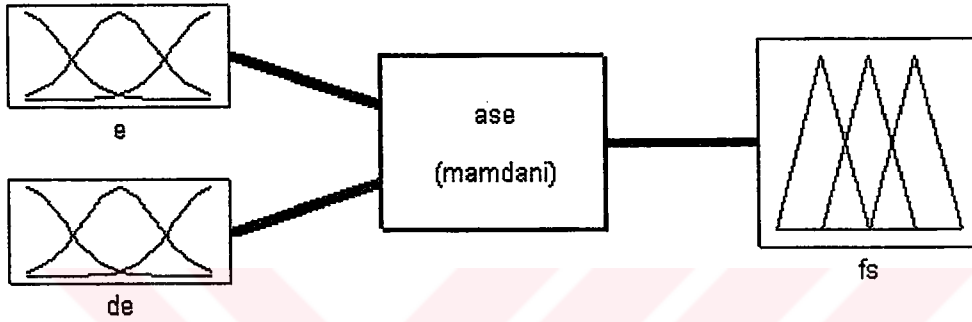
Şekil 4.10’un incelenmesinden; BMD’nin giriş (input1) , çıkış (output1) ve kural tabanı (untitled) kısımlarından oluştuğu görülmektedir. Açısız hız kontrolü yapılan sistemde girişler hata (e) ve hata değişimi (de) olarak tespit edilmektedir. Bu durumda, denetleyicilere gelen iki giriş sinyali bulunmaktadır. Sistemde iki tip kontrol yapısı bulunmaktadır. Bunlar;

- a) Yol verme kontrol yapısı,
- b) Yük kontrol yapısı.

Bu iki kontrol yapısı aşağıda incelenmektedir.

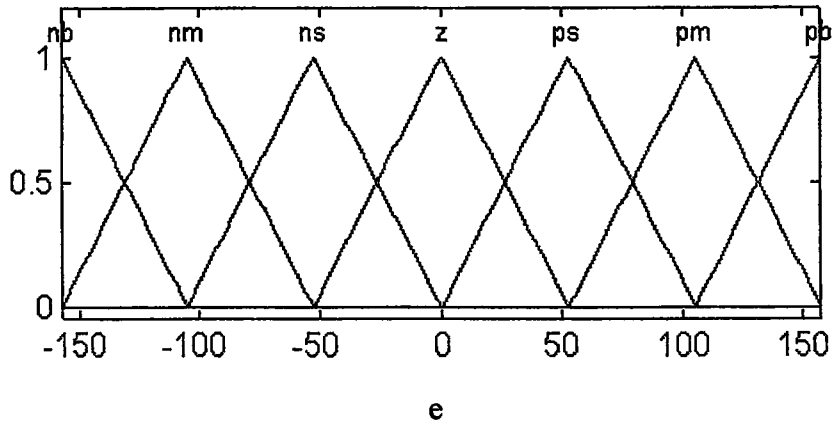
#### 4.4.1 BMD ile yol verme kontrol yapısının oluşturulması

Şekil 4.11'deki ase.fis editöründe görüldüğü gibi, denetleyici girişleri (e) ve (de) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.11. "Ase.fis" yol verme editörünün genel görünümü

Hata (e) sistem geri beslemesinden gelen açısal hız ile referans açısal hızı arasında oluşan farktır. Hatanın, kesikli transfer fonksiyon bloğu ile ters z transformasyonuna tabi tutulması sonucu hata değişimi (de) oluşmaktadır. Ase (mamdani) bloğu kuralların yazılabileceği ve düzeltilebileceği bir editördür. Eğer-o halde kuralları bu blokta değerlendirilmektedir. Yol verme hata bloğunun iç yapısı Şekil 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.12. Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı (üçgen üyeli fonksiyonu)

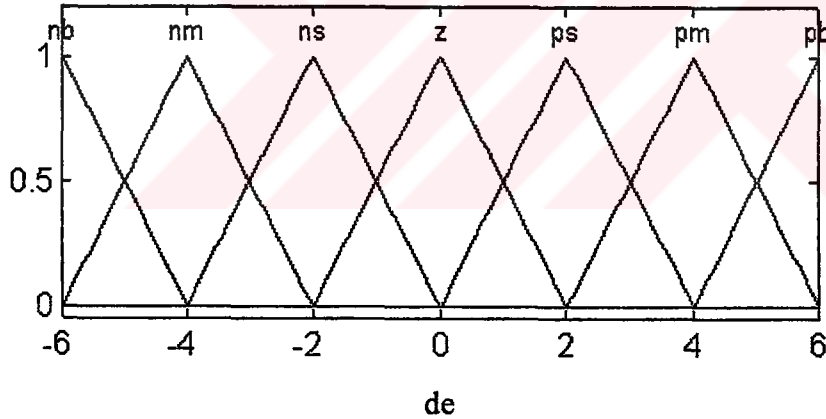


Şekil 4.12'nin incelemesinden; düşey eksende üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında olduğu, yatay eksende hata sınır değerlerinin ise -157,1 rad/s ile 157,1 rad/s arasında değiştiği görülmektedir. Motor açısal hızı arttıkça, geribeslemeden gelen sinyalden dolayı, referans açısal hıza kıyasla, fark meydana gelmektedir. Pozitif büyük (pb) etiketi 157,1 rad/s 'de maksimum üyelik derecesine sahip olmakta, pozitif orta (pm) etiketine doğru gidildikçe azalmakta ve 104,7 rad/s'de minimum olmaktadır. Hata azaldıkça aktif olan etiket değerleri değişmektedir. Buna göre Tablo 4.1'de yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) üçgen üyelik fonksiyonu için verilmektedir.

Tablo 4.1. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s)(üçgen üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-104,7	-157,1 -52,37	-104,7 0	-52,37 52,37	0 104,7	52,37 157,1	104,7
1	-157,1	-104,7	-52,37	0	52,37	104,7	157,1

Hata değişimi (de) bloğu ise Şekil 4.13'de açık olarak görülmektedir.



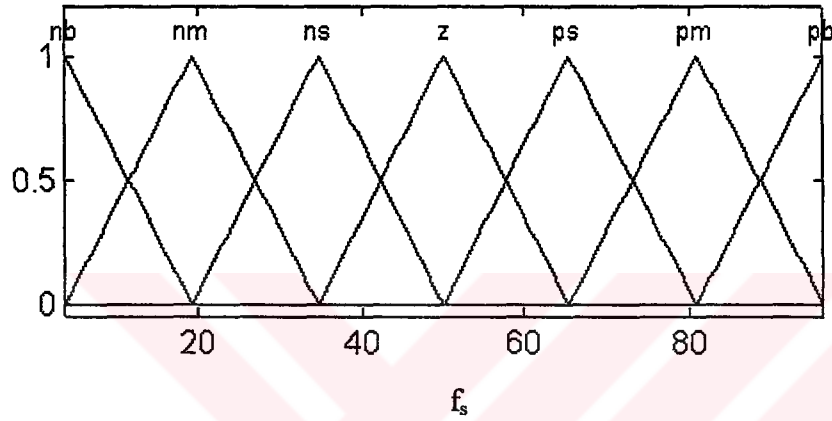
Şekil 4.13. Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.13'ün incelemesinden; hata değişimi sınır değerlerinin -6 ile 6 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler, z transformasyonu çıkışından elde edilmektedir. Hata değişimi (de) bu sınırlar dahilinde kontrol edilmektedir.  $\pm 6$  rad/s değişim aralığının  $\pm 157$  rad/s sınırları içinde önemsiz olduğu söylenebilir. Hata değişimi, maksimum 6 (pb) etiketinden başlayarak gittikçe sifıra yaklaşmakta, sistem dengeye oturduğunda, sıfır olmakta ve sıfır (z) etiket değerine oturmaktadır. Tablo 4.2'de yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) üçgen üyelik fonksiyonu için verilmektedir.

Tablo 4.2. Yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) (üçgen üyelik fonsiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-4	-2 -6	-4 0	-2 2	2 4	2 6	4
1	-6	-4	-2	0	2	4	6

Sistemin kontrol edilmesinde bir parametre olarak kullanılan frekans, denetleyici çıkışı olup, Şekil 4.14’de açıklanmaktadır.



Şekil 4.14. Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonsiyonu)

Şekil 4.14’ün incelemesinden; frekans sınır değerlerinin 4 ile 96 Hz arasında değiştiği görülmektedir. Bu sınır değerlerinde de kontrol gerçekteşmektedir. Hata (e) ve hata değişimi (de)’nin sıfır olduğu anda frekans 50 Hz olmaktadır. Bu durum sıfır (z) etiketinin 50 Hz’e denk gelmesini sağlamakta ve frekans 50 Hz olduğu zaman sistem kararlı çalışmaktadır. Buna göre Tablo 4.3’de yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) üçgen üyelik fonsiyonu için verilmektedir.

Tablo 4.3. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (üçgen üyelik fonsiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	19,33	4 34,67	19,33 50	34,67 65,33	50 80,67	65,33 96	80,67
1	4	19,33	34,67	50	65,33	80,67	96

Giriş ve çıkış belirledikten sonra kural tabanı oluşturulmaktadır. Kural tabanının oluşturulması için sistemin çalışması bilinmesi gerekmektedir. Yazılacak kurallar bir bütün olarak işlemekte ve optimum sonuç Ağırlık Merkezi Metodu ile bulunmaktadır. Tablo 4.4’de yol verme işleminde kullanılan BMD kural tabanı görülmektedir.

Tablo 4.4. Yol verme işleminde kullanılan BMD kural tabanı

e \ de	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
PM	NM	NM	NM	NS	NS	Z	Z
PS	NM	NB	Z	Z	Z	PS	PB
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
NS	NS	NS	Z	NM	NM	NM	NB
NM	Z	NS	NS	NS	NM	NM	NM
NB	NB	Z	NS	NS	NS	NM	NM

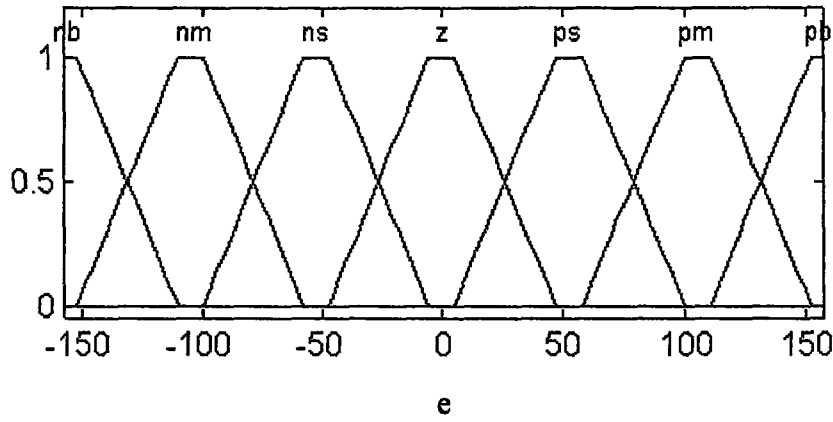
Tablo 4.4’ün incelemesinden aşağıda belirtilen kurallar dizini oluşmaktadır:

Kural 1: Eğer ( e pb) ve (de pb) ise, O halde ( $f_s$  nb)’dir.

Kural 2: Eğer ( e nb) ve (de nb) ise, O halde ( $f_s$  nm)’dir.

Kural 1 ve 2’den anlaşılacağı gibi, pb ve nb dilsel etiketli hata (e), ve pb ve nb dilsel etiketli hata değişimlerinde (de) çıkış yoğun negatif olmaktadır. Kural 1 ve Kural 2’ye benzer 49 adet kural yazılmaktadır. Tablo 4.4’ün birinci düşey ve birinci yatay sütunu (e) ve (de) girişlerini, içerideki diğer sütunlar ise çıkışı, yani denetlenen frekansı ( $f_s$ ) ifade etmektedir.

Buraya kadar ifade edilen giriş ve çıkışta, üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Giriş ve çıkışın sınır değerleri ve kural tabanı sabit tutularak, üyelik fonksiyonları sırasıyla trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmüştür. Bu Bölüm’de, elde edilen BMD çıkışları (açısal hız, mil momenti, frekans, fan sayısı), üyelik fonksiyonları değiştirilerek, kendi aralarında ve PID sonuçları ile Bölüm 5’de karşılaştırılmakta ve yorumlanmaktadır.



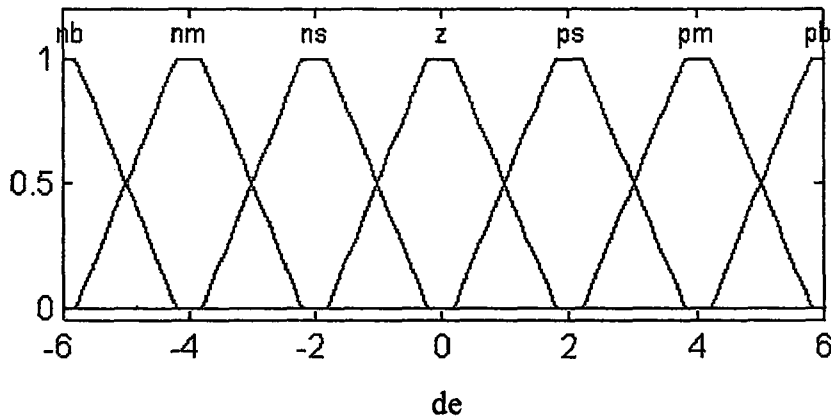
Şekil 4.15. Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.15’de, trapez üyelik fonksiyonu kullanılması durumunda, hata (e)’nin sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.5’de verilmektedir.

Tablo 4.5. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-109,9	-151,9	-99,47	-47,13	5,237	57,6	109,9
1	-157,1	-109,9	-57,6	-5,237	47,13	99,47	151,9
	-151,9	-99,47	-47,13	5,237	57,60	109,9	157,1

Hata değişimi (de) için üçgen üyelik fonksiyonları, trapez üyelik fonksiyonlarına dönüştürülürse Şekil 4.16 elde edilmektedir.



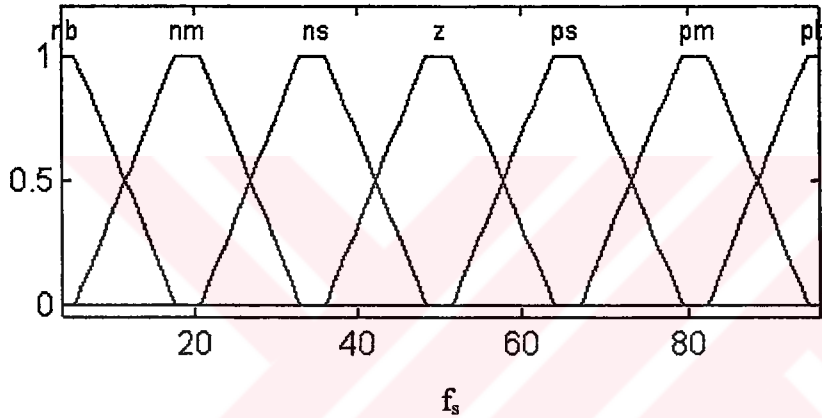
Şekil 4.16. Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.16’da trapez üyelik fonksiyonu kullanıldığında hata değişimi (de)’nin sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.6’da verilmektedir.

Tablo 4.6. Yol verme hata değişimi ( $\mu$ ) sınır ve pik değerleri (rad/s) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-4,2	-5,8	-3,8	-1,8	0,2	2,2	4,2
		-2,2	-0,2	1,8	3,8	5,8	
1	-5,8	-4,2	-2,2	-0,2	1,8	3,8	5,8
	-6	-3,8	-1,8	0,2	2,2	4,2	6

Üçgen üyelik fonksiyonları kullanılan çıkış parametresi frekans, trapez üyelik fonksiyonlarına dönüştürüldüğünde Şekil 4.17 elde edilmektedir.



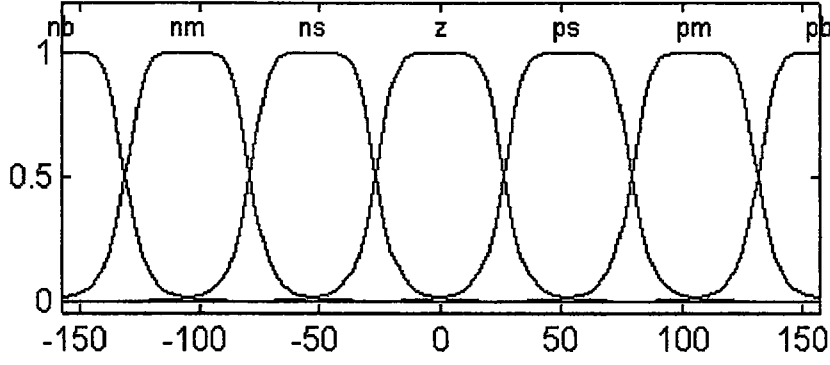
Şekil 4.17. Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.17'de trapez üyelik fonksiyonu kullanıldığında frekans ( $f_s$ )'ın sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	17,8	5,533	20,86	36,2	51,53	66,86	82,2
		33,14	48,47	63,8	79,14	94,47	
1	4	17,8	33,14	48,47	63,8	79,14	94,47
	5,533	20,86	36,2	51,53	66,86	82,2	96

Trapez üyelik fonksiyonların, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi durumunda elde edilen değişimler Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmektedir.



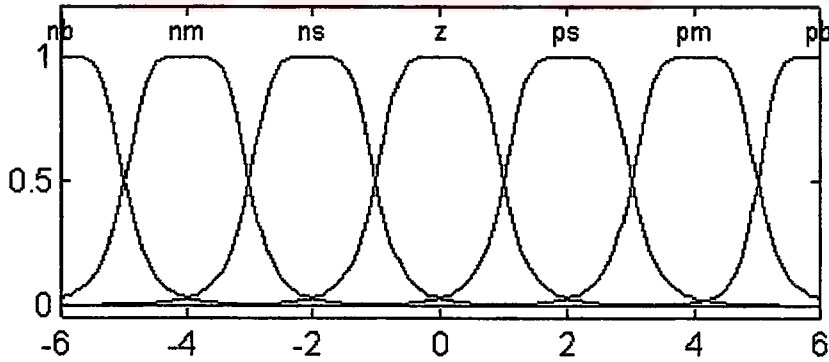
e

Şekil 4.18. Yol verme hata (e) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi fonksiyonu)

Şekil 4.18'de Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında hata (e)'nin sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.8'de verilmektedir.

Tablo 4.8. Yol verme hata (e) sınır ve pik değerleri (rad/s) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-106,4	-157,1 -53	-106,4 0	-53 53	0 106,4	53 157,1	106,4
1	-157,1	-106,4	-53	0	53	106,4	157,1



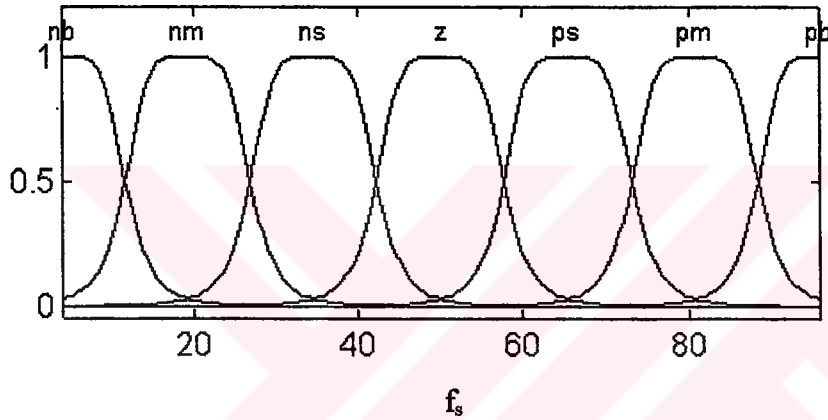
de

Şekil 4.19. Yol verme hata değişimi (de) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.19’da Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında hata değişimi (e)’nin sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.9’da verilmektedir.

Tablo 4.9. Yol verme hata değişimi (de) sınır ve pik değerleri (rad/s) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	-4	-6	-4	-2	0	2	4
1	-6	-4	-2	0	2	4	6



Şekil 4.20. Yol verme frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.20’de Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında frekans ( $f_s$ )’ın sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.10’da verilmektedir.

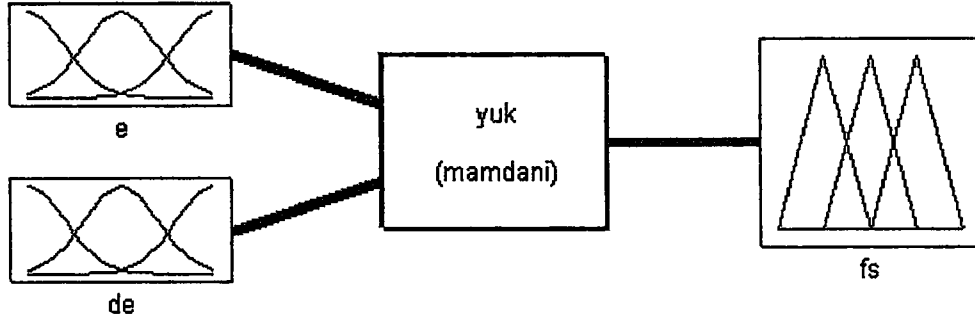
Tablo 4.10. Yol verme frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	19	4	19	35	50	65	81
1	4	19	35	50	65	81	96

#### 4.4.2 BMD ile yük kontrol yapısının oluşturulması

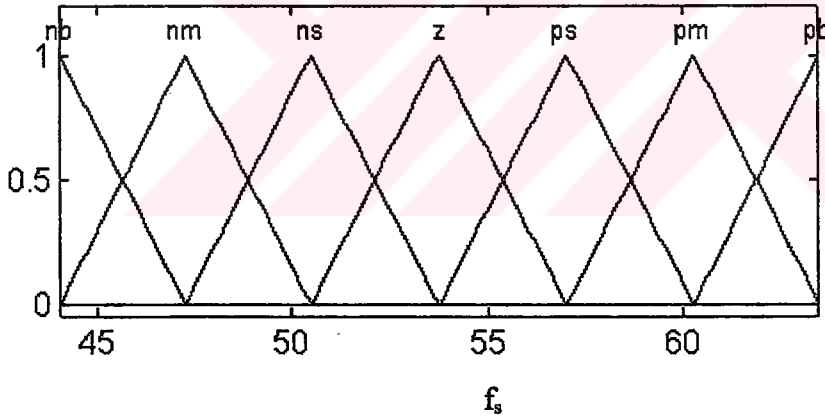
(e) ve (de) parametreleri, BMD yük ve yol verme kontrolü işlemlerinde, giriş değerler olarak kullanılmaktadır. Kontrol edilen parametrelerden frekans ise, yük kontrolü için

yeniden tasarlanmakta, buna bağı olarak kural tabanı değişmekte ve frekans aralığı tanımlanmaktadır. Şekil 4.21, yükü kontrol eden BMD fis editörünün genel davranışını göstermektedir.



Şekil 4.21. "Yük.fis" yük kontrol editörünün genel davranış

Şekil 4.21'deki "yük.fis" editöründe görüldüğü gibi, denetleyici girişleri (e) ve (de) çıkışı ise frekans olarak tanımlanmaktadır. Şekil 4.21 ve Şekil 4.11 mantık olarak birbirine benzemektedir. Bloklardan, frekans bloğu Şekil 4.22'de açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.22. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (üçgen üyelik fonksiyonu)

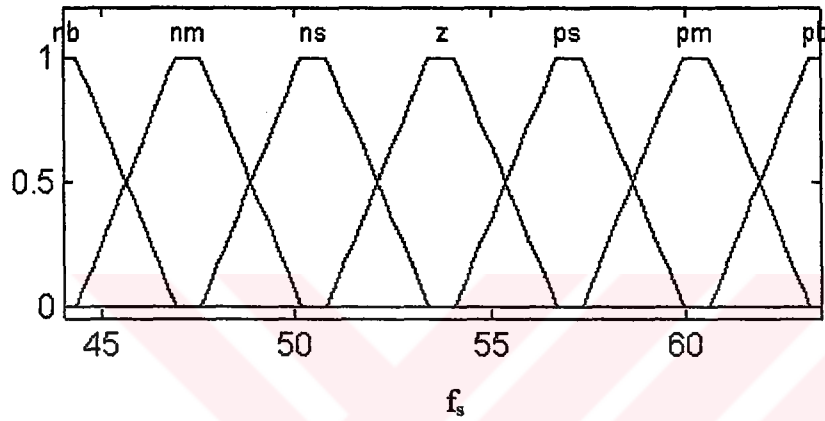
Şekil 4.22'nin incelemesinden, frekans sınır değerlerinin yüklenme durumu için 44 ile 63,5 Hz arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler frekansın maksimum ve minimum sınır değerlerini göstermektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.11'de verilmektedir.



Tablo 4.11. Yüğü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (üçgen üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	47,25	44 50,5	47,25 53,75	50,5 57	53,75 60,25	57 63,5	60,25
1	44	47,25	50,5	53,75	57	60,25	63,5

Üçgen üyelik fonksiyonu trapez üyelik fonksiyonu ile değiştirildiğinde, Şekil 4.23 elde edilmektedir.



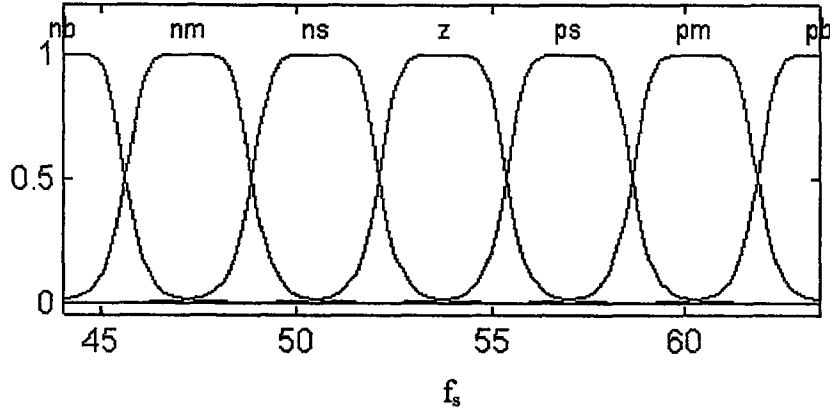
Şekil 4.23. Yüğü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (trapez üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.23'de trapez üyelik fonksiyonu kullanıldığında frekans ( $f_s$ )'ın sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.12'de verilmektedir.

Tablo 4.12. Yüğü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	46,92	44,32 50,18	44,58 53,42	50,82 56,68	54,08 59,92	57,32 63,18	60,58
1	44 44,32	46,92 47,58	50,18 50,82	53,42 54,08	56,68 57,32	59,92 60,58	63,18 63,5

Trapez üyelik fonksiyonları Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına dönüştürüldüğünde Şekil 4.24 elde edilmektedir.



Şekil 4.24. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) bloğu iç yapısı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.24'de Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında frekans ( $f_s$ )'ın sınır değerleri görülmektedir. Buna göre sınır ve pik değerleri Tablo 4.13'de verilmektedir.

Tablo 4.13. Yükü kontrol eden frekans ( $f_s$ ) sınır ve pik değerleri (Hz) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	47,1	50,4	47,1	50,4	53,75	52	60,4
		44	53,75	52	60,4	63,5	
1	44	47,1	50,4	53,75	52	60,4	63,5

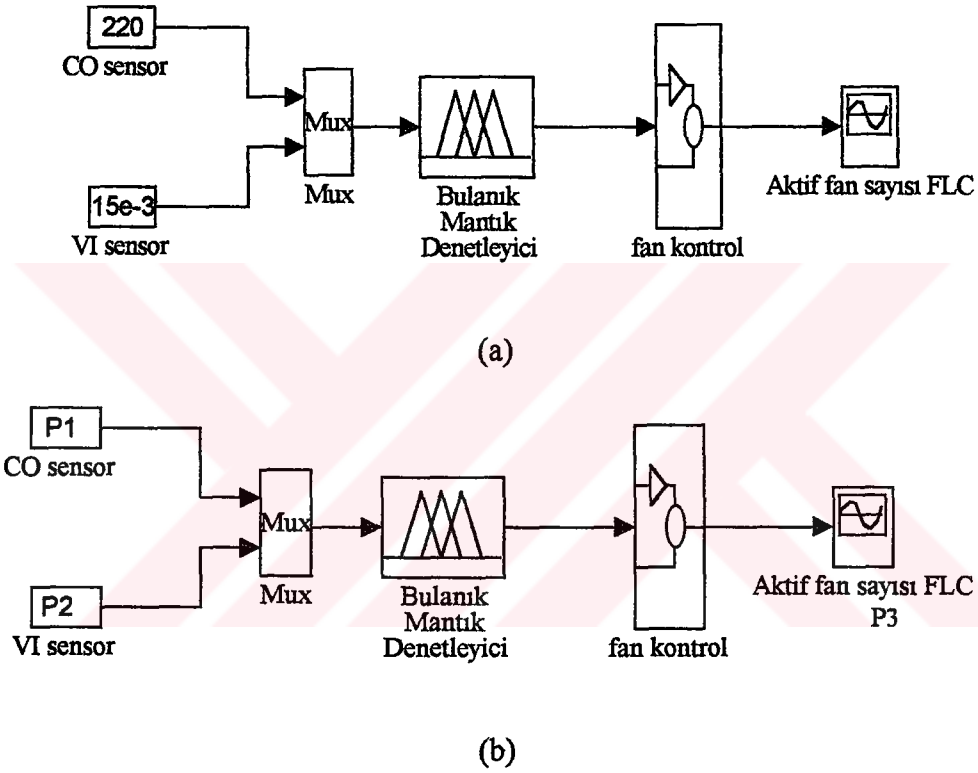
Kural tabanının yazılabilmesi için asenkron motorun yük altında çalışmasının bilinmesi gerekmektedir. Asenkron motorun yüklenmesiyle açısal hız azalırken, denetleyicinin devreye girmesi sonucu çekilen akım artmakta ve referans açısal hıza ulaşmaktadır. Bu kontrol işleminde kullanılan kural tabanı Tablo 4.14'de açık olarak görülmektedir.

Tablo 4.14. Yük kontrol işleminde kullanılan BMD kural tabanı

e / de	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	Z	Z	Z
PM	PB	PB	PB	PM	Z	Z	Z
PS	PB	PB	PM	PS	Z	Z	Z
Z	PB	PM	PS	NS	NM	NB	Z
NS	Z	Z	Z	NS	NM	NB	NB
NM	Z	Z	Z	NM	NB	NB	NB
NB	Z	Z	Z	NB	NB	NB	NB

Tablo 4.14 incelendiğinde; hata ve hata değişiminin yoğun pozitif olduğu durumlarda çıkış frekansı yoğun pozitif olmaktadır. Bunun anlamı açısız hız düşmekte, yükleme gerçekleşmektedir ve BMD tarafından frekans yükseltilmektedir. Hata ve hata değişiminin negatif bölgelerinde frekans yoğun sıfır (z) ve yoğun negatif yapılarak frekans değerinin 60 Hz gibi çok yüksek değerlere çıkması engellenmektedir.

Sisteme, BMD ile fan sayısı kontrolü şeklinde bir bakış açısı getirildiğinde, Şekil 4.25’de görülen denetim düzeneği tasarlanmıştır.



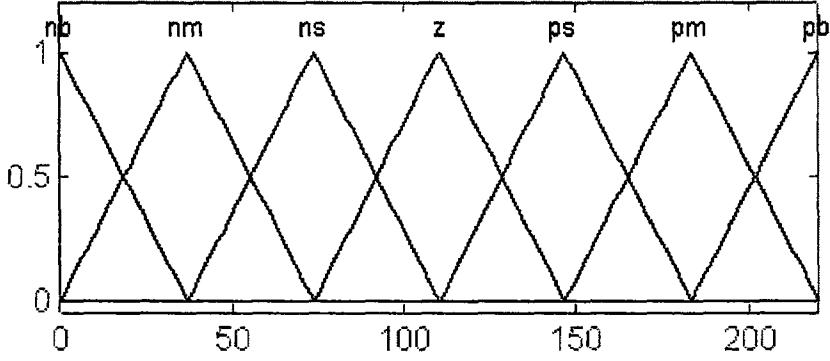
Şekil 4.25. BMD ile fan sayısı denetimi blok diyagramları

- $P_1 = 220$  ppm,  $P_2 = 15 \cdot 10^{-3}$ ,  $P_3 = 22$  ekstrem değerleri için denetim
- $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  genel değerleri için denetim

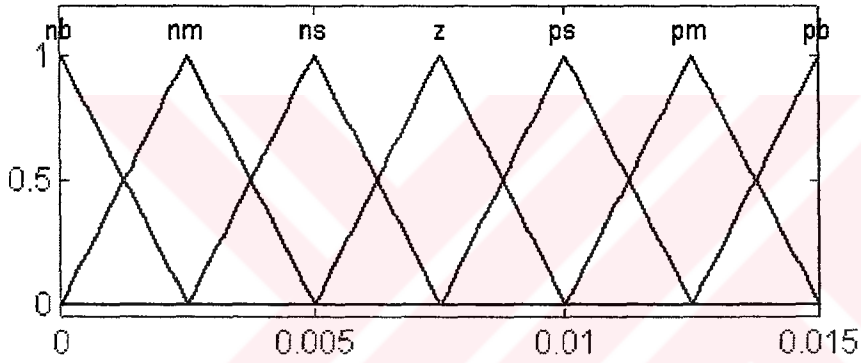
Şekil 4.25’in incelenmesinden, CO ve VI sensörlerinden alınan bilgilerin BMD’ye giriş olarak geldiği görülmektedir.

Şekil 4.25’de kullanılan BMD’nin, fan sayısı kontrol sistemine göre giriş etiketleri ve ölçeklendirmesi, kural tabanı, çıkış etiketleri ve ölçeklendirmesi değiştirilerek yeni

tasarım gerçekleştirilmektedir. Buna göre bulanık mantık girişleri Şekil 4.26 (a) ve (b)'de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.26. a) BMD CO girişi (üçgen üyelik fonksiyonu)

b) BMD VI girişi (üçgen üyelik fonksiyonu)

Burada; kullanılan etiketler nb=negatif büyük, nm=negatif orta, ns=negatif küçük, z=sıfır, pb=pozitif büyük, pm=pozitif orta, ps=pozitif küçük olarak alınmıştır. Bu dilsel etiketler aynı zamanda kural editörüne de yazılmaktadır. Buna göre, CO girişinde kullanılan sınır ve pik değerleri Tablo 4.15'de verilmektedir.

Tablo 4.15. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (üçgen üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	36,67	0	36,67	73,33	110	146,7	183,3
		73,33	110	146,7	183,3	220	
1	0	36,67	73,33	110	146,7	183,3	220

VI girişinde ise, sınır ve pik değerleri Tablo 4.16'da verilmektedir.

Tablo 4.16. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (üçgen üyelik fonksiyonu)

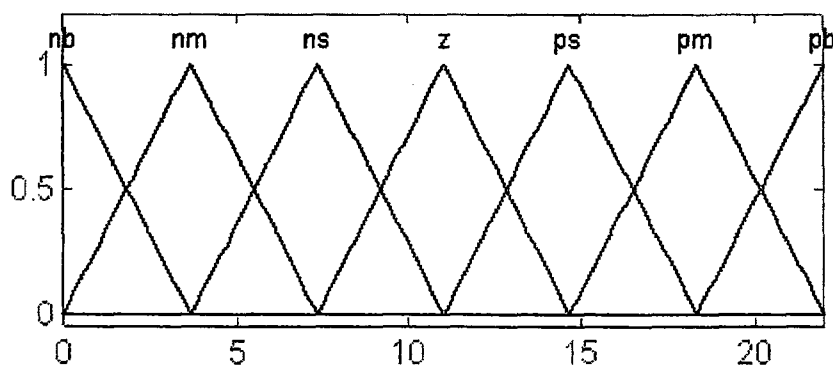
$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	0,0025	0 0,005	0,0025 0,0075	0,005 0,01	0,0075 0,0125	0,01 0,015	0,0125
1	0	0,0025	0,005	0,0075	0,01	0,0125	0,015

Tablo 4.17 BMD fan sayısı kontrolü kural tabanını göstermektedir.

Tablo 4.17. BMD fan sayısı kural tabanı

CO \ VI	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	PB	NB	NB	NB
NM	NB	NM	NB	NM	NM	NM	NM
NS	NB	NM	NM	NM	NS	NS	NS
Z	NM	NM	NS	NS	NS	Z	Z
PS	NM	NM	NS	Z	Z	Z	Z
PM	NM	NM	NS	Z	PS	PS	PS
PB	NM	NS	PS	PS	PS	PS	PS

Tablo 4.17'de, birinci düşey ve birinci yatay sütun sırasıyla CO ve VI girişlerini; diğer elemanlar ise fan sayısını kontrol edilen çıkışı (fansay) ifade etmektedir. CO ve VI yoğun pozitif değer olarak sensörlerden geldiğinde, tünelin havalandırılmasında maksimum fan çalıştırılmaktadır. Burada fan sayısı optimum değeri, Ağırlık Merkezi Metodu ile hesaplanarak bulunmaktadır. Fan sayısı çıkışı Şekil 4.27'de verilmektedir.



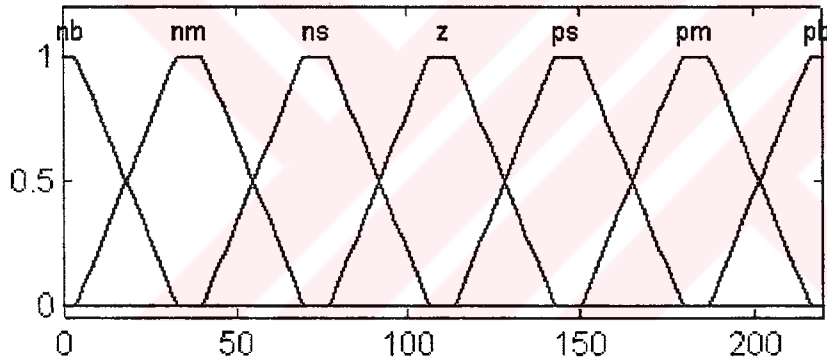
Şekil 4.27. BMD fan sayısı (fansay) kontrol çıkışı (üçgen üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.27'nin incelemesinden; ölçeklendirmede 22 adet fan kullanıldığı görülmektedir. Sensörlerden alınan CO ve VI değerlerine göre çıkışta fan sayısı (fansay) kontrol edilmektedir. BMD çıkışından alınan değerler, Şekil 4.30'da görülen bulanık mantık fan kontrol bloğu ile tam sayıya çevrilmektedir. Fan sayısı çıkışı sınır ve pik değerleri Tablo 4.18'de verilmektedir.

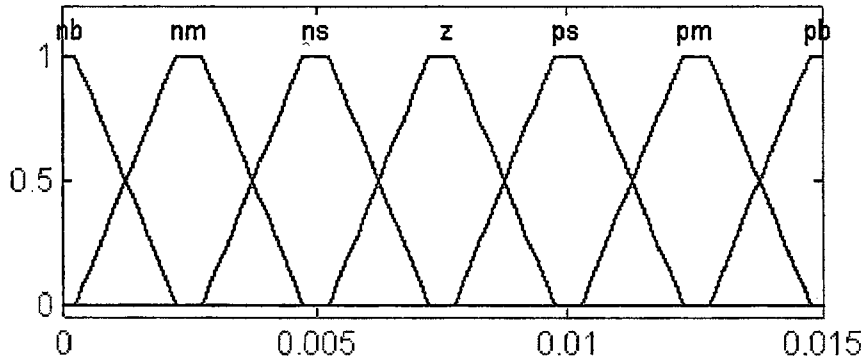
Tablo 4.18. BMD fan sayısı (fansay) kontrol çıkışı sınır ve pik değerleri (üçgen üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	3,667	0	3,667	7,333	11	14,67	18,33
		7,333	11	14,67	18,33	22	
1	0	3,667	7,333	11	14,67	18,33	22

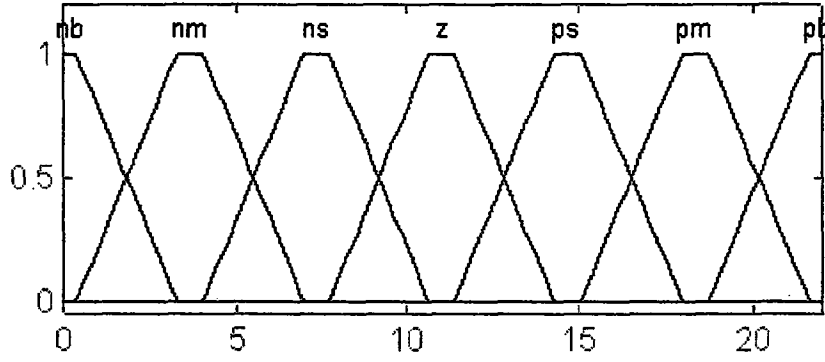
Üçgen üyelik fonksiyonları, trapez üyelik fonksiyonlarına dönüştürüldüğünde, Şekil 4.28 (a), (b), (c) oluşmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.28. a) BMD CO girişi (trapez üyelik fonksiyonu)

b) BMD VI girişi (trapez üyelik fonksiyonu)

c) BMD fan sayısı (fansay) çıkışı (trapez üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.28'in incelemesinden, CO girişinde kullanılan sınır ve pik değerleri Tablo 4.19'da verilmektedir.

Tablo 4.19. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	33	3,667 69,66	40,34 106,3	77 143	113,7 179,6	150,4 216,3	187
1	0 3,667	33 40,34	69,66 77	106,3 113,7	143 150,4	179,6 187	216,3 220

VI girişinde kullanılan sınır ve pik değerleri Tablo 4.20'de verilmektedir.

Tablo 4.20. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (trapez üyelik fonksiyonu)

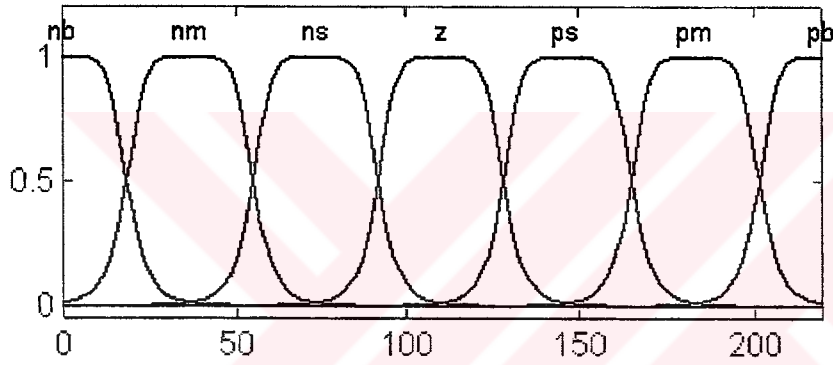
$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	0,00225	0,00025 0,00475	0,00275 0,00725	0,00525 0,00975	0,00775 0,01225	0,01025 0,01475	0,01275
1	0 0,00025	0,00225 0,00275	0,00475 0,00525	0,00725 0,00775	0,00975 0,01025	0,01225 0,01275	0,01475 0,015

Fan sayısı çıkışı sınır ve pik değerleri Tablo 4.21’de verilmektedir.

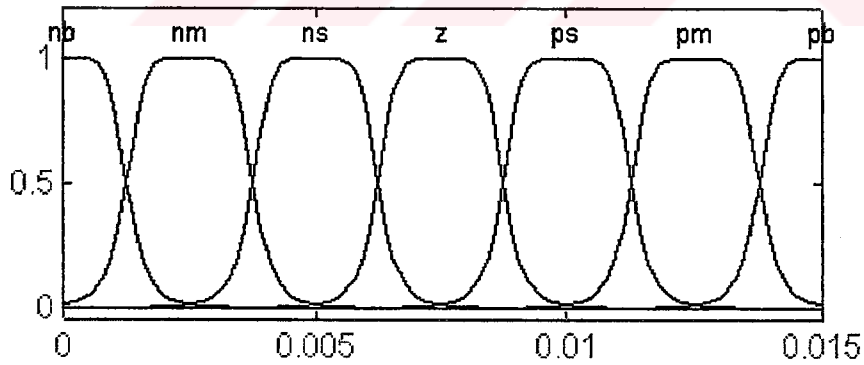
Tablo 4.21. BMD fan sayısı (fansay) çıkışı sınır ve pik değerleri (adet) (trapez üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	3,3	0,3667 6,966	4,034 10,63	7,7 14,3	11,37 17,96	15,04 21,63	18,7
1	0 0,3667	3,3 4,034	6,966 7,7	10,63 11,37	14,3 15,04	17,96 18,7	21,63 22

Trapez üyelik fonksiyonları, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına dönüştürüldüğünde Şekil 4.29 (a), (b), ve (c) oluşmaktadır.

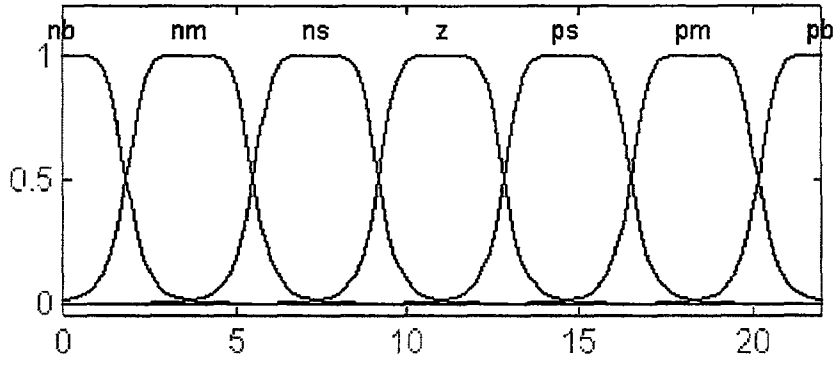


(a)



(b)





(c)

Şekil 4.29. a) BMD CO girişi (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

b) BMD VI girişi (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

c) BMD fan sayısı (fansay) çıkışı (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

Şekil 4.29'un incelemesinden, CO girişinde kullanılan sınır ve pik değerleri Tablo 4.22'de verilmektedir.

Tablo 4.22. BMD CO girişi sınır ve pik değerleri (ppm) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	35,8	0	35,8	72	110,1	146	182,8
		72	110,1	146	182,8	220	
1	0	35,8	72	110,1	146	182,8	220

VI girişinde kullanılan sınır ve pik değerleri Tablo 4.23'de verilmektedir.

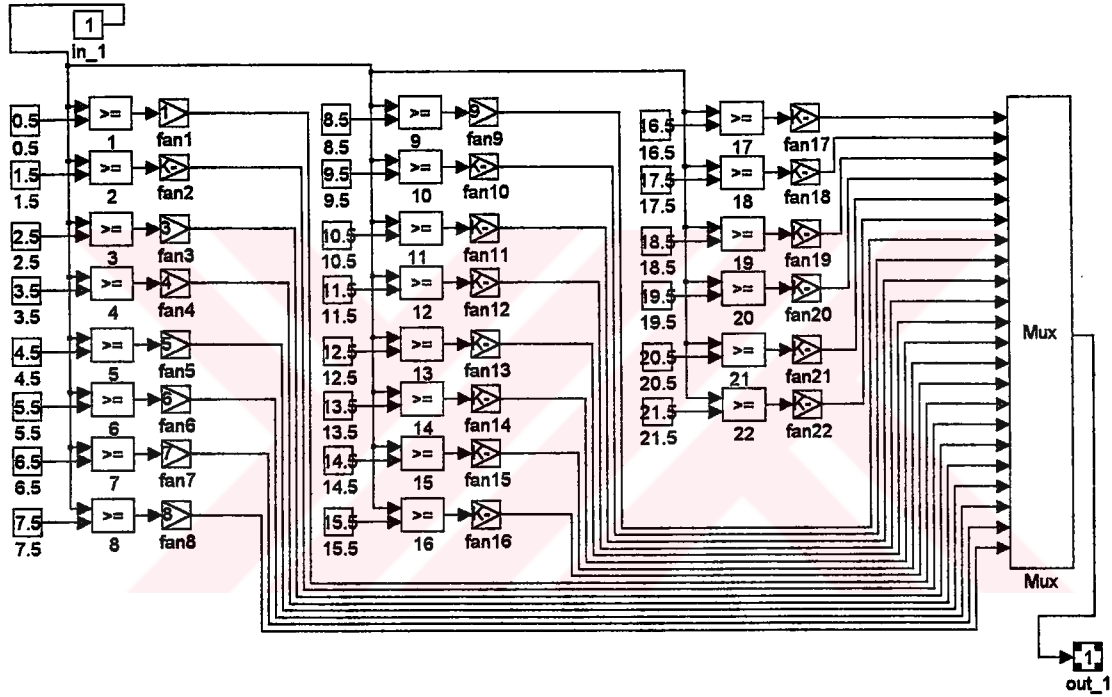
Tablo 4.23. BMD VI girişi sınır ve pik değerleri ( $m^{-1}$ ) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	0,0025	0	0,0025	0,005	0,0075	0,01	0,0125
		0,005	0,0075	0,01	0,0125	0,015	
1	0	0,0025	0,005	0,0075	0,01	0,0125	0,015

Fan sayısı çıkışı sınır ve pik değerleri Tablo 4.24’de verilmektedir.

Tablo 4.24. BMD fan sayısı (fansay) çıkışı sınır ve pik değerleri (adet) (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu)

$\mu$	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
0	3,6	0	3,6	7,3	11	14,7	18,4
		7,3	11	14,7	18,4	22	
1	0	3,6	7,3	11	14,7	18,4	22

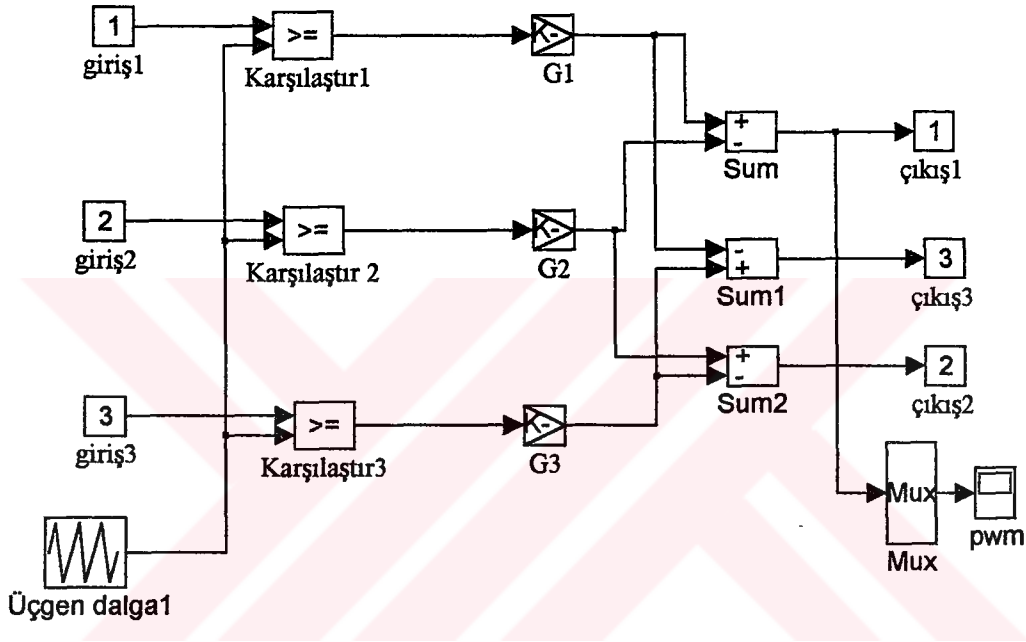


Şekil 4.30. Bulanık mantık fan kontrol bloğu

Şekil 4.30’un incelemesinden; BMD çıkışından gelen sinyal in-1 nolu girişten dağıtıldığı görülür. Burada  $\geq$  mantık karşılaştırma işlemleri yapılmakta ve tam sayıya çevrilmiştir. Örnek verilecek olursa: in-1 kutusuna BMD’den 4,3 sayı sinyali geldiğinde 3,5 sayısından büyük olduğu için 4 adet fan devreye girmektedir. Böylece gelen sayı sinyali tam sayıya çevrilmekte ve o sayı kadar fan aktif hale gelmektedir.

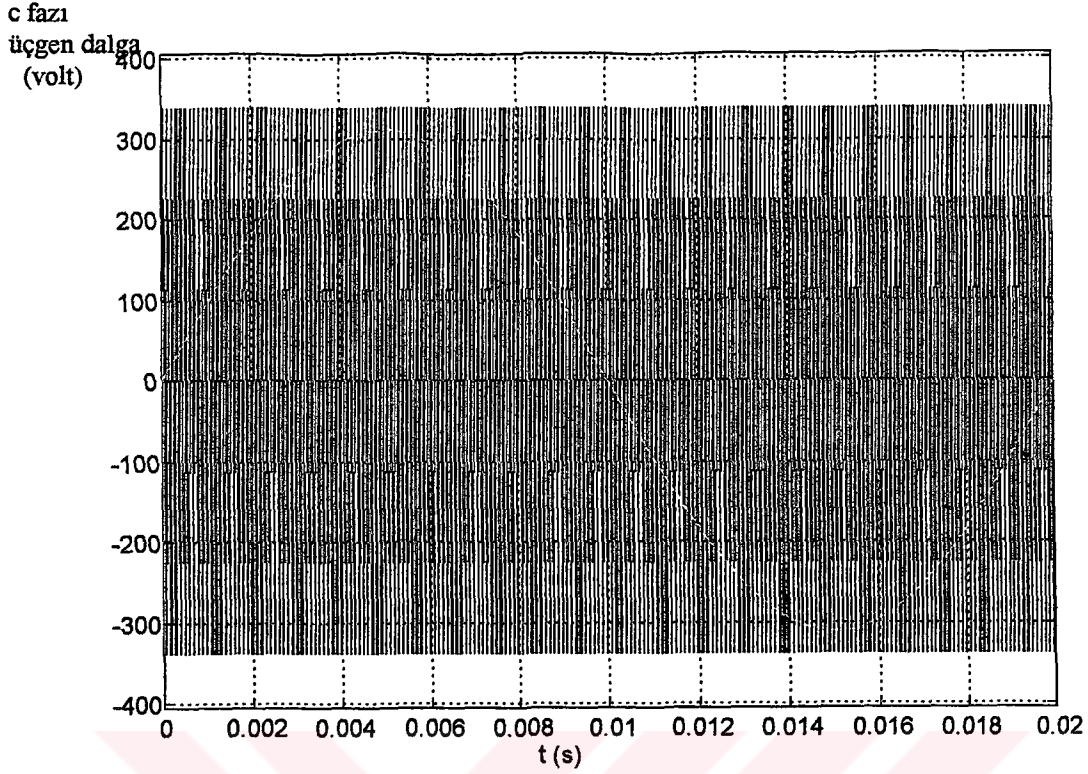
#### 4.5 Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM = Pulse Width Modulation) Simülasyonu

Simülasyon çalışmalarında PWM sürücü düzeneği kullanılarak sürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.31'de simülasyonda gerçekleştirilmiş PWM sürücü düzeneğinin modeli görülmektedir.



Şekil 4.31. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM = Pulse Width Modulation) simülasyonu blok diyagramı

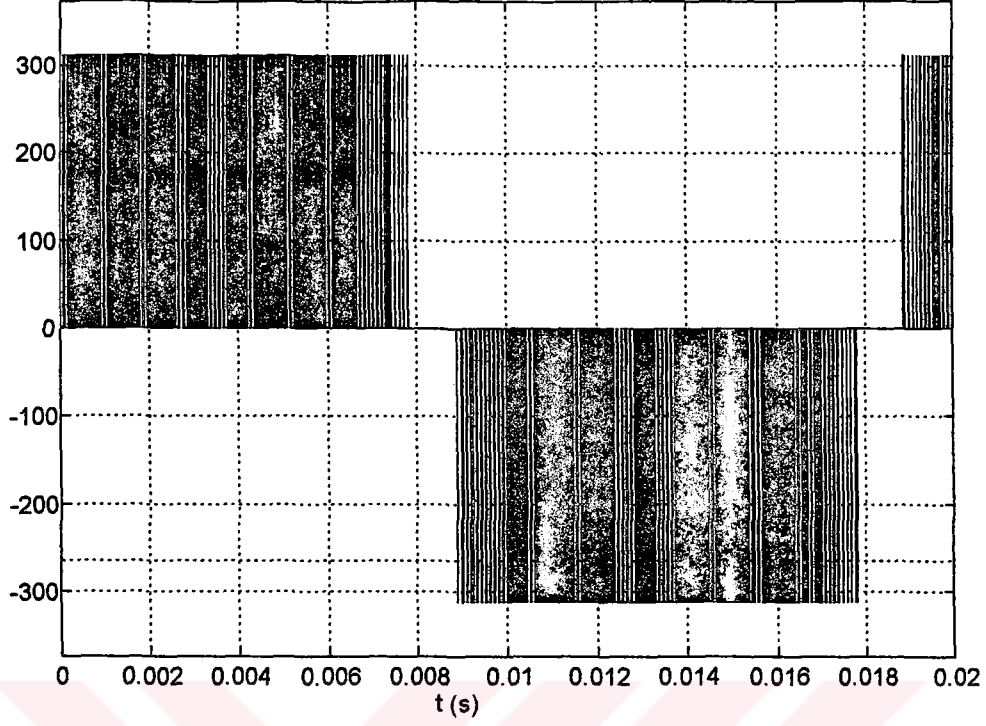
Şekil 4.31'de giriş 1-2-3'e gelen aralarında  $120^\circ$  faz farkı bulunan a-b-c fazları bir üçgen dalga ile karşılaştırılmaktadır. a-b-c fazlarının üçüne de aynı üçgen dalga uygulanır ve karşılaştırılır. Karşılaştır 1, Karşılaştır 2 ve Karşılaştır 3 işlemleri sonucunda darbeler (sinyaller) elde edilir. Örnek olarak, Şekil 4.32'de c fazı ile üçgen dalga karşılaştırılmadan önceki durumu görülmektedir.



Şekil 4.32. Darbe Genişlik Modülasyonunda (PWM) c sinüsoidal gerilimi ile üçgen dalganın karşılaştırılmadan önceki durumu

Şekil 4.32'nin incelemesinden; c sinüsoidal geriliminin genliğinin  $V_m=311$  volt, periyodunun  $T=0,02$  s, üçgen dalganın genliğinin 375 volt frekansının 10 KHz olduğu görülmektedir. PWM çıkışında 1-3-5-7 nolu harmonikler oluşmaktadır. Bu harmoniklerin azaltılması üçgen dalganın frekansına bağlıdır. Bunun için üçgen dalganın frekansı tek ve 3'ün katı şeklinde seçilmelidir. Üçgen dalga frekansı tek ve 3'ün katı şeklinde seçilirse büyük harmonikler üç fazlı hat-hat geriliminden uzaklaştırılmış olur (Mohan 1995). Şekil 4.33'de c fazı ve üçgen dalganın karşılaştırma bloğu çıkışı görülmektedir.

Vc-Va  
(volt)

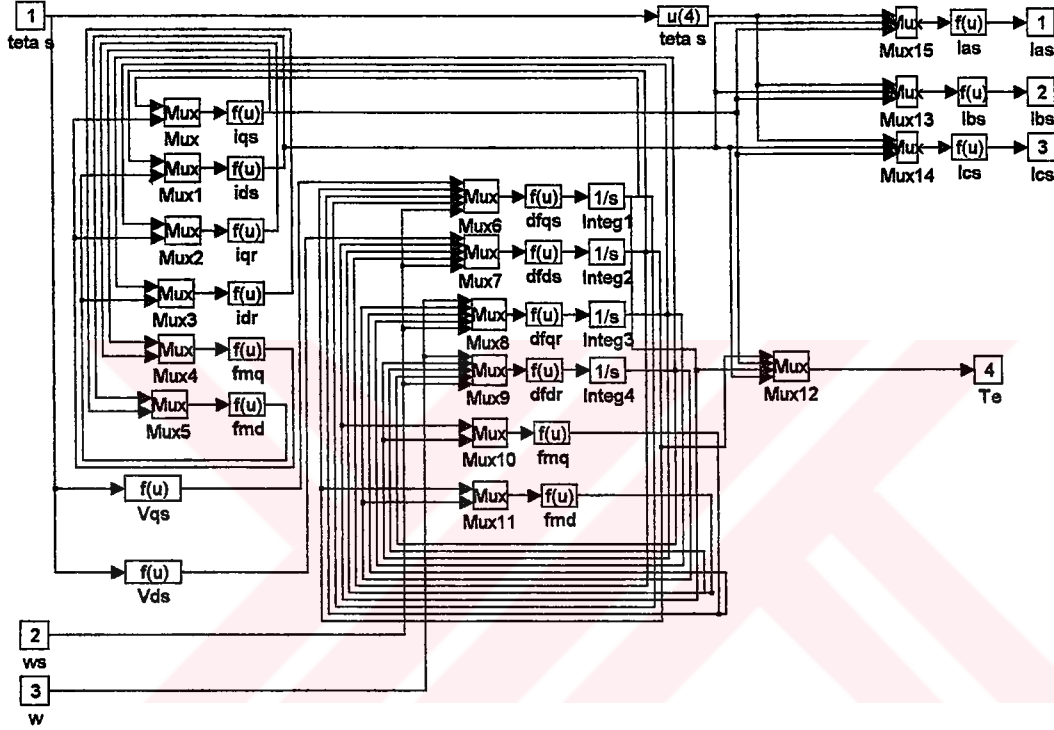


Şekil 4.33. Darbe Genişlik Modülasyonunda (PWM) c sinüsoidal gerilimi ile üçgen dalganın karşılaştırma yapıldıktan sonraki durumu

Karşılaştırma blokları, gelen a-b-c sinüsoidal gerilimini üçgen dalga ile  $\geq$  şeklinde karşılaştırmaktadır. Üçgen dalga, sinüsoidal geriliminden büyük veya eşit olduğu anda çıkışa bir darbe vermektedir. Bu andaki noktalar, darbeler şeklinde çıkışa aktarılacaktır. Şekil 4.33 karşılaştırma sonucunda elde edilen darbeleri göstermektedir. Elde edilen darbelerin genişlikleri değiştirilerek PWM çıkışında sinüsoidal gerilimin frekansını değiştireceğinden çok geniş imkanlarda jet fan açısız hızının kontrolü söz konusu olacaktır. Kısaca, PWM'de sinüsoidal gerilim, üçgen dalga ile karşılaştırılarak darbeler haline dönüştürülmekte ve darbelerin genlikleri değiştirilerek frekans kontrolü buna bağlı olarak jet fan açısız hız kontrolü yapılabilmektedir.

#### 4.7 Fan Motoru Matematiksel Modeli Simülasyonu

Bölüm 3’de Matematiksel Modeli verilen jet fan’ın denklem takımları, Şekil 4.34’de görüldüğü gibi, Matlab simülasyon programına aktarılmaktadır. Dönüşüm  $V_{qs}$ ,  $V_{ds}$  fonksiyon bloklarıyla gerçekleştirilmektedir. Blokların içine, denklem (3.55) yazılmaktadır.



Şekil 4.34. Fan motoru matematiksel modeli simülasyonu blok diyagramı

Şekil 4.34’ün incelemesinden; 1, 2 ve 3 nolu giriş kapılarından sırasıyla tetas ( $\theta_s$ ) açısı, ( $w_s$ ) ve ( $w$ ) değerleri girdiği anlaşılmaktadır. Çıkış katından; ( $T_e$ ), ( $i_{as}$ ), ( $i_{bs}$ ), ( $i_{cs}$ ) değerleri elde edilmekte olup, bunlardan mil momenti mekanik uç ile bağlantılı çalışmaktadır. Model içinde kullanılan fonksiyon blokları Bölüm 3’de verilen denklem takımlarını oluşturmaktadır. Bu denklem takımları;  $i_{qs}$ , denklem (3.64);  $i_{ds}$ , denklem (3.65);  $i_{qr}$ , denklem (3.66);  $i_{dr}$ , denklem (3.67);  $f_{mq}$ , denklem (3.68);  $f_{md}$ , denklem (3.69);  $df_{qs}$ , denklem (3.57);  $df_{ds}$ , denklem (3.58);  $df_{qr}$ , denklem (3.59);  $df_{dr}$ , denklem (3.60);  $f_{mq}$ , denklem (3.61);  $f_{md}$ , denklem (3.62);  $i_{as}$ , denklem (3.71);  $i_{bs}$ , denklem

(3.72);  $i_{cs}$ , denklem (3.73)'de açık bir şekilde yazılmaktadır. Modelde kullanılan parametreler Tablo 4.25'de verilmektedir (Krause 1987).

Tablo 4.25. Tipik bir fan motoru Matematiksel Modeli parametreleri

P	(Hp)	50
p		2
$R_s$	( $\Omega$ )	0,0870
$R_r$	( $\Omega$ )	0,2280
$L_{ls}$	(H)	0,0008
$L_{lr}$	(H)	0,0008
$L_m$	(H)	0,0346
J	(kg.m <sup>2</sup> )	1,662
$T_{en}$	(Nm)	234,395

Tablo 4.1'de kullanılan simgeler Tez'in başında liste halinde verilmektedir. Motor nominal momenti ile yüklenmektedir.

Böylece tüm detaylarıyla açıklanan BMD sistemiyle çıkışların alınması safhasına gelinmiş olup, bu işlemlerin analizi Bölüm 5'de yapılmaktadır.

## 5. PID VE BULANIK MANTIK DENETİMİN KARŞILAŞTIRILMASI

### 5.1 Giriş

Bu Bölüm'de, PID ve BMD simülasyon sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması analiz edilmektedir. Karşılaştırma ve değerlendirme işlemi: açısal hız, mil momenti, frekans, stator faz akımı ve sensörlerden gelecek CO ve VI değerlerine göre devreye giren aktif fan sayısı bakımından yapılmaktadır. Kıyaslama işleminde nominal momenti 50 Hp gücündeki fan motoru için  $T_{en}=234,395$  Nm olarak alınmaktadır

### 5.2 Açısal Hız Bakımından

Açısal hız bakımından karşılaştırmalar, PID ve BMD arasında yapılmaktadır. BMD kendi içinde de, üyelik fonksiyon tipleri değiştirilerek (üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi), karşılaştırılmaktadır.

PID ile kontrolde, jet fanına besleme gerilimi,  $v(t) = 311 \cdot \sin(314t)$  ve elektriksel frekans 50 Hz uygulandığında boşta çalışma açısal hızı olan 157,1 rad/s (1500 dev/dak) değerine 4,260 s içinde ulaşılmaktadır. Açısal hızın bu değişimi Şekil 5.1'de görülmekte olup, değişim eksponansiyeldir. Bu eğriye  $0 < t < 4,260$  s aralığında herhangi bir anda çizilen teğetin eğimi fan milinin anlık açısal ivmesi olup, zamanın fonksiyonudur. Anlık açısal ivme,  $0 < t < 0,5$  aralığında  $(100 \text{ rad/s}) / 0,5 \text{ s} = 200 \text{ rad/s}^2$  yaklaşık değerinde kaldığı halde,  $t=4,260$  s'ye ulaşırken asimtotik olarak sıfıra yaklaşmaktadır.  $0 < t < 4,260$  s aralığında  $(t, w)$  değişiminin yaklaşık olarak  $w(t) = 157,1 (1 - e^{-2t})$  fonksiyonu ile ifade edilmekte olup, anlık açısal ivme  $\alpha = \frac{dw(t)}{dt} = 314,2e^{-2t}$  olmaktadır. Şekil 5.2'de ise; PID kullanılması halinde, 4,260 s'de boşta çalışma maksimum (nominal) açısal hızı olan 157,1 rad/s'ye ulaşan jet fan miline, nominal yük momenti uygulanması sonucunda açısal hızda  $\Delta w=7,400$  rad/s



azalma meydana gelmektedir. Burada;  $\Delta w$ , fan mili 157,1 rad/s (veya 1500 dev/dak) boşta dönme açısal hızı ile mile yük momenti uygulandığı anda açısal hızı arasındaki fark (veya iki açısal hız arasındaki maksimum fark) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de BMD ile kontrol yapılması durumunda üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi tipinde üyelik fonksiyonları ayrı ayrı kullanılarak, fan mili açısal hızının boşta ve yükte zamanla değişimleri görülmektedir. Şekil 5.3, Şekil 5.5 ve Şekil 5.7 incelendiğinde; 157,1 rad/s boşta çalışma açısal hızına ulaşma zamanının üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları için sırasıyla 0,748; 0,757 s; Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu durumunda ise bu değere sonsuzda ulaştığı görülmektedir.

Şekil 5.4, Şekil 5.6 ve Şekil 5.8’de fan miline yük momenti uygulanması sonucu; üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları kullanıldığı durumda,  $\Delta w=2,750$  rad/s, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu kullanıldığında ise  $\Delta w=3,100$  rad/s azalma görülmektedir. Açısal hızın maksimum (nominal) 157,1 rad/s değerine ulaşma süresi ( $\Delta t$ ), üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılması halinde sırasıyla; 0,320; 0,370; 0,380 s olmaktadır.

Boşta çalışma süresi ( $\Delta t_b$ ) ve açısal hızın maksimum (nominal) değere ulaşma süresi ( $\Delta t$ )’nin PID ve BMD açısından kıyaslaması Tablo 5.1’de verilmektedir.

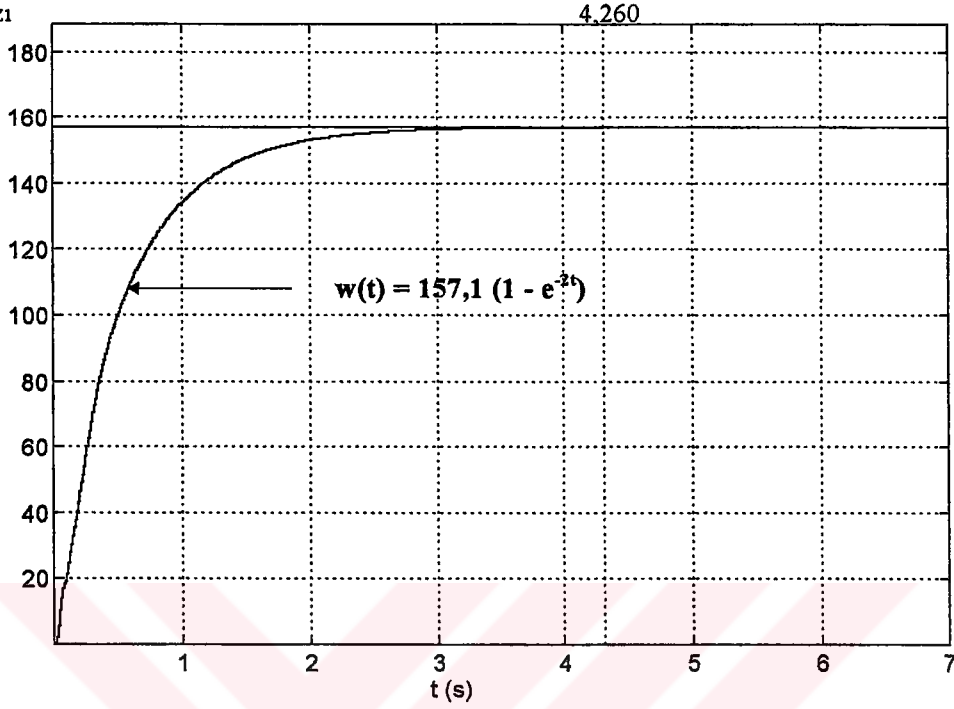
Tablo 5.1. PID ve BMD sistemlerinin açısal hız bakımından kıyaslanması

Parametre	PID	BMD (üçgen)	BMD (trapez)	BMD (Gauss çan)	$\frac{PID}{BMD(üç\ gen)}$	$\frac{PID}{BMD(trapez)}$	$\frac{PID}{BMD}$ (Gauss çan)
$\Delta t_b$ (s)	4,260	0,748	0,757	-	5,695	5,627	-
$\Delta t$ (s)	2,860	0,320	0,370	0,380	8,937	7,729	7,526

Tablo 5.1’in incelenmesinden BMD ile kontrolün, PID sistemiyle kontrole kıyasla; boşta çalışma süresi ( $\Delta t_b$ ) bakımından üçgen üyelik fonksiyonlarında 5,695; trapez üyelik fonksiyonunda 5,627 kat daha iyi olduğu görülmektedir.  $\Delta t$  süresi açısından, üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları sırasıyla 8,937; 7,729 ve 7,526

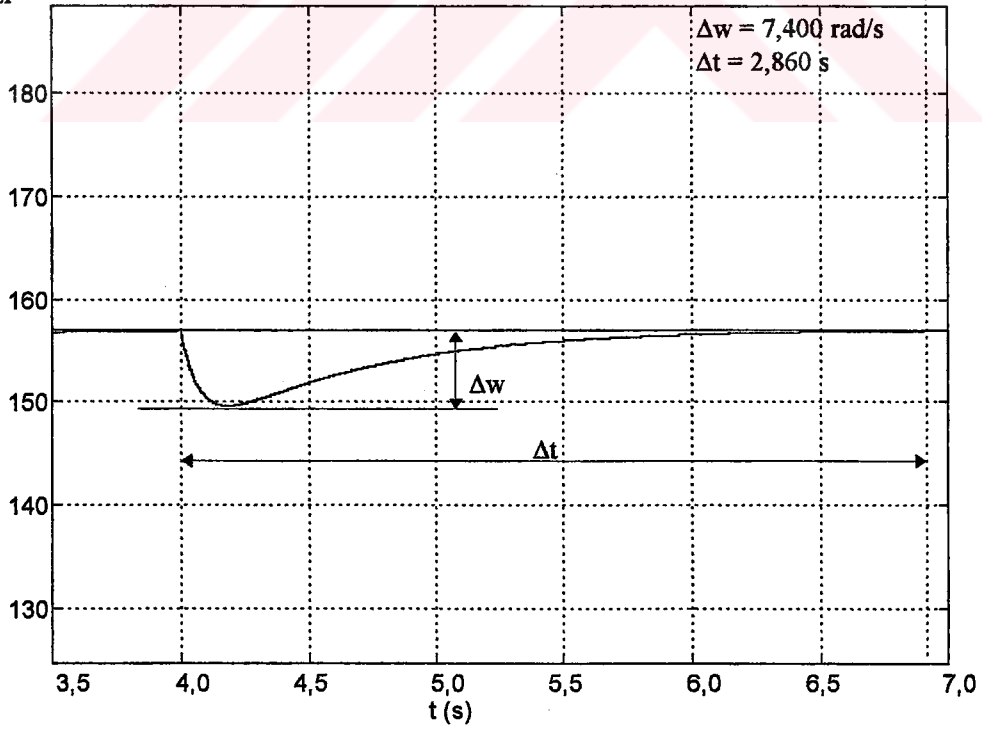
kat daha iyi olmaktadır. Bu analiz sonucuna göre; üçgen üyelik fonksiyonunun en iyi kontrol olanağı sağladığı anlaşılmaktadır.

Fan mili  
açısal hızı  
(rad/s)

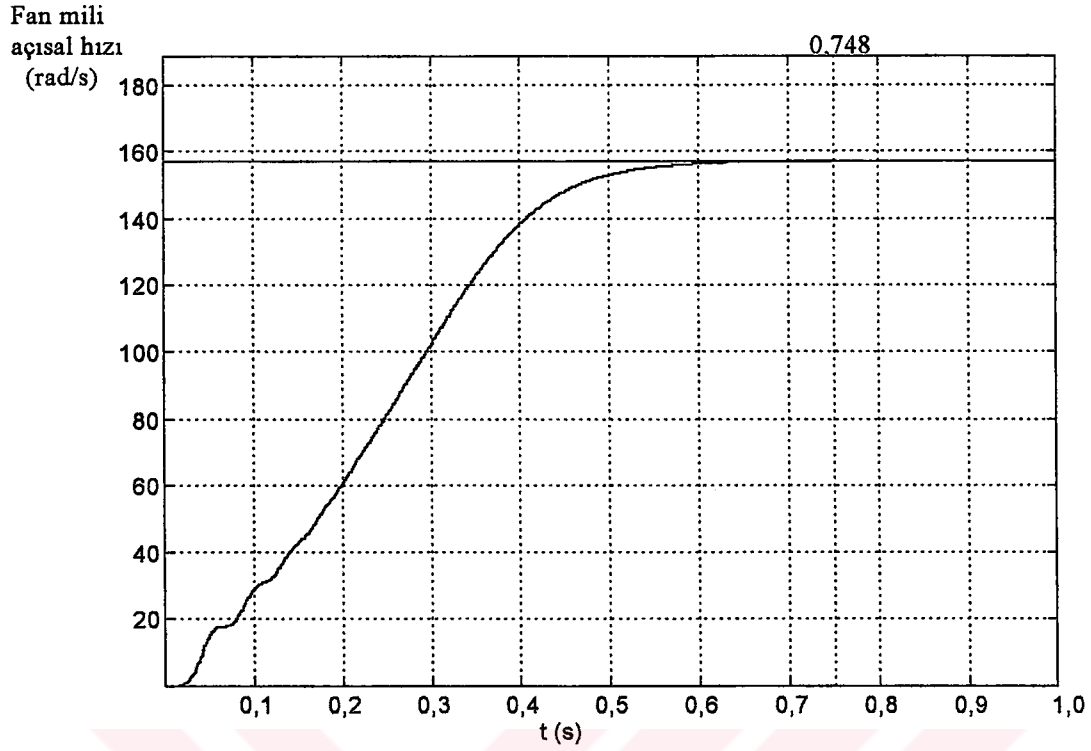


Şekil 5.1. PID denetleyici ile kontrol. Açısal hız- Zaman grafiği.

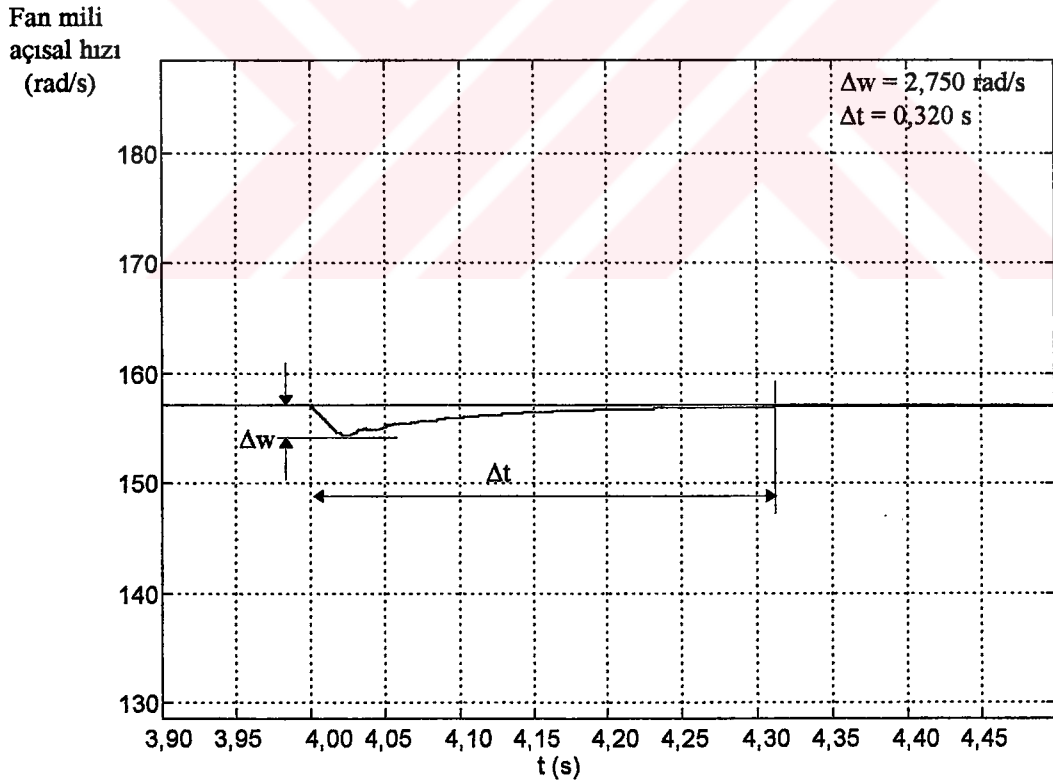
Fan mili  
açısal hızı  
(rad/s)



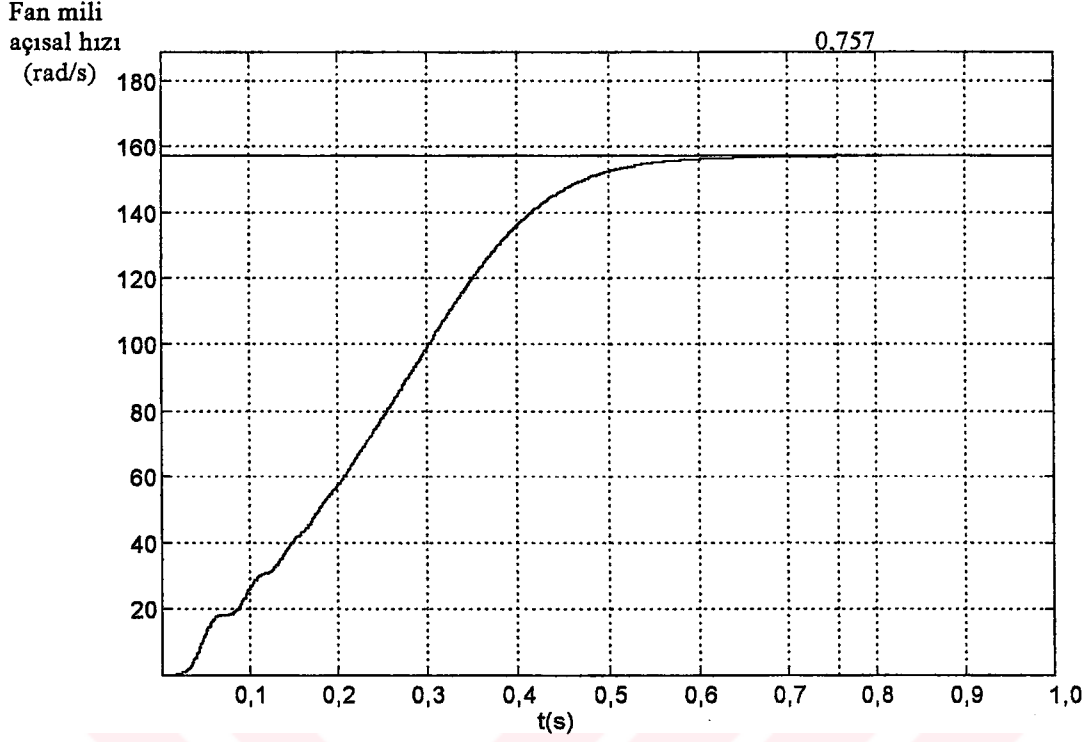
Şekil 5.2. PID denetleyici ile kontrol.  $T_{en}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Açısal hız - Zaman grafiği.



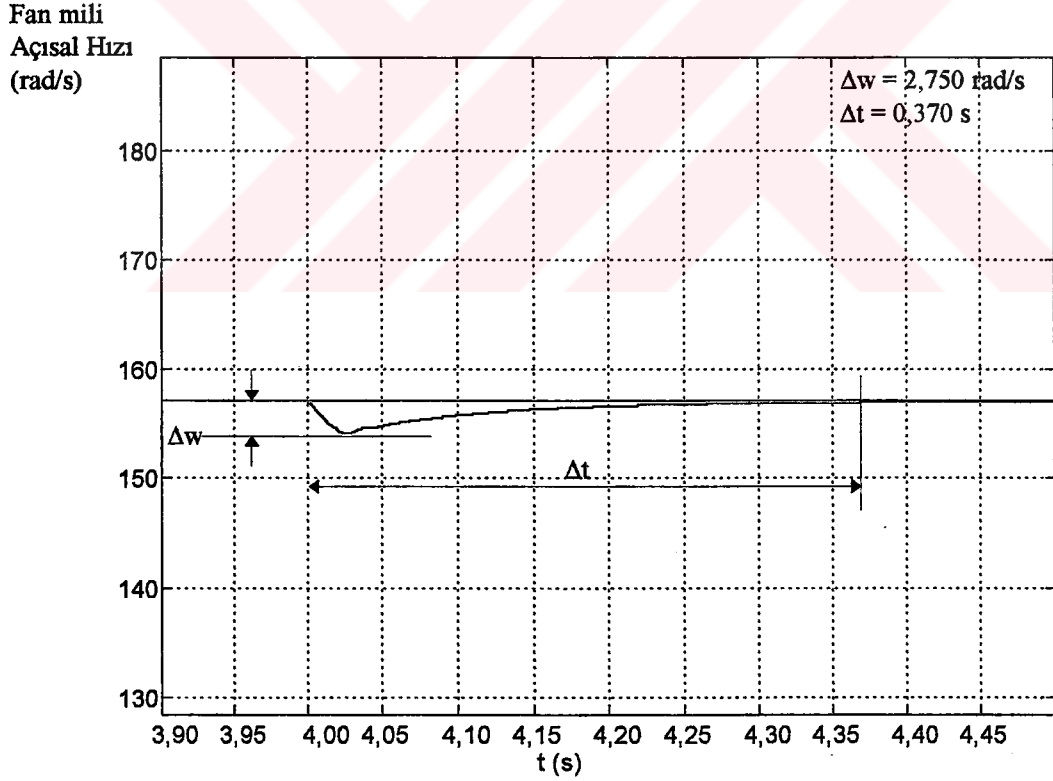
Şekil 5.3. BMD ile kontrol. Açısal hız - Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu).



Şekil 5.4. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Açısal hız - Zaman grafiği,(üçgen üyelik fonksiyonu).

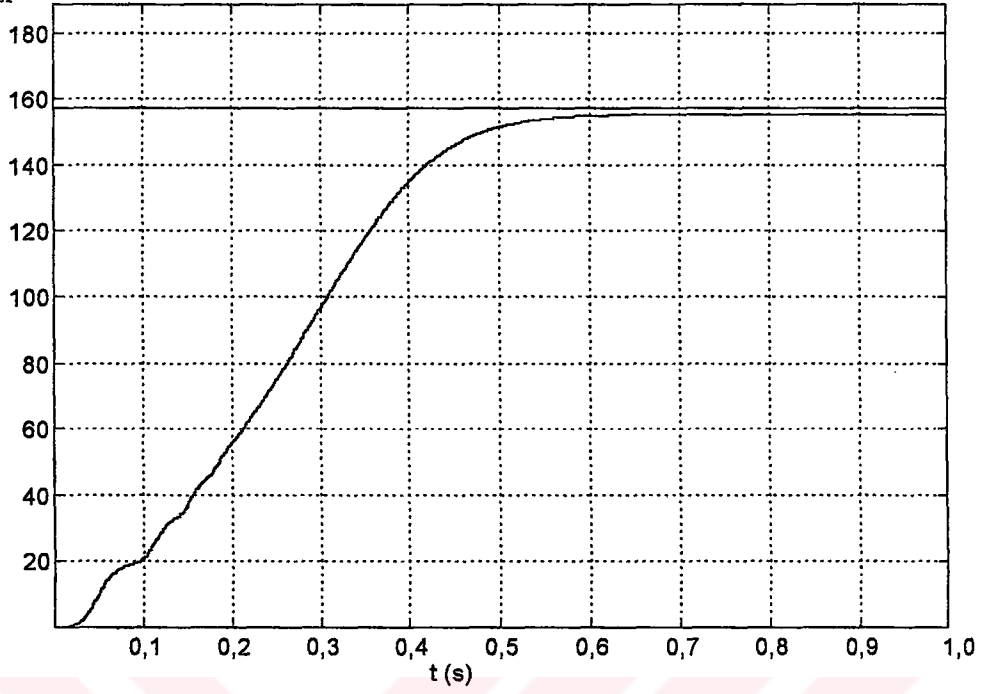


Şekil 5.5. BMD ile kontrol. Açısal hız- Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).



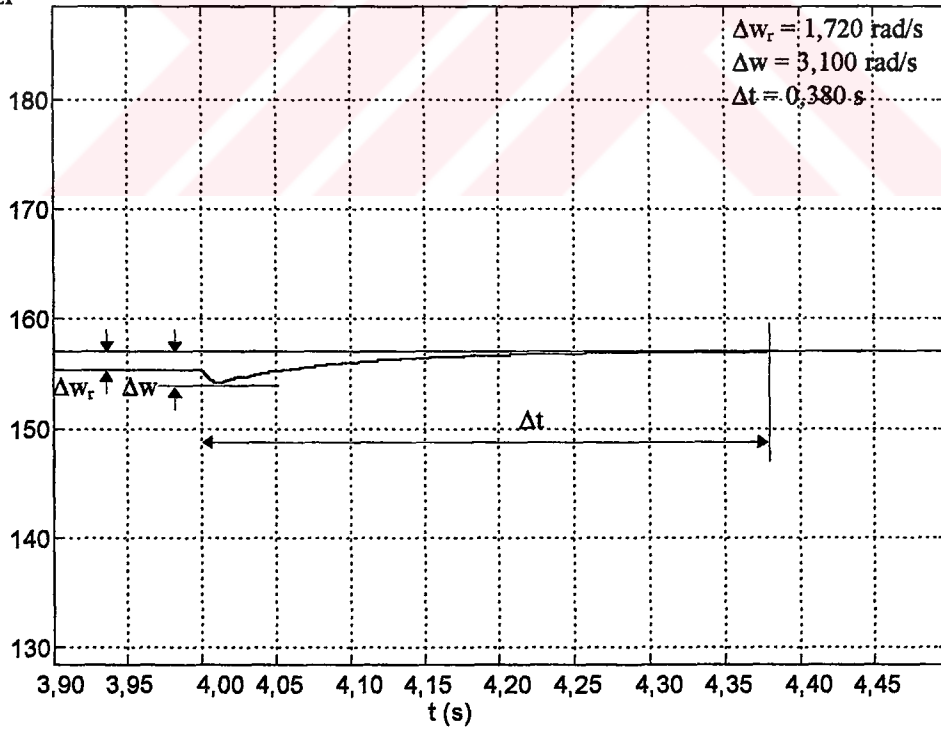
Şekil 5.6. BMD ile kontrol.  $T_{en} = 234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Açısal hız - Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).

Fan mili  
açısal hızı  
(rad/s)



Şekil 5.7. BMD ile kontrol. Açısal hız-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).

Fan mili  
açısal hızı  
(rad/s)



Şekil 5.8. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Açısal hız - Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).

### 5.3 Mil Momenti Bakımından

Şekil 5.9'un incelemesinden; PID uygulandığı an ile 0,470 s arasında geçen zaman diliminde, mil momentinin salınımlı davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu salınımdan 2,940 s içinde düzenli olarak azalarak 3,410 s anında kararlı hale gelmektedir. Salınımlar, rotorun eylemsizlik direncine rağmen, yüksek güç girişinden dolayı meydana gelmektedir.

Şekil 5.10'da, asenkron motorun PID altında nominal moment ile yüklenmesi sonucu, mil momentinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Dördüncü saniyede yüklenme sonucu momentte  $\Delta T = 246,500$  Nm kadar bir artış olmakta,  $\Delta t_y = 2,740$  s sonra, bu değer 227,272 Nm seviyesinde sabit seyretmektedir.

Şekil 5.11'de üçgen üyelik fonksiyonları kullanılan BMD altında Mil Momenti - Zaman grafiği görülmektedir. Şekil 5.11'in incelenmesinden; 0 ile 0,310 s arasında mil momentinin salınımlı davrandığı bunu izleyen 0,451 s içinde düzenli olarak azalarak 0,761 s anında kararlı hale gelmektedir.

Şekil 5.12'de, asenkron motorun BMD altında nominal moment ile yüklenmesi sonucu mil momentinde meydana gelen değişimler görülmektedir. Dördüncü saniyede yüklenme sonucu momentte  $\Delta T = 376$  Nm kadar bir artış olmakta,  $\Delta t_y = 0,394$  s sonra, bu değer 232 Nm seviyesinde sabit seyretmektedir.

Şekil 5.13'de trapez üyelik fonksiyonları kullanılan BMD altında Mil Momenti - Zaman grafiği görülmektedir. Şekil 5.13'ün incelemesinden; 0 ile 0,330 s arasında mil momentinin salınımlı davrandığı bunu izleyen 0,431 s içinde düzenli olarak azalarak 0,761 s anında kararlı hale gelmektedir.

Şekil 5.14'de, trapez üyelik fonksiyonları kullanılan BMD'nin yük altında Mil Momenti - Zaman grafiği görülmektedir. Dördüncü saniyede yüklenme sonucu momentte  $\Delta T = 346,153$  Nm kadar bir artış olmakta  $\Delta t_y = 0,304$  s sonra bu değer 251,908 Nm seviyesinde sabit seyretmektedir.

Şekil 5.15’de Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılan BMD altında Mil Momenti - Zaman grafiği görülmektedir. Şekil 5.15’in incelemesinden; 0 ile 0,317 s arasında mil momentinin salınımlı davrandığı bunu izleyen 0,449 s içinde düzenli azalarak 0,736 s anında kararlı hale gelmektedir.

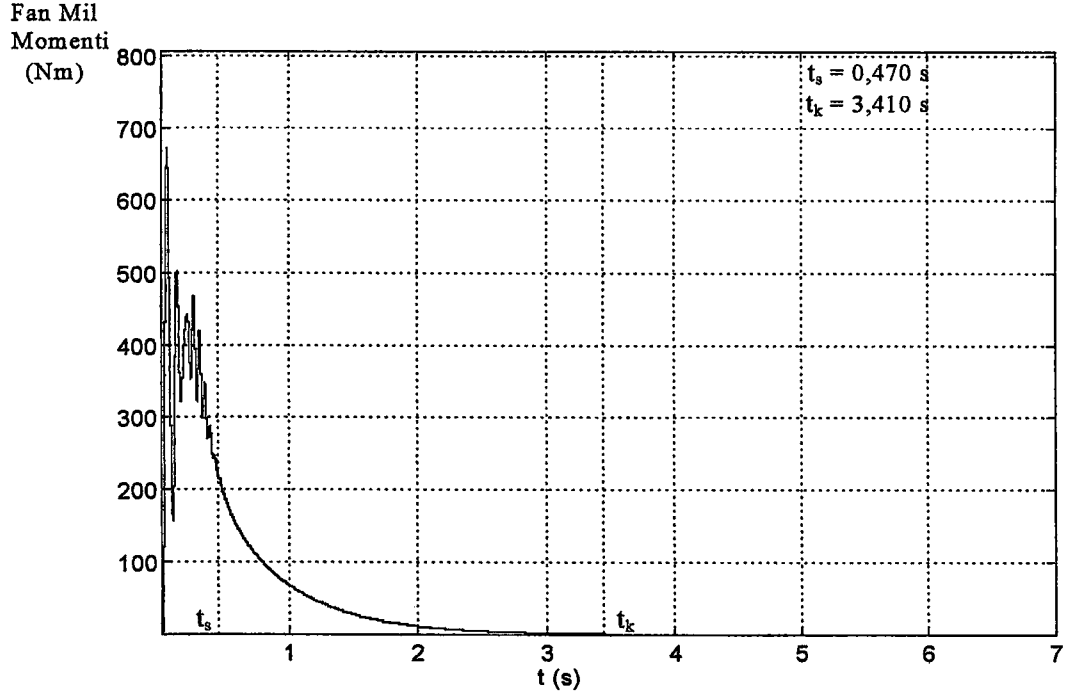
Şekil 5.16’da, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılan BMD’nin yük altında Mil Momenti - Zaman grafiği görülmektedir. Dördüncü saniyede yüklenme sonucu momentte  $\Delta T = 342,857$  Nm kadar bir artış olmakta,  $\Delta t_y = 0,308$  s sonra bu değer 237,735 Nm seviyesinde sabit seyretmektedir.

Tablo 5.2’de, boşa çalışma momenti ile yükün uygulanması sonucu oluşan moment arasındaki fark ( $\Delta T$ ), yük momentinin kalkış anından kararlı duruma geçmesi için oluşan zaman farkı ( $\Delta t_y$ ), boşa çalışma ile kararlı duruma geçme arasında oluşan moment farkı ( $\Delta T_k$ ), salınımlı çalışma zamanı ( $t_s$ ) ve kararlı duruma geçme zamanı ( $t_k$ )’nın PID ve BMD altında kıyaslanması verilmektedir.

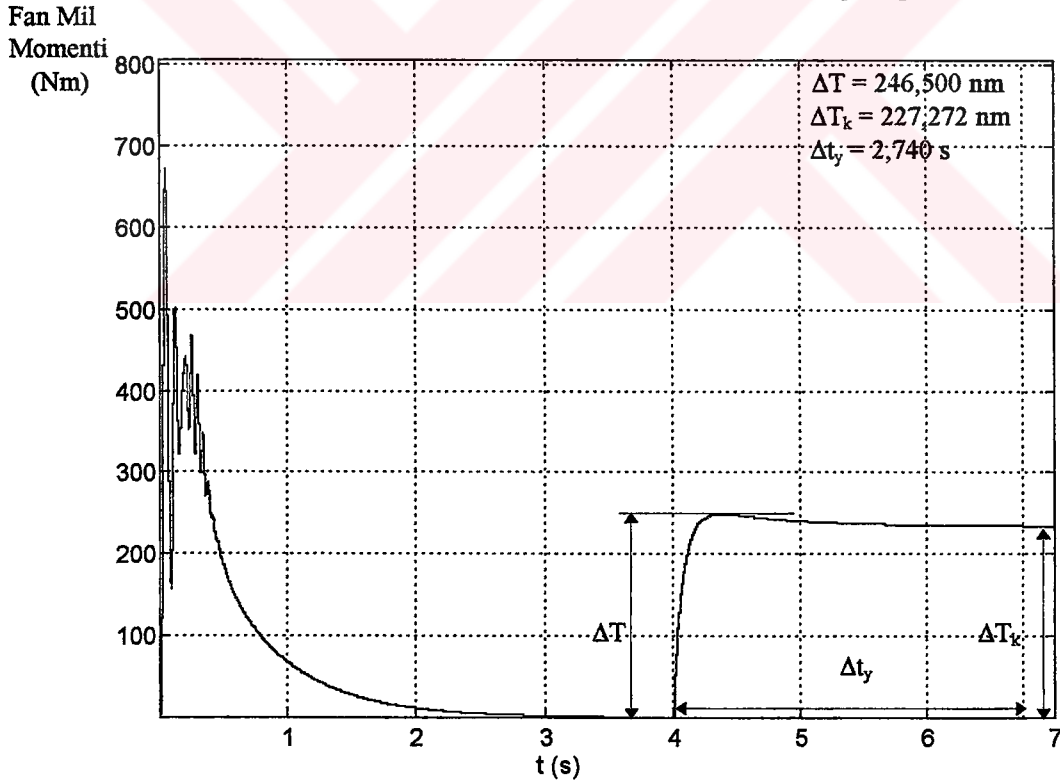
Tablo 5.2. PID ve BMD sistemlerinin mil momentini bakımından kıyaslanması

Parametre	PID	BMD (üçgen)	BMD (trapez)	BMD (Gauss çan)
$\Delta T$ (Nm)	246,500	376,000	346,153	342,857
$\Delta t_y$ (s)	2,740	0,394	0,304	0,308
$\Delta T_k$ (Nm)	227,272	232,000	251,908	237,735
$t_s$ (s)	0,470	0,310	0,330	0,317
$t_k$ (s)	3,410	0,761	0,761	0,736

Tablo 5.2.’nin incelenmesinden; BMD ile kontrolde fan motorunun, PID ile kontrole kıyasla, daha yüksek değerlerde mil momentini ile daha kısa sürede kontrol edilerek kararlı hale getirilebildiği görülmektedir.

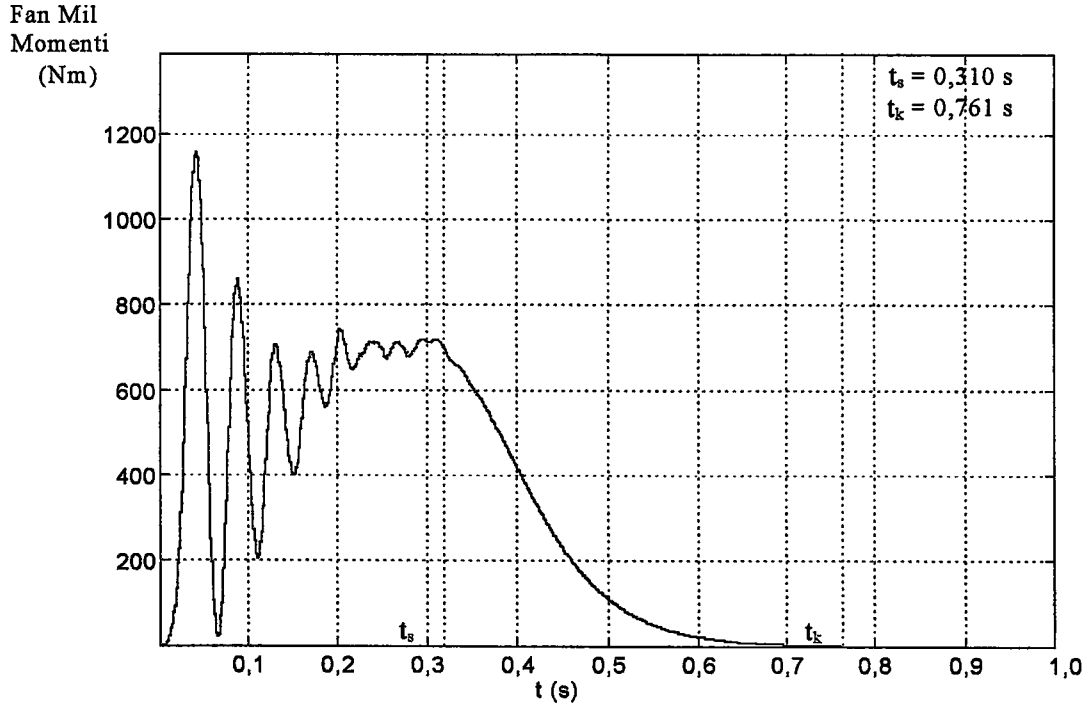


Şekil 5.9. PID denetleyici ile kontrol. Fan Mil Momenti - Zaman grafiği.

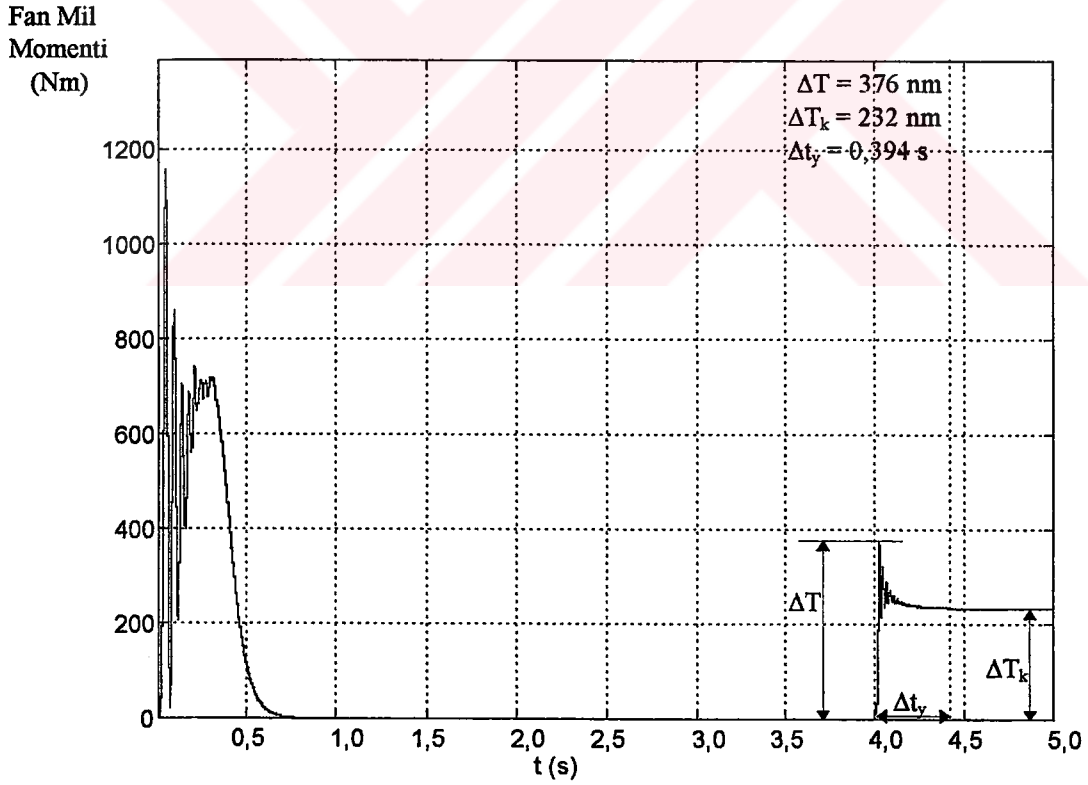


Şekil 5.10. PID denetleyici ile kontrol.  $T_{en} = 234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti - Zaman grafiği.

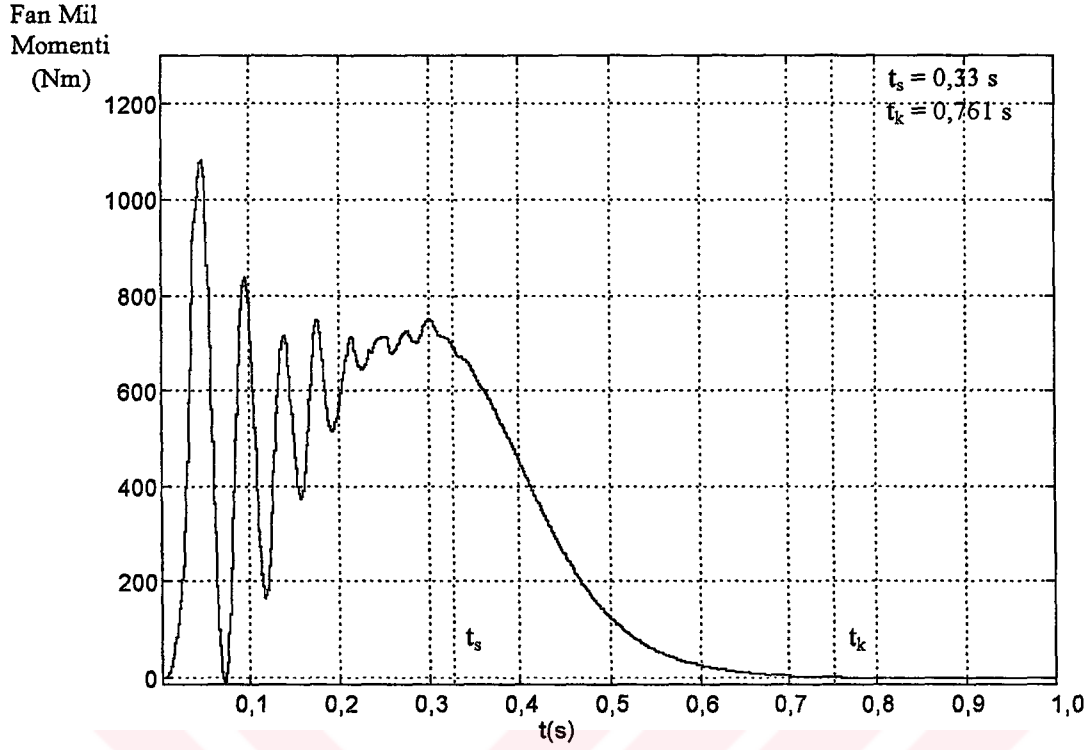




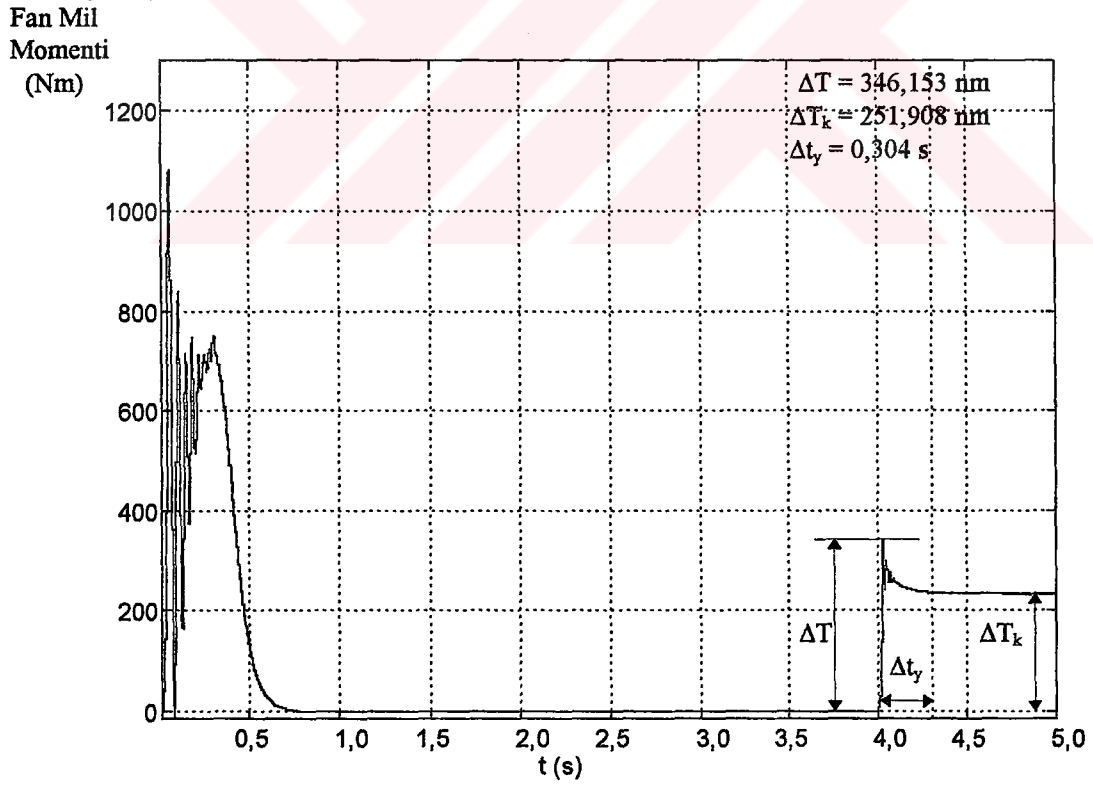
Şekil 5.11. BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti - Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu).



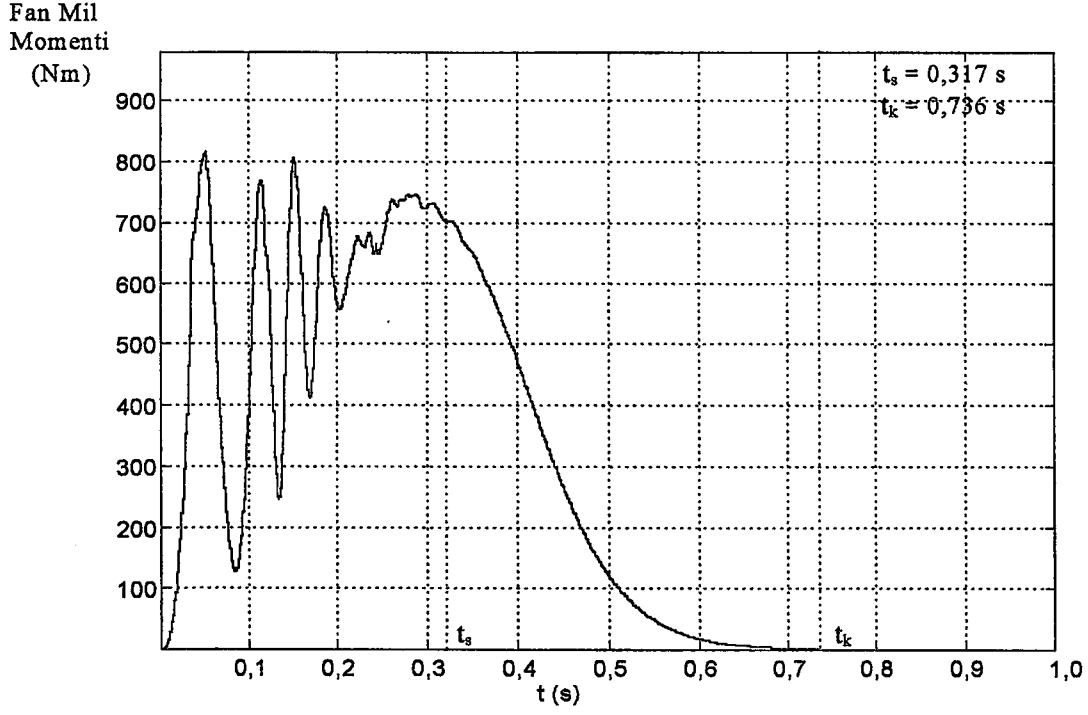
Şekil 5.12. BMD ile kontrol.  $T_{em}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu).



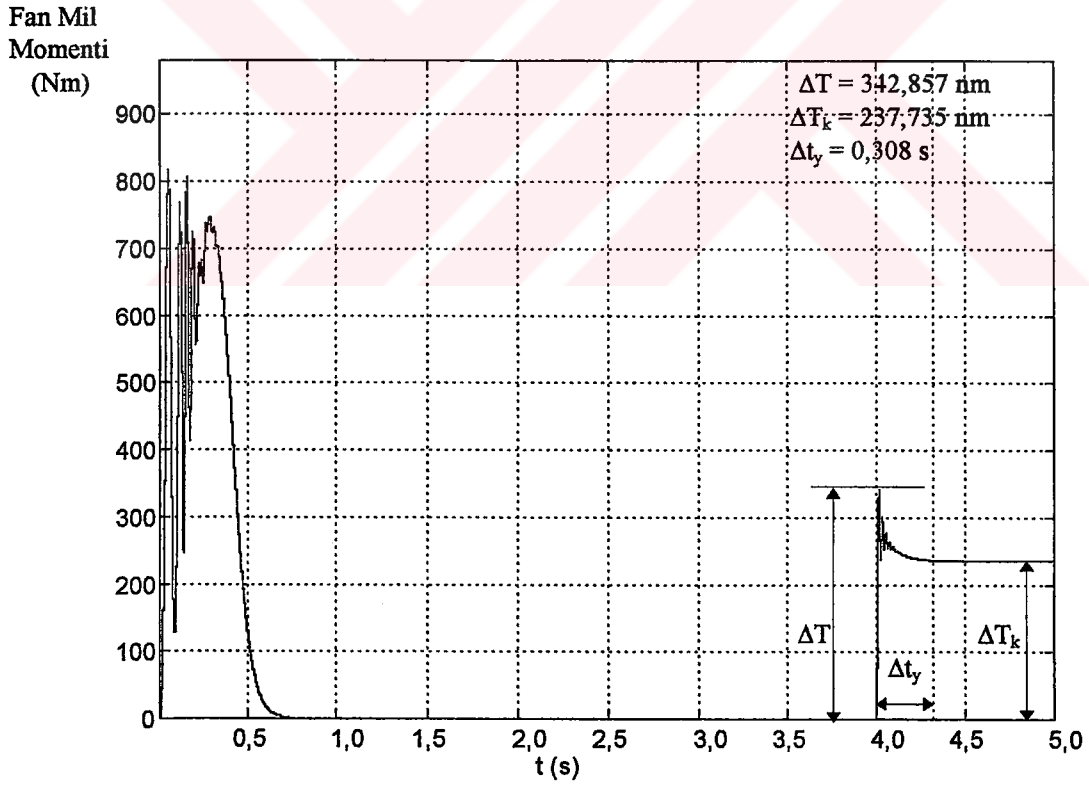
Şekil 5.13. BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).



Şekil 5.14. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).



Şekil 5.15. BMD ile kontrol. Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).



Şekil 5.16. BMD ile kontrol.  $T_{em}=234,395 \text{ Nm}$  nominal yükte elde edilen Fan Mil Momenti-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).

#### 5.4 Frekans Bakımından

PID ve BMD kontrol sistemlerinin her ikisinde de denetlenen frekans, 10 Hz'den başlayıp artarak nominal çalışma frekansı olan 50 Hz'e yükseltilmektedir. Nominal momenti olan 234,395 Nm ile yüklendiğinde denetleyici tarafından, yükü karşılamak üzere, frekans yükseltilmektedir.

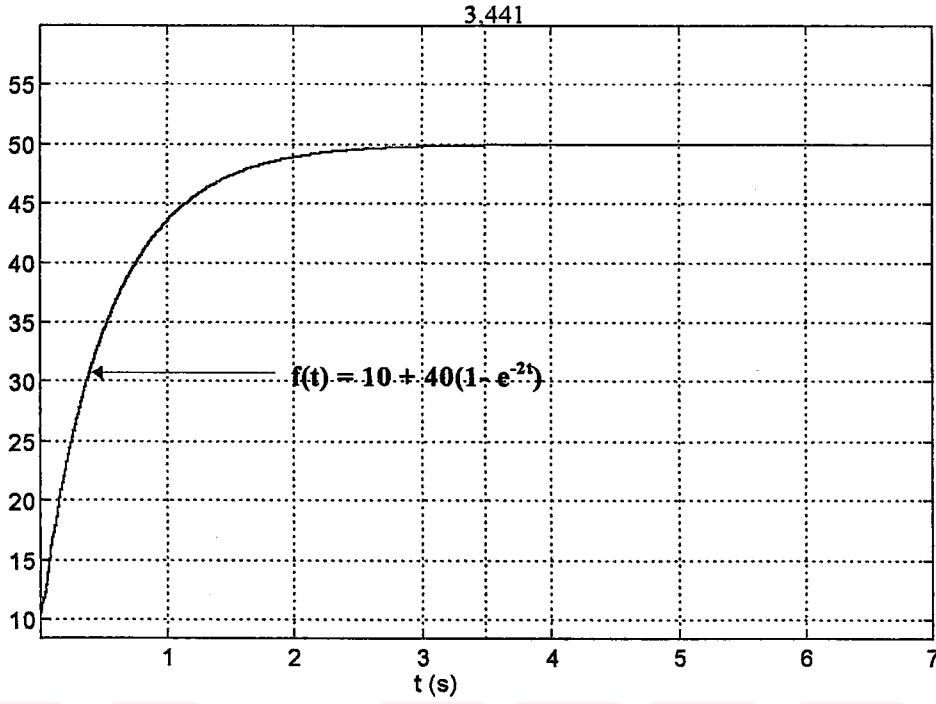
Şekil 5.17'nin incelenmesinden, frekans grafiğinin 10 Hz'den başladığı ve nominal çalışma frekansı olan 50 Hz'e 3,441 s içinde yükselmekte olduğu görülmektedir. Frekansın bu değişimi logaritmik olup (t, f) değişiminin yaklaşık  $f(t) = 10 + 40(1 - e^{-2t})$  ile ifade edilebileceği anlaşılmaktadır.

Şekil 5.18 'in incelenmesinden, BMD ile kontrolde yük uygulandıktan sonra çok kısa sürede (0,1 s'den küçük sürede) kontrol işlemi tamamlandığı halde, PID ile kontrolde 2,38 s seviyesinde bulunmaktadır.

Şekil 5.19, Şekil 5.21 ve Şekil 23'de BMD altında Frekans - Zaman değişimi sırasıyla üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları için verilmektedir. Her üç değişimde de 50 Hz'e yaklaşık 0,3 s içinde ulaşıldığı görülmekte olup Şekil 5.17'deki PID ile elde edilen 3,441 s'ye kıyasla daha kısa sürede boşta kontrol işleminin tamamlandığı anlaşılmaktadır.

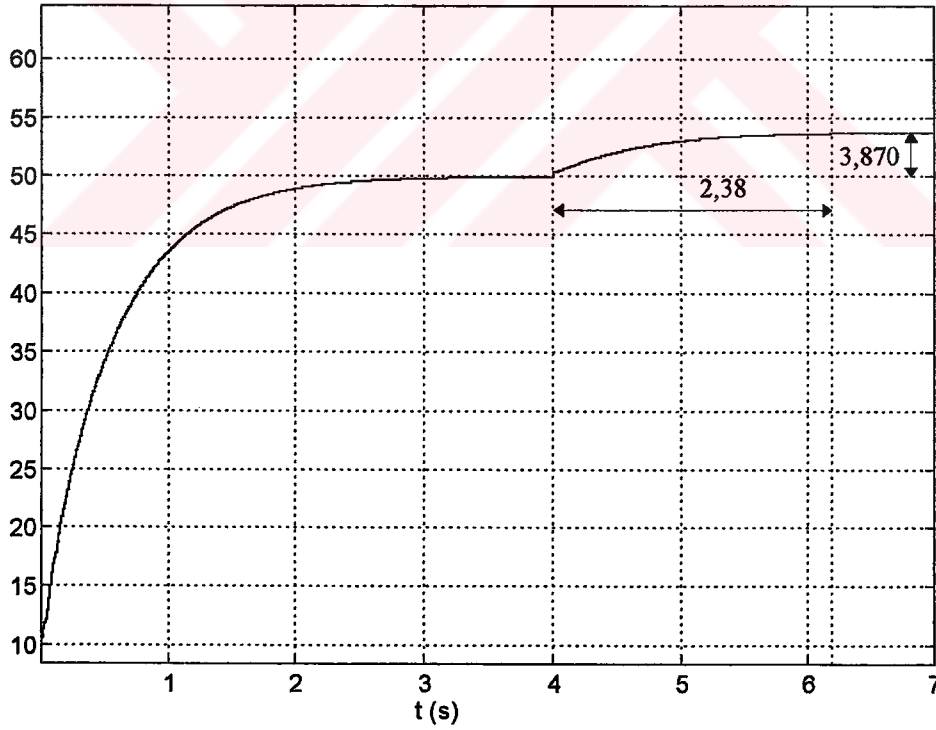
Şekil 5.20, Şekil 5.22 ve Şekil 5.24'de ise BMD altında dördüncü saniyede uygulanan yük momenti ile Frekans - Zaman değişimi verilmekte olup, frekanstaki değişimin Şekil 5.18'de görülen 2,38 s sürede gerçekleşen PID kontrollü değişime göre kıyaslanmayacak kadar kısa sürede hemen anında gerçekleştiği görülmektedir.

Fan Kontrol  
Frekansı  
(Hz)

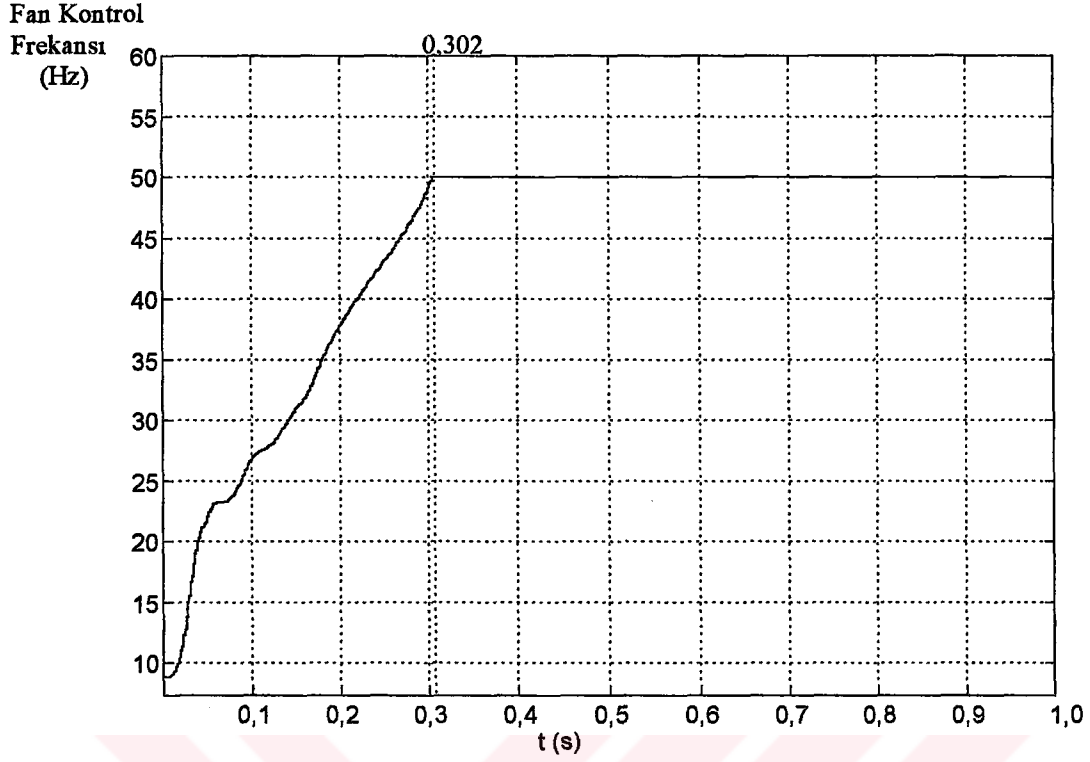


Şekil 5.17. PID denetleyici ile kontrol. Frekans - Zaman grafiği.

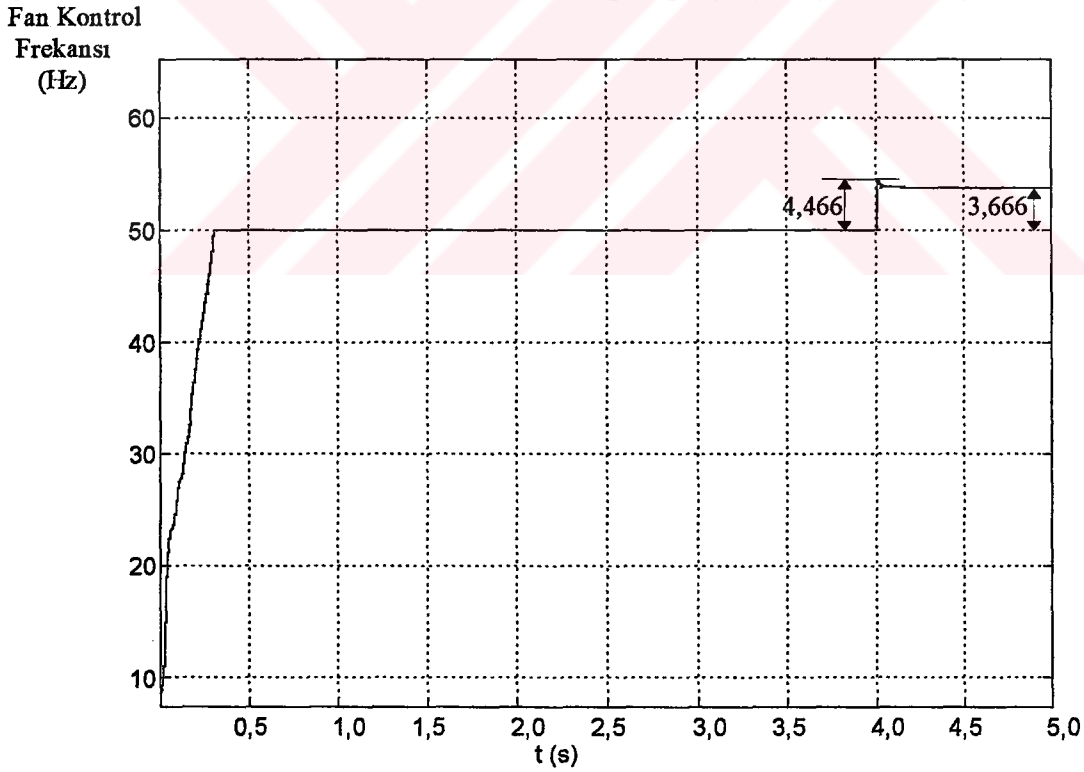
Fan Kontrol  
Frekansı  
(Hz)



Şekil 5.18. PID denetleyici ile kontrol.  $T_{en}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Frekans - Zaman grafiği.

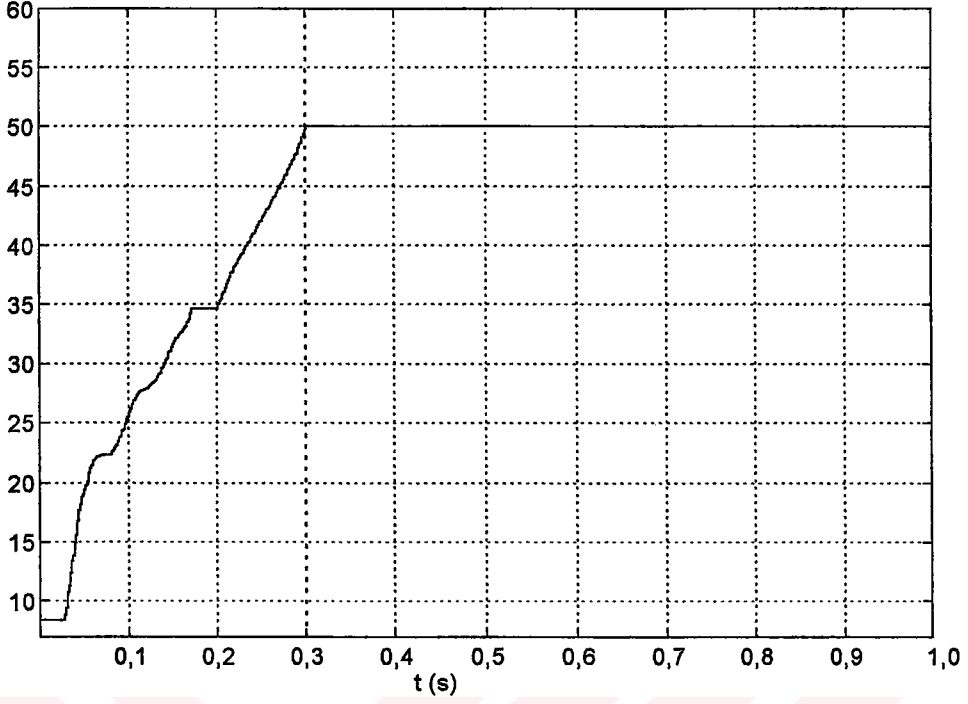


Şekil 5.19. BMD ile kontrol. Frekans - Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu).



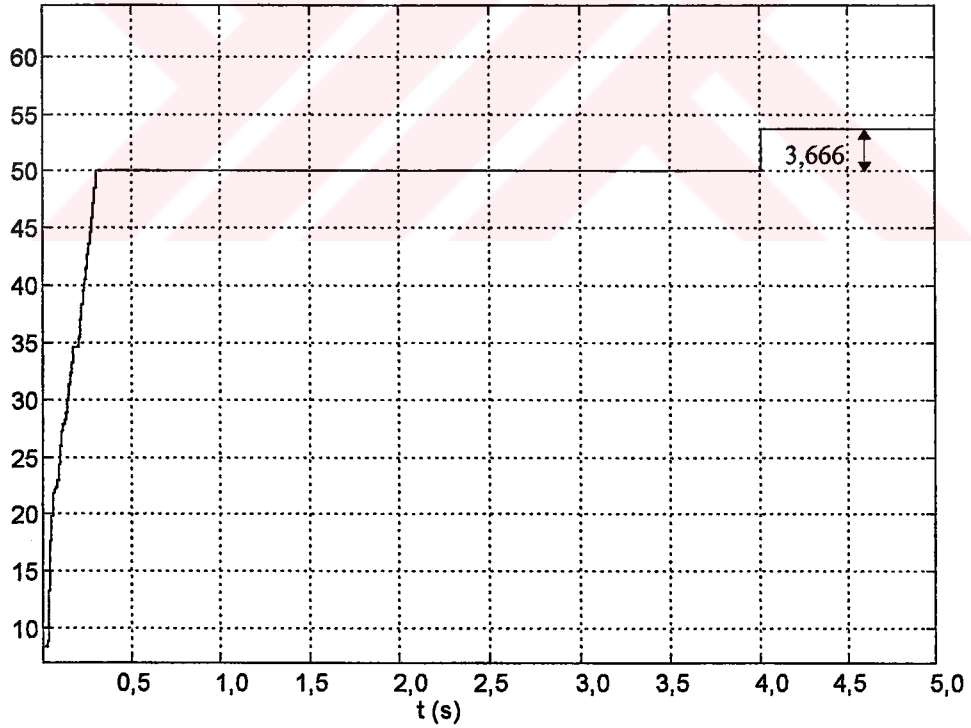
Şekil 5.20. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Frekans - Zaman grafiği, (üçgen üyelik fonksiyonu).

Fan Kontrol  
Frekans  
(Hz)



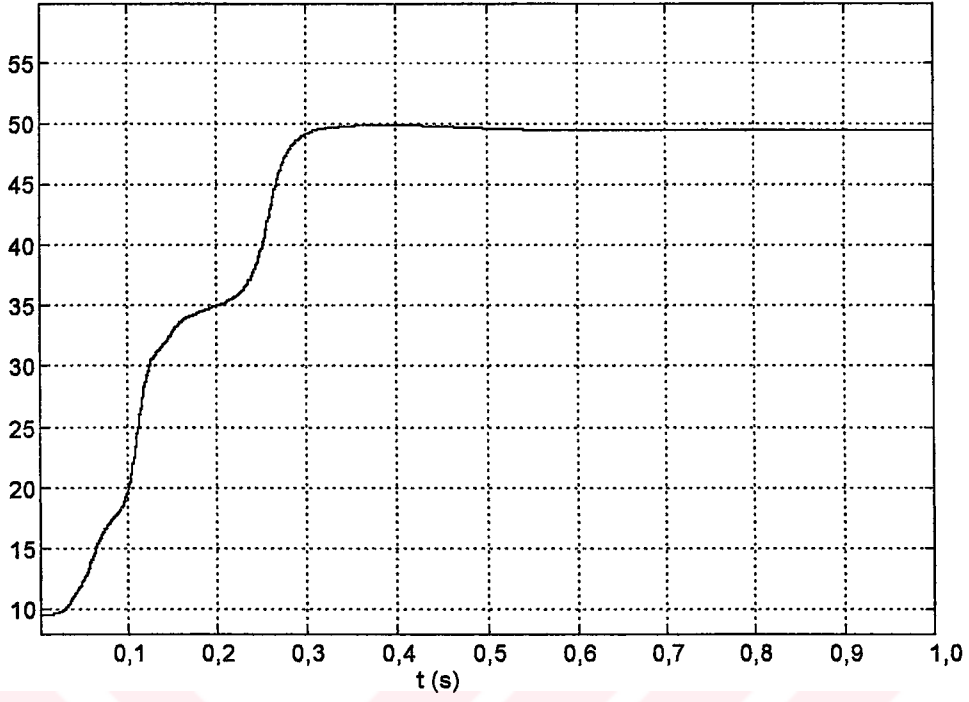
Şekil 5.21. BMD ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).

Fan Kontrol  
Frekans  
(Hz)



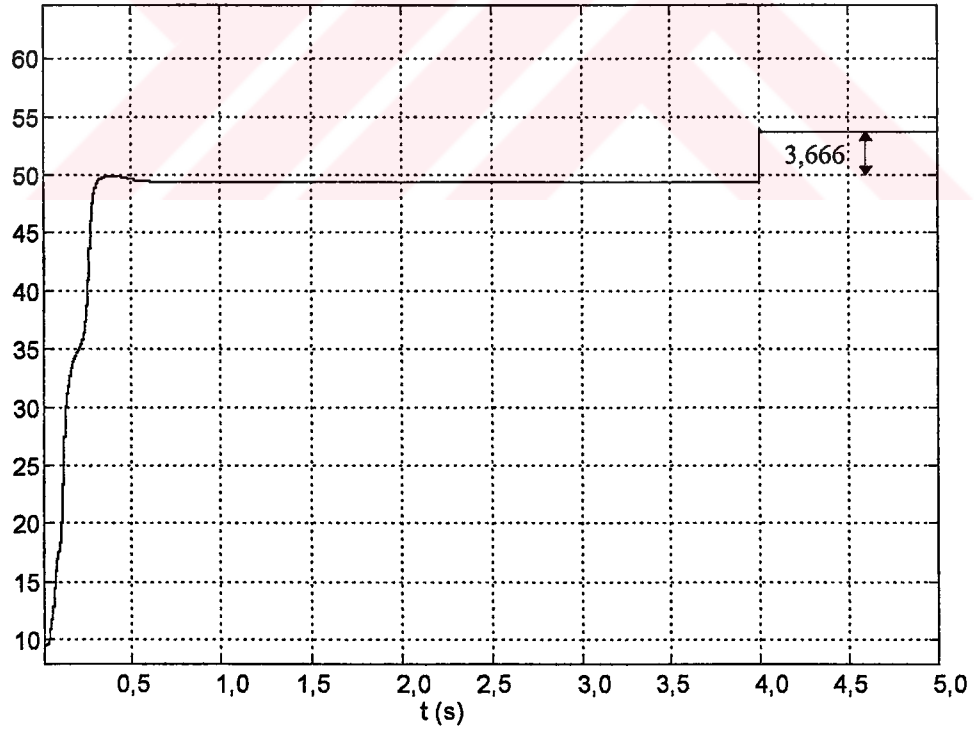
Şekil 5.22. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği, (trapez üyelik fonksiyonu).

Fan Kontrol  
Frekans  
(Hz)



Şekil 5.23. BMD ile kontrol. Frekans-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).

Fan Kontrol  
Frekans  
(Hz)



Şekil 5.24. BMD ile kontrol.  $T_{en}=234,395$  Nm nominal yükte elde edilen Frekans-Zaman grafiği, (Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonu).



## 5.5 Fan Sayısı Bakımından

Şekil 5.25 ile Şekil 5.30 arasındaki 6 adet Şekil PID altında aktif fan sayısının zamanla değişimini göstermektedir.

Şekil 5.25'in incelenmesinden; CO ve VI sensörlerinden gelen ve PID'ye giriş olarak kabul edilen  $CO=20$  ppm,  $VI=1,5 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  değerleri için 2 adet jet fanın devreye girdiği anlaşılmaktadır. Bir nolu fan, ilk kontrol anından itibaren çalışmakta bundan 1,40 s sonra ikinci fan devreye alınmaktadır.

Şekil 5.26'daki davranış, tünel içindeki  $CO=40$  ppm,  $VI=4 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  değerinde zehirli gaz ve tozların 4 adet fan kullanarak, PID denetim ile, atılabileceğini göstermektedir. Bu fanların ilk ikisi bir anda devreye alınmakta ve 3 numaralı fan 0,70 s, 4 numaralı fan ise 2,10 s sonra devreye girmektedir.

Şekil 5.27'nin incelenmesinden; tünel içindeki  $CO=80$  ppm,  $VI=9 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  değerinde zehirli gaz ve tozların 9 adet fan kullanılarak, PID denetim ile, atılabileceğini göstermektedir. Bunların ilk dördü bir anda devreye alınmakta 5, 6, 7, 8, 9 numaralı fanlar sırasıyla 0,3; 1,0; 1,7; 2,6; 4,7 s sonra devreye girmektedir.

Şekil 5.28'in incelenmesinden;  $CO=150$  ppm,  $VI=10 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  giriş değerlerinde 16 adet fanın devreye girdiği anlaşılmaktadır. Bunların 8 tanesi ilk anda 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 numaralı fanlar ise sırasıyla 0,3; 0,7; 1,1; 1,4; 1,8; 2,3; 2,9; 3,9 s sonra devreye alınmaktadır.

Şekil 29 ve Şekil 30'un incelenmesinden;  $CO=200$  ppm,  $VI=14 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  ve  $CO=220$  ppm,  $VI=15 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  giriş değerlerinin her ikisinde de 22 adet fanın devreye alındığı anlaşılmaktadır. Ancak bu fanların devreye alınma zamanları farklıdır. Buna göre,  $CO=200$  ppm,  $VI=14 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  değerinde ilk anda 11 adet fan devreye alınmakta, sonra sırasıyla 0,4; 0,7; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1; 2,5; 3,7; 5,4 s zaman aralıklarında 11 adet fanında devreye alınmasıyla toplam 22 adet fanın çalıştığı görülmektedir.  $CO=220$  ppm,  $VI=15 \cdot 10^{-3} m^{-1}$  giriş değerlerinde; ilk anda 12 adet fan devreye alınmakta sonra

sırasıyla, 0,3; 0,6; 0,9; 1,1; 1,4; 1,6; 1,9; 2,5; 3,0 s aralıklarında 10 adet fanın daha devreye alındığı görülmektedir.

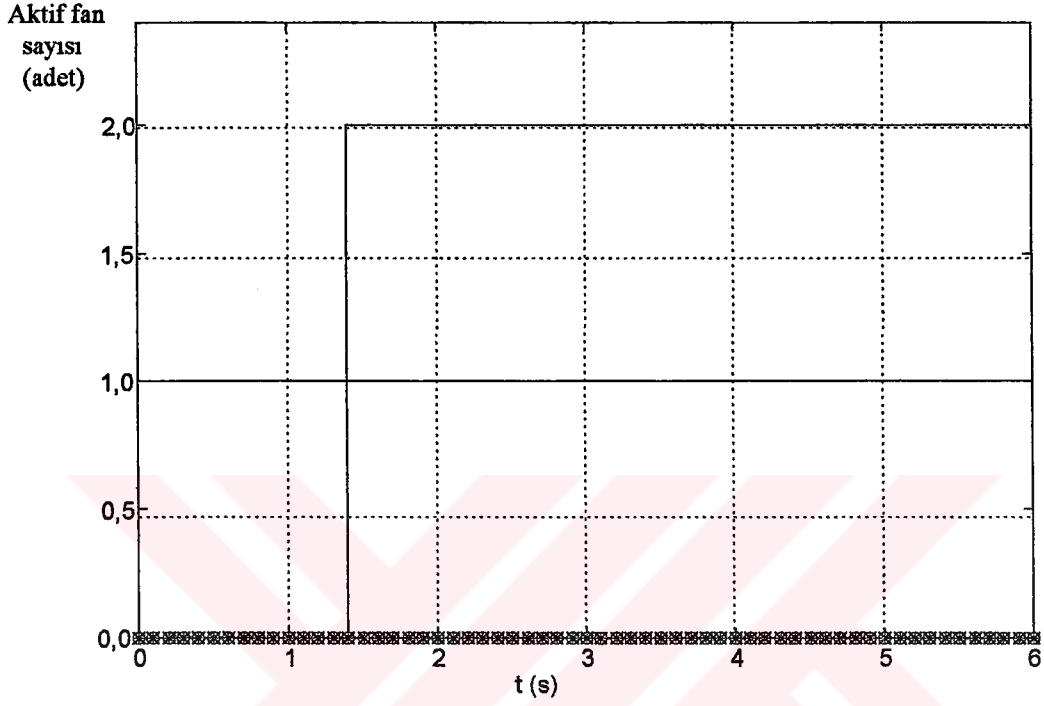
PID ile yapılan işlemlerin aynısı BMD sistemi ile de aynı giriş koşullarında yapılmaktadır. BMD sistemi kendi içinde üçgen, trapez Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları açısından da karşılaştırılmaktadır. Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.36'nın incelenmesinden; BMD'ye üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyon tiplerinin uygulanması sonucu üçünde de aynı sayıda fanın devreye girdiği görülmektedir. PID ve BMD teknikleri ile saptanan aktif fan sayıları karşılaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla Tablo 5.3'de verilmektedir.

Tablo 5.3. PID ve BMD'nin CO ve VI giriş değerlerine göre devreye girebilecek aktif fan sayısı bakımından kıyaslanması

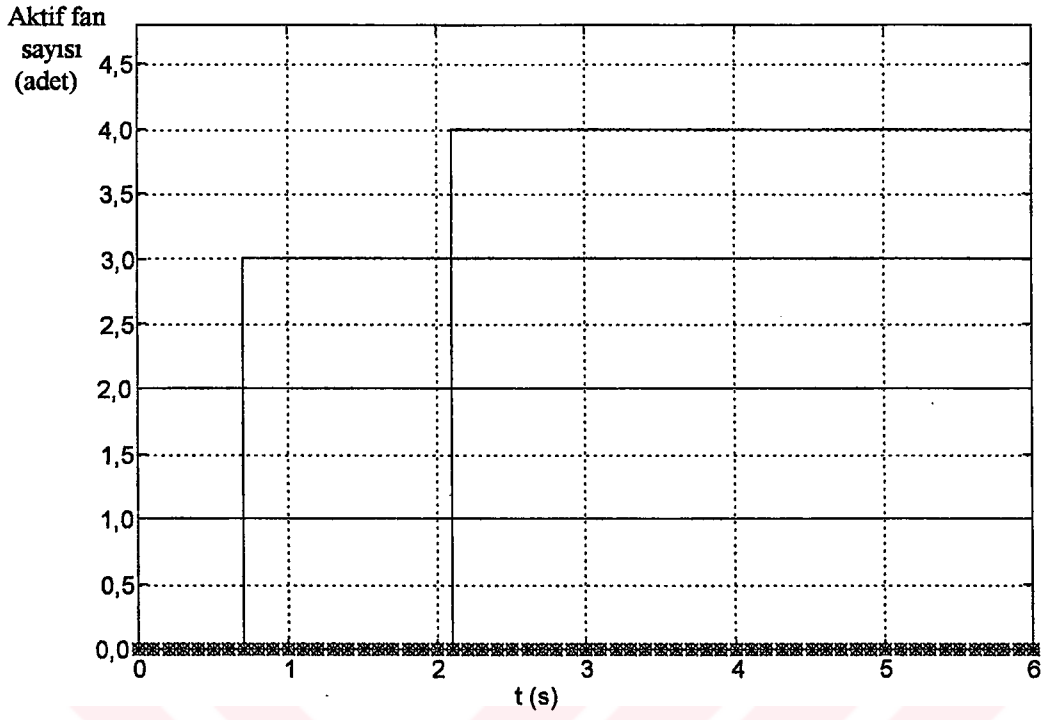
	PID fan sayısı (adet)	BMD üçgen, trapez, Gauss çan (adet)
CO=20 ppm VI= $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	2	3
CO=40 ppm VI= $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	4	3
CO=80 ppm VI= $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	9	6
CO=150 ppm VI= $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	16	11
CO=200 ppm VI= $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	22	15
CO=220 ppm VI= $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$	22	15

Tablo 5.2'nin incelenmesinden; başlangıç durumu hariç, diğer adımlarda aynı giriş değerlerindeki kötü gaz ve tozun dışarıya atılması için PID'de daha fazla fanın devreye alındığı görülmektedir. BMD içinde üyelik fonksiyonları açısından kıyaslama yapıldığında, üç tip üyelik fonksiyonunda da aynı sayıda fan devreye alınmakta, üyelik fonksiyonu değişimi ile fan sayısında değişme görülmemektedir. PID denetimde fazla sayıda fanın devreye alınmasıyla, her birisi 50 Hp gücünde olan jet fanların daha fazla enerji harcayacağını göstermektedir. Başlangıç durumunda tünel havası temiz olduğu

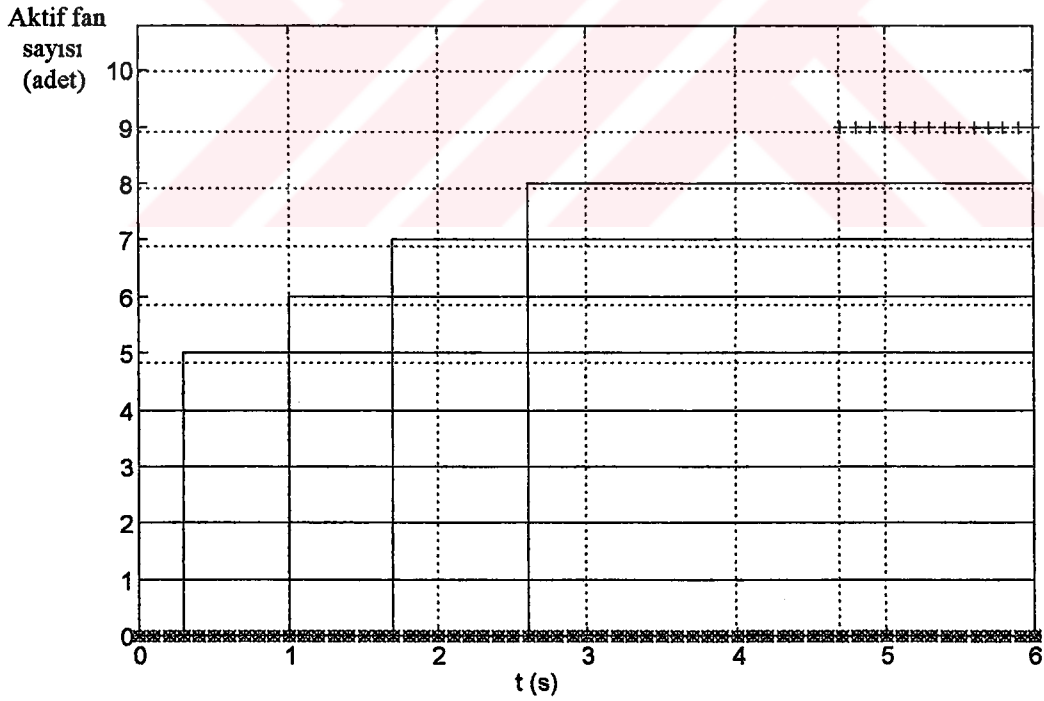
için sorun doğurmamaktadır. Bundan sonraki Bölüm’de ise, elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.



Şekil 5.25.  $CO = 20$  ppm ,  $VI = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü

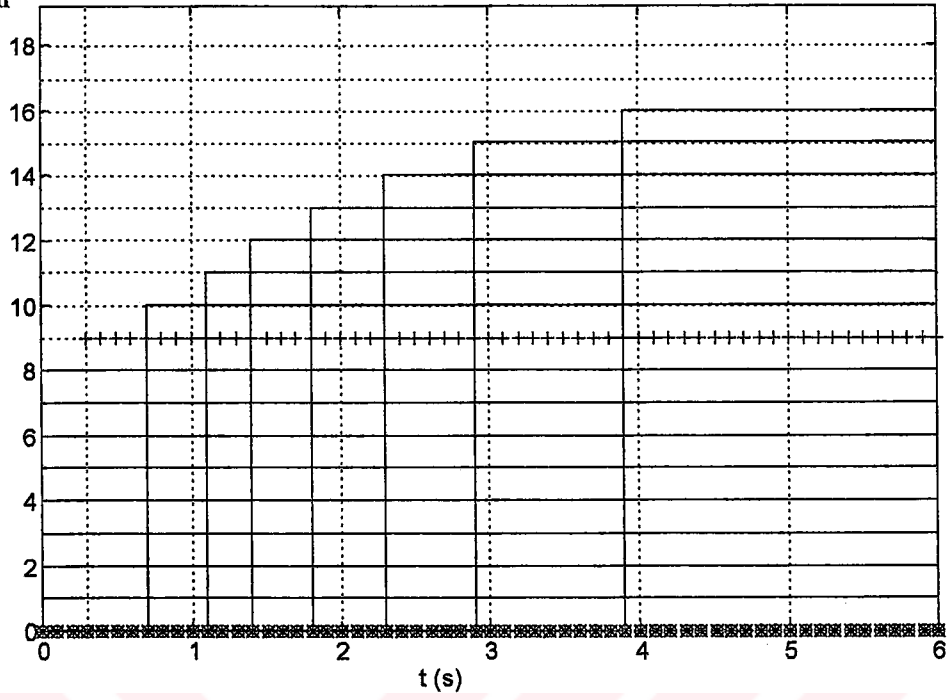


Şekil 5.26. CO = 40 ppm , VI =  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü



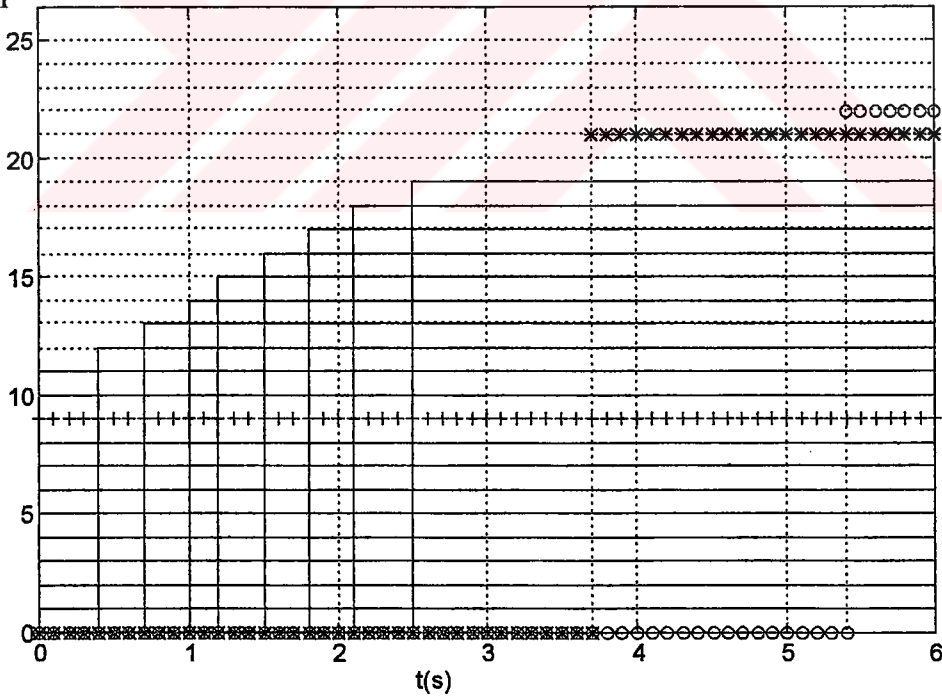
Şekil 5.27. CO = 80 ppm , VI =  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü

Aktif fan sayısı (adet)

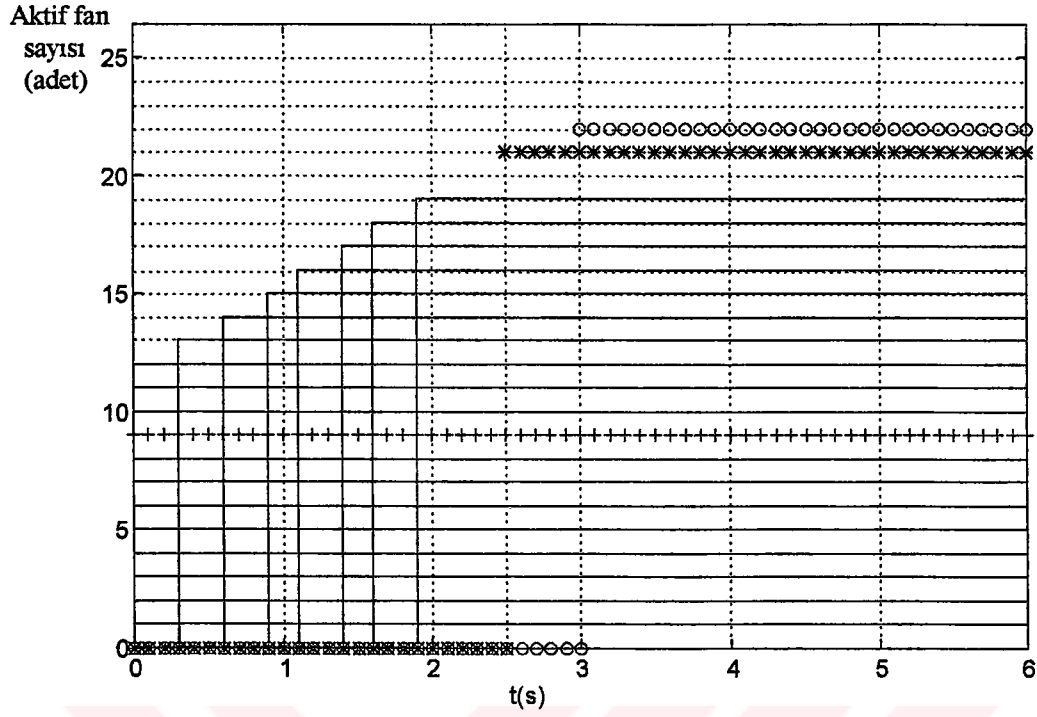


Şekil 5.28. CO = 150 ppm , VI =  $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü

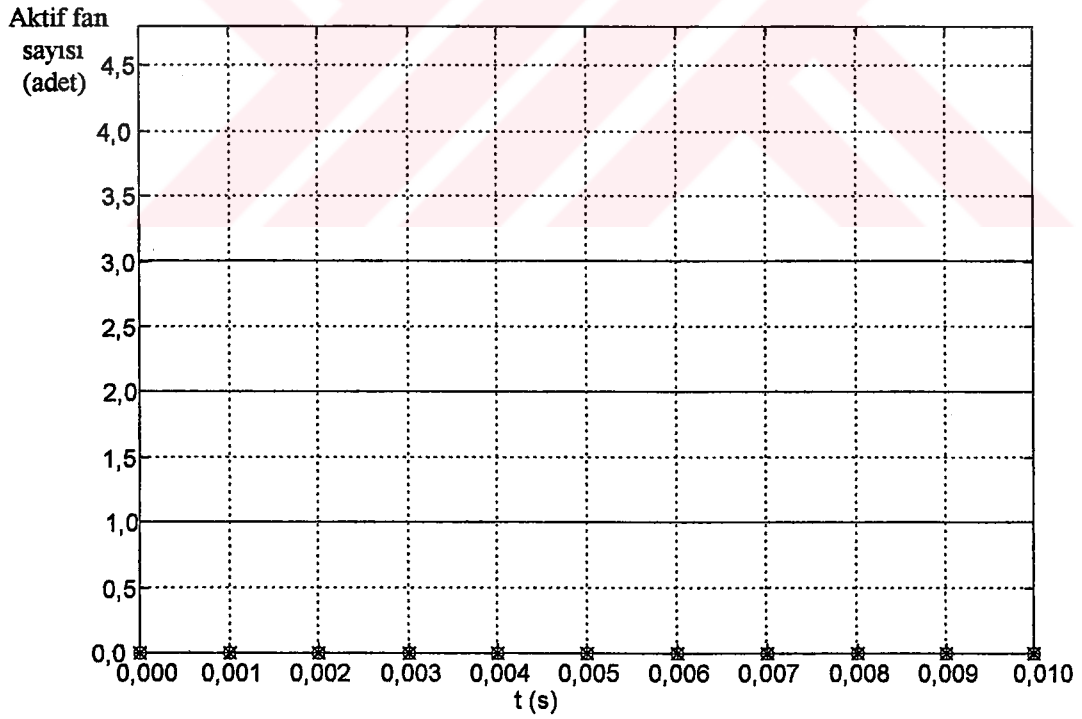
Aktif fan sayısı (adet)



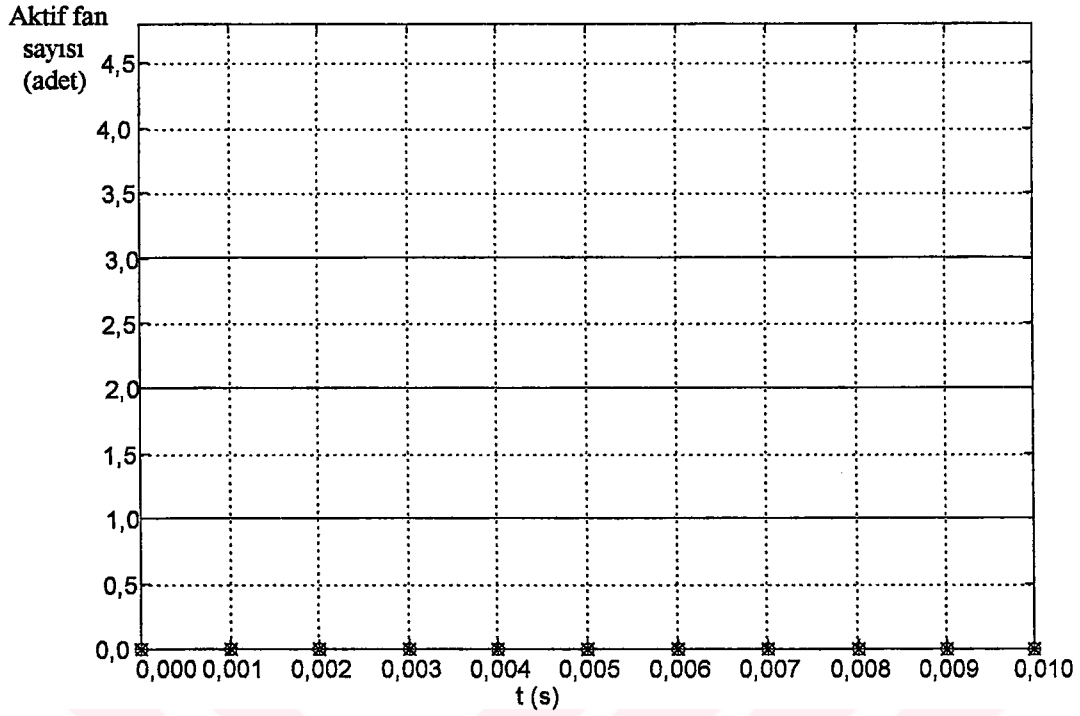
Şekil 5.29. CO = 200 ppm , VI =  $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü



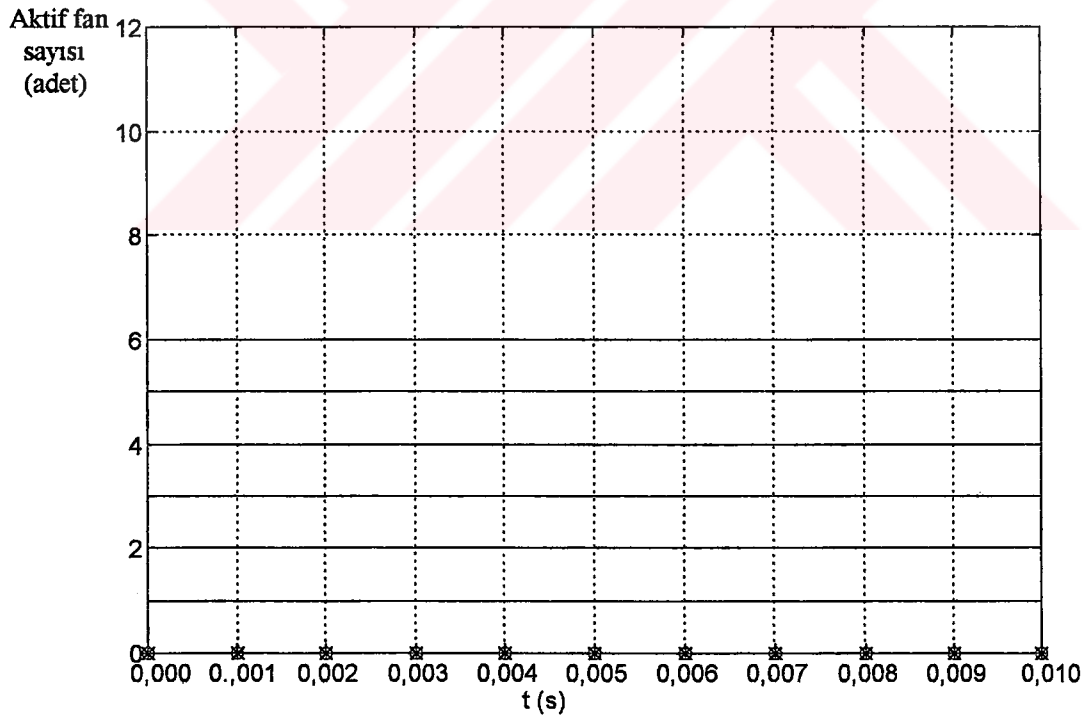
Şekil 5.30.  $CO = 220 \text{ ppm}$  ,  $VI = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde PID denetleyici ile fan sayısı kontrolü



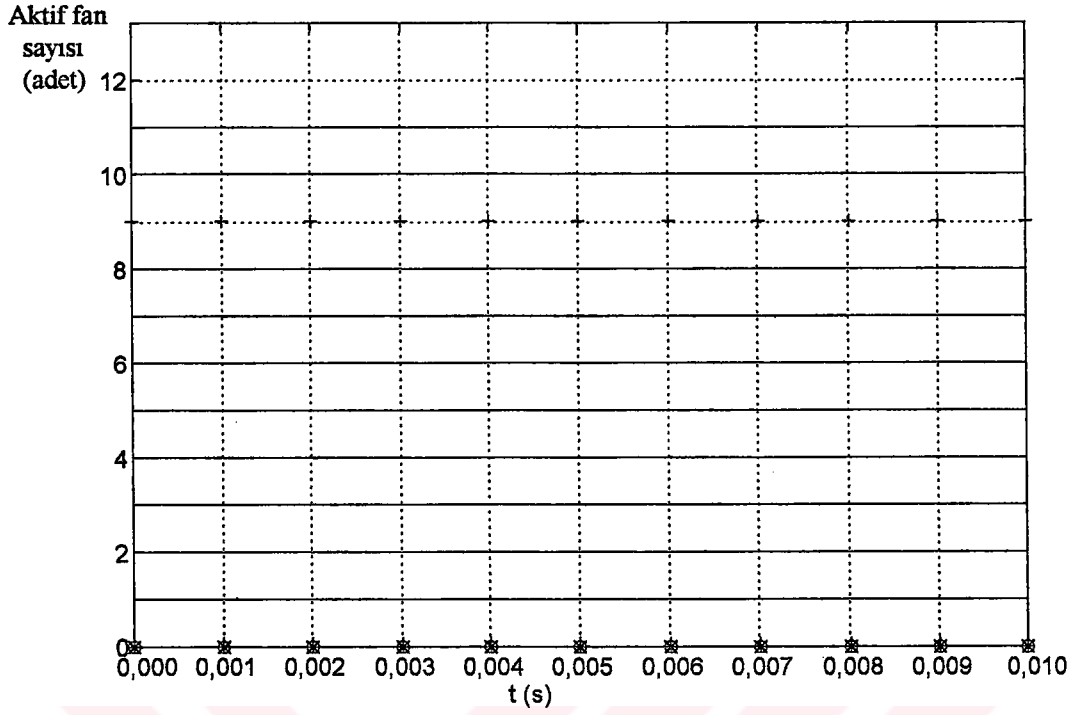
Şekil 5.31.  $CO = 20 \text{ ppm}$  ,  $VI = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)



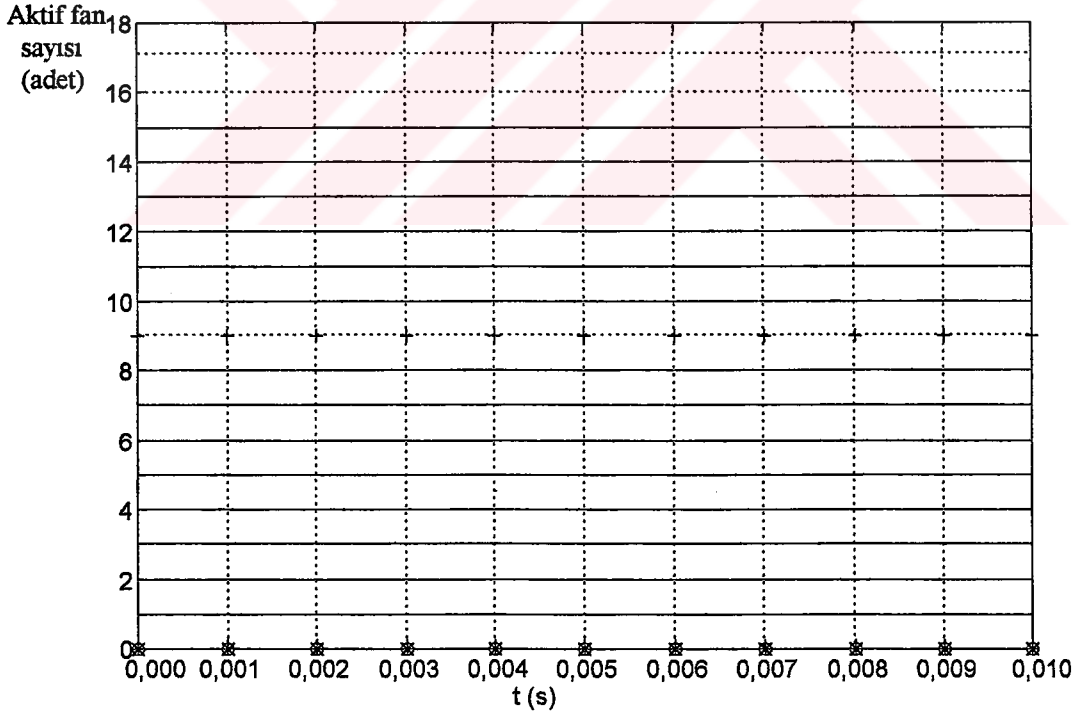
Şekil 5.32. CO = 40 ppm , VI =  $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)



Şekil 5.33. CO = 80 ppm , VI =  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)

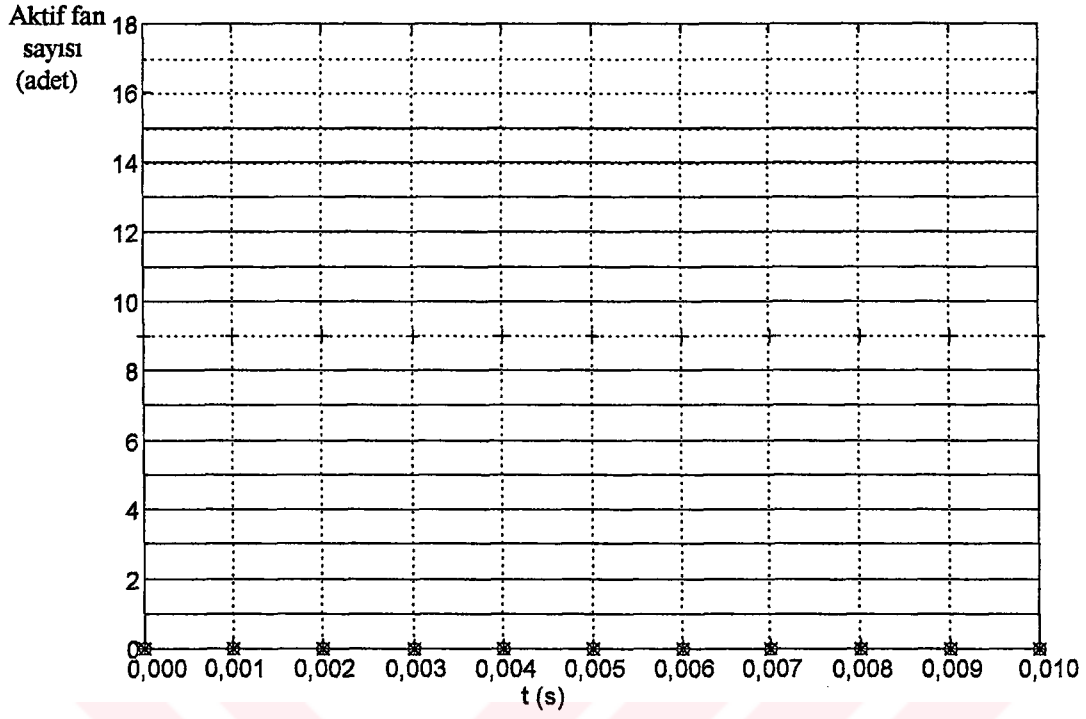


Şekil 5.34. CO = 150 ppm , VI =  $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)



Şekil 5.35. CO = 200 ppm , VI =  $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)





Şekil 5.36.  $CO = 220 \text{ ppm}$  ,  $VI = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  giriş değerlerinde BMD ile fan sayısı kontrolü (Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları)

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde elektrik-elektronik ve bilgisayar ile denetim sistemlerinde optimizasyon, çok önem taşımaktadır. Örneğin tünel havalandırma sisteminin denetimi Türkiye’de tipik PID tekniği kullanılarak PLC’ler ile yapılmaktadır. Böyle bir sistemde çalışma zamanları keskin mantık ile yapıldığından dolayı enerji kayıpları ve güç tüketimi artmakta, sistemin genişleme ve esnekliği azalmaktadır. Bu çalışmada, alışılmış PLC ve gelişme aşamasında olan BMD sistemleri kıyaslanarak aşağıdaki bulgulara ulaşılmaktadır:

- 1) PLC ve BMD sistemlerinin sürülmesi amacıyla seçilen kontrol parametreleri ve değerleri değiştirilmesi halinde, geliştirilen yaklaşımın bu yeni durumlara kolayca ayarlanması olasıdır. Zira, seçilen kontrol parametreleri sadece referans değerler olup, PLC ve BMD sistemleri göreceli (rölatif) olarak kıyaslanmaktadır.
- 2) Yurtdışı ve yurtiçi üniversite ve araştırma merkezlerinde, benzer konularda çalışan pek çok bilim adamının tasarımlarını, bilgisayar ortamında, simülasyonlar şeklinde yaptıkları gözlenmektedir. Tez’de analizi yapılan BMD denetim yaklaşımı ve buna göre yapılan tasarımın gelecek bir kaç yıl içinde daha da güncel hale geleceğine inanıldığı vurgulanmaktadır.
- 3) Asenkron motor olarak bilinen fan motorlarının, PID ve BMD sistemlerine uygun olan, matematiksel modelleri çıkarılmakta, Matlab-Simulink paket programıyla uygulanmaktadır. PID ve BMD sistemleri ile, 22 fanlı olarak seçilen bir tünel havalandırmasında kullanılan jet fanların sayısı kontrol edilerek algoritmalar geliştirilmektedir. Bu değer referans olup, değiştirilmesi olasıdır. Ancak, değer büyüdükçe, paket programdaki ilgili “araç kutusu” (toolbox) sayısı artacağı için kontrol sistemi, bloklandığı üzere, daha karmaşıklaşmakta; aksi durumda ise sadeleşmektedir.

4) Son Bölümde, BMD ile PID sistemleri; açısal hız, mil momenti, frekans ve fan sayısı bakımından karşılaştırılmaktadır. PID sisteminde, boşta çalışan fan mili açısal hızı, zamanla değişiminin  $w(t) = 157,1(1 - e^{-2t})$  fonksiyonu ile ifade edildiği görülmektedir. BMD ile kontrolün, PID sistemiyle kontrole kıyasla; boşta çalışma süresi ( $\Delta t_b$ ) bakımından, üçgen üyelik fonksiyonlarında 5,695; trapez üyelik fonksiyonunda 5,627 kat daha iyi olmaktadır. Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonunda ise, boşta çalışma açısal hızına sonsuzda ulaşılmaktadır. PID ve BMD sistemleri altında sürülen jet fan mili nominal moment  $T_{en} = 234,395$  Nm ile yüklenmesi durumlarında, açısal hızın maksimum (nominal) değere ulaşma süresi ( $\Delta t$ ) bakımından kıyaslanmasında; üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları sırasıyla 8,937; 7,729 ve 7,526 kat daha iyi performans vermektedir. Başka bir deyişle, BMD sistemi ile kontrol işlemi, PID sistemine kıyasla, daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

5) Tablo 5.2 incelendiğinde, salınımlı çalışma zamanı ( $t_s$ ), kararlı duruma geçme zamanı ( $t_k$ ), boşta çalışma momenti ile yükün uygulanması sonucu oluşan moment arasındaki fark ( $\Delta T$ ), yük momentinin kalkış anından kararlı duruma geçmesi için oluşan zaman farkı ( $\Delta t_y$ ), boşta çalışma ile kararlı duruma geçme arasında oluşan moment farkı ( $\Delta T_k$ ), değerleri PID ve BMD sistemleri için karşılaştırılmakta ve BMD ile kontrolde fan motorunun, PID'ye kıyasla daha kısa sürede kararlı hale getirildiği sonucuna varılmaktadır.

6) Frekans bakımından analizde, PID ile sürülen fan milinin 50 Hz'e 3,441 s içinde yükseldiği görülmektedir. Bu (t,f) değişimi logaritmik olup,  $f(t) = 10 + 40(1 - e^{-2t})$  ile ifade edilebilmektedir. BMD ile kontrolde yük uygulandıktan itibaren 0,1 s'den küçük sürede kontrol işlemi tamamlanmakta; PID kontrolde ise bu süre 2,38 s seviyesinde bulunmaktadır. Üçgen, trapez ve Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılması durumlarında, nominal çalışma frekansı olan 50 Hz değerine yaklaşık 0,3 s içinde ulaşılmakta, PID ile elde edilen 3,441 s'ye kıyasla, boşta kontrol işlemi daha kısa sürede tamamlanmaktadır. PID ve BMD sistemlerine yük momenti uygulandığında PID kontrolü, 2,38 s'de, BMD kontrolü ise hemen anında gerçekleşmektedir.

7) Fan sayısı bakımından PID ve BMD sistemlerinin karşılaştırılması Tablo 5.3'de verilmektedir. Tablo 5.3'ün incelemesinden; başlangıç durumu hariç, diğer adımlarda aynı giriş değerlerindeki kötü gaz ve tozun dışarıya atılması için PID ile daha fazla fanın devreye alındığı görülmektedir. Bu durum her biri 50 Hp değerinde olan jet fanların PID ile daha fazla güç çekeceğini göstermektedir. Başlangıç durumu, tünel havası temiz olduğu için, sorun doğurmamaktadır. Üçgen, trapez, Gauss çan eğrisi üyelik fonksiyon tipleri değişiminde fan sayısında bir değişme olmamaktadır.

8) Tez'de yapılan uygulama analizi ile PID tekniğinin BMD ile geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Başta Japonya ve Avusturya olmak üzere; Çin, Amerika gibi gelişmiş ülkelerde tünel havalandırma sistemlerine uygulanan BMD'nin, uzun tünellerimizde, hatta İstanbul Boğaziçi su altı tüp geçidinde de uygulanabileceği düşünülmektedir. Böylece, yüksek güçlü jet fanların kullanıldığı tünellerimizde, enerji tüketimi azalacak, sürücüler daha konforlu ve en önemlisi daha güvenli seyahat edebileceklerdir.

Bu bulgular ışığı altında, BMD sisteminin, incelenen parametreler bakımından, PID sistemine göre, çok daha üstün özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda PI-Fuzzy kontrolör kullanılarak denetim işlemi gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. AKSOY, S., DİNÇER, H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesinde Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerin Otomasyona Geçiş Sorunları ve Programlanabilir Lojik Denetleyicili bir Otomasyon Uygulaması, ELMEKSEM II, Bursa, ss. 238-244.
2. ALTAS, I.H., and SHARAF, A.M., 1994. A Novel Fuzzy Controller for Maximum Power Extraction from A PV Array Driving A Three-Phase Induction Motor. IEEE Power Engineering, pp. 853-856.
3. ABB Industrie AG, 1993. ABB Drives-Programmable High-Speed Controller for Power Electronic Systems, Switzerland.
4. ABB Industrie AG, 1993. ABB Drives-Control Equipment for Power Converters, Switzerland.
5. ABB Industrie AG, 1993. ABB Drives-PSR-The World Fastest Programmable Controller with Function Block Language, Switzerland.
6. ABB Industrie AG, 1994. ABB Drives - Fuzzy Logic, Switzerland.
7. ALKAN, M., et al., 1994. Fuzzy Dynamic Programming. Proceedings of the IEEE, pp. 723-726.
8. BALIGA, B.J., 1994. Power Semiconductor Devices for Variable-Frequency Drives. IEEE Power Engineering, Vol.82, No.8, pp. 1112-1122.
9. BAŞBUĞ, A., 1994. Bulanık Teknoloji. Byte Dergisi, ss.147-152.
10. BELLASIO, R., 1997. Modelling Air Pollution in Road Tunnels. Elsevier Science, Atmospheric Environment, Vol.31, No.10, pp 1539-1551.
11. BLASKO, V.. and KAURA, V., 1997. A new Mathematical Model and Control of A Three-Phase AC-DC Voltage Source Converter. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12, No.1, pp 116-125.
12. BODUROĞLU, T., 1981. Elektrik Makinaları Dersleri, Teori, Hesap ve Konstriksiyon, Cilt II. İ.T.Ü. Kütüphanesi, Gümüşsuyu, İstanbul.
13. BONISSONE, P.P., and et al., 1995. Industrial Applications of Fuzzy Logic at General Electric. Proceedings of IEEE, Vol. 83, No.3. pp. 450-464.

14. BOVERIE, S., et al., 1991. Fuzzy Logic Control Compared with Other Automatic Control Approaches, Proceedings of the 30th IEEE Conference on Decision and Control, Brighton, England, pp. 1212-1216
15. BOSE, B.K., 1994. Expert Systems, Fuzzy Logic, and Neural Network Applications in Power Electronics and Motion Control. Proceedings of IEEE, Vol. 82, No.8, pp. 1303-1316.
16. CHEN, T.C., and LIAW, C.Y., 1994. A Neural Fuzzy Algorithm for Induction Motor Speed Control. Proceeding of the Asian Control Conference, pp. 183-186.
17. CHEN, P.H., and et al., 1996. Application of Fuzzy Control to a Road Tunnel Ventilation System. Proceedings of the IEEE, pp. 1736-1742.
18. CHOI, J.W., and SUL, S.K., 1997. New Current Control Concept-Minimum Time Current Control in the Three Phase PWM Converter. IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.12, No.1, pp. 124-130.
19. CLEMENTS, K.J., and JEFFCOAT, W., 1996. The PLC Workbook, Prentice Hall, England.
20. ÇAŞKURLU, A., vd., 1995. Üç Fazlı Asenkron Motor Sürücü Düzeneginin Öğrenilen Bulanık Denetleyici ile Hız Geri Beslemesiz Tasarlanması. Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, ss. 438-440.
21. DABROWSKI, M., and GOLDSCHMIDT E., 1994. The Amira FC Tool - Fuzzy Control Tool for Design and Real Time Application. Deutsch-Französisches Institut für Automation und Robotik Telinstitut, Duisburg, Germany.
22. DAVLIN, T., 1991. Combustion Turbine Readied for the Nineties Diesel and Gas Turbine World Wide, pp. 18-19.
23. DAVLIN, T., 1991. PLCs Upgrade Power Plant Control System. Intech Engineer's Notebook, pp. 16-19.
24. DOTE, Y., 1991. Stability Analysis of Variable Structured PI Controller by Fuzzy Logic for Servo System. Proceedings of the 30th IEEE Conference on Decision and Control, Brighton, England, pp. 1217-1218.
25. DRIANKOV, D., et al., 1993. An Introduction to Fuzzy Control. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
26. DUCKER, P.D., 1992. Advanced Software Systems to Optimize the Control and Operation of Modern Road Tunnel Plant Equipment, IEE Colloquium on Electrical and Electronic Systems for Road Tunnels, Presented Paper.

27. EDITORIAL, 1993. Fuzzy Models - What Are They, and Why? IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.1, No.1, pp. 1-5.
28. EICHFELD, H.P., et al., 1993. An 8b Fuzzy Coprocessor for Fuzzy Control. IEEE International Solid-State Circuits Conference, pp.180-182.
29. ELLIS, G., 1991. Control System Design Guide Academic Press Inc., ISBN 0-12-23740-3.
30. EVANS, G.W., et al., 1989. An Introduction to Fuzzy Set Methodologies for Industrial and System Engineering Advances in Industrial Engineering, Applications of Fuzzy Sets Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier Science, pp. 3-11.
31. FLETCHER, D.F., and KENT D.J., 1994. Numerical Simulations of Smoke Movement from a Pool Fire in a Ventilated Tunnel. Fire Safety Journal, Vol.23, No.3, pp. 305-325.
32. FRANK, P.M., et al., 1995. Multilayer Fuzzy Control of Multivariable Processes By Passive Decomposition. Proceedings of 3rd European Control Conference, Rome, Italy, pp. 791-796.
33. FRANK, P.M., 1995. Residual for Fault Diagnosis Based on Adaptive Fuzzy Thresholds. IEE Computing and Control Division Colloquium on Qualitative and Quantitative Modeling Methods for Fault Diagnosis, pp. 1-10.
34. FRANK, P.M., 1994. Fuzzy Supervision, Application of Fuzzy Logic to Processes Supervision and Fault Diagnosis. Safe Processes'94, Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes, Espoo, Finland.
35. FUNABSHI, M. et al., 1991. A Fuzzy Model Based Control Scheme and Its Application to a Road Tunnel Ventilation System. Proceedings IECON'91, Int. Conference on Industrial Electric's, Control and Instrumentation, Vol.2, pp. 1596-1601.
36. GHAFFARI, A., and ASI, F.M., 1994. Application of Fuzzy Logic Control to Steam Power Plants Engineering Power Systems Design and Analysis, Vol.6, pp.1-7.
37. GÖKAŞAN, M., 1989. Sıncap Kafesli Asenkron Makinalarda Modern Kontrol Yöntemlerinin Uygulanması. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
38. GRAY, G.G., and MARTINY, W.J., 1996. Efficiency Testing of Medium Induction Motor a Comment on IEEE Std. 112-1991. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.11, No.3, pp. 495-499.



39. GUYETTE, L., et al., 1994. A Rule-Based Expert System Approach to Class Scheduling. Pergamon, Computers and Elec. Engineering, Vol. 20, No.2, pp.151-162.
40. GÜNEY, İ. ve AKÜNER, M.C., 1993. Orta Gerilim Transformatör Merkezlerinin PLC Kullanarak Tasarımı. Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, ss 1254-1259.
41. GÜNEY, İ. ve KARAKAŞ, E., 1993. Bilgisayar ve Programlanı Denetleyicilerle Pnömatik Kontrol. ELMEKSEM III. Bursa, ss 245-147.
42. HALANG, L., et al., 1994. Safety Assurance in Process Control. IEEE Software, Vol.11, No.1, pp. 61-67.
43. HALL, L.O., and HATHAWAY, R.J., 1996. Software Review, Fuzzy System Toolbox. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.4, No.1, pp. 82-85.
44. HIROTA, K., 1993. Industrial Applications of Fuzzy Technology. Springer Verlag, pp. 273-275.
45. HOHFELD, M., and SCHURMANN, B., 1993. The Roles of Neural Networks and Fuzzy Logic in Process Optimization. Siemens Review, pp. 9-13.
46. HOLTZ, J., 1994. Pulse Width Modulation for Electronic Power Conversion. Proceedings of IEEE, Vol. 82, No.8. pp. 1194-1212.
47. HOOD, W.G., 1993. Hot Backup PLCs Ensure Control in the Cold Intech Applying Technology, pp. 33-34.
48. HSU, J.S., and SORENSON, P.L., 1996. Field Assessment of Induction Motor Efficiency Through Air-Gap Torque. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.11, No.3, pp.489-494.
49. HUANG, T.G., and EL-SHARKAWI, M.A., 1996. High Performance Speed and Position Tracking of Induction Motors Using Multi-Layer Fuzzy Control. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.11, No.2, pp.353-358.
50. HUERTAS, J.L., et al., 1994. A Hardware Implementation of Fuzzy Controllers Using Analog-Digital VLSI Techniques. Comp. Elect. Engineering, Vol.20, No.5, pp. 409-419.
51. INOUE, T., and TSUKANO, K., 1993. A Design of Analog CMOS Fuzzy Inference Circuits Using OTAS. Proc. of the Int. Conf. on Ind. Fuzzy Control and Intelligent Systems, Houston, Texas, USA, pp.1-6.
52. INOUE, T., et al., 1994. Simple Operational Transductance Amplifier-Based Operational Circuits for Fuzzy Hardware: Design and Application. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications, Kogoshima, Japan, pp. 9-12.



53. IMAIDA, T., et al., 1990. Development of the Fuzzy Logic Control System for Heat Pump Air Conditioners. Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Tech. Review, Vol.27, No.3, pp.193-197.
54. IOKIBE, T. et al., 1993. Traffic Prediction Method By Fuzzy Logic. 2nd. IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, pp.673-678.
55. ISHIZUKA, O., et al., 1992. Design of A Fuzzy Controller With Normalization Circuits. IEEE Int Conf. on Fuzzy Systems, San Diego, California, USA, pp.1303-1309.
56. ISHIZUKA, O. et al., 1993. A High Speed Fuzzy Processor Using Bipolar Technology. 5th IFSA World Congress, pp.933-936.
57. JAMSHIDI, M., 1993. Fuzzy Logic and Control, Software and Hardware Applications. Prentice Hall Inc. New Jersey.
58. KANDEL, A., LANGHOLZ G., 1994. Fuzzy Control Systems. CRC Press, London, 1994.
59. KARAKAŞ, E. ve KÜLÜNK, H., 1997. Yenilenebilir Enerji Güç Sistemlerinin Fuzzy (Bulanık) Mantık Yaklaşımı ile Optimizasyonu. Türkiye 7. Enerji Kongresi, ODTÜ, Ankara, ss. 47-54.
60. KARAKAŞ, E. ve KÜLÜNK, H., 1997. Tünel Havalandırma Sisteminin Bulanık Mantık ve PID Denetleyicisi ile Kontrolü. IV. Elektromekanik Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, ss. 233-235.
61. KARŞANBAŞ, F.S., ve BAKIR, S, 1989. Programlanabilir Lojik Denetleyicilerle Sistem Otomasyonu ve Seçim Kriterleri. Elektrik Mühendisliği III. Ulusal Kongresi, ss. 716-719.
62. KASSAKIAN, J.G., et al., 1991. Principles of Power Electronics. Addison-Wesley Publ. Co. Massachusetts Institute of Technology.
63. KEPEZ, N., 1995. Elektrik Makinaları Kontrolünde Bulanık Mantığın Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
64. KIDOKORO, N. et al., 1991. Development of Fuzzy Control System for Multi-Air Conditioners. Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Technical Review, Vol.28, No.3, pp.188-236.
65. KISCHKAT, R., and HIRZLE, A., 1997. Fuzzy Logic Yardımı ile Hataların Belirlenmesi. Makina Magazin Aylık Endüstri ve Teknoloji Dergisi, Çeviri, Sayı 12, ss.40-43.

66. KOYAMA, T., et al., 1993. Road Tunnel Ventilation Control Based on Nonlinear Programming and Fuzzy Control. Trans. of Ins. of Elec. Engineers of Japan, Part D, Vol.113, No.2, pp.160-168.
67. KRAUSE, P.C., 1987. Analysis of Electric Machinery. McGraw-Hill Book Company, Purdue University.
68. KUNG, Y., S., LIAW, C.M., 1994. A Fuzzy Controller Improving a Linear Model Following Controller for Motor Drives, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 2, No. 3, pp. 194-202.
69. KURTULAN, S., 1991. Programlanabilir Kontrolörlerin Kumanda Devrelerinde Kullanımı. Elektrik Mühendisliği IV. Ulusal Kongresi, ss. 154-156.
70. LEWIS, F.L., and LIU, K., 1994. Towards a Paradigm For Fuzzy Logic Control. The First Int. Joint Conference of NAFIPS/IFIS/NASA, IEEE, pp.94-100.
71. LI, H.X., and GATLAND, H.B., 1995. A New Methodology For Designing A Fuzzy Logic Controller. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol.25, No.3, pp.505-513.
72. LIAW, C.M., and WANG, J.B., 1991. Design and Implementation of A Fuzzy Controller for A High Performance Induction Motor Drive. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol.21, No.4, pp.921-929.
73. LIAW, C.M., and WANG, J.B., 1996. Fuzzy Adopted Field Oriented Mechanism for Induction Motor Drive. IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.11, No.1, pp.76-83.
74. LIN, B.R., 1994. Current Controlled Inverter Drives With Fuzzy Controller. Proc. of The Asian Control Conference, Tokyo, Japan, pp.745-748.
75. LIU, K., and LEWIS, F.L., 1993. Fuzzy Control Needs Clear Ideas Discussion About FLC. The First Chinese World Congress on Intelligent Control and Automation, Beijing, China, pp.855-860.
76. LIU, K., and LEWIS, F.L., 1993. Some Issues About Fuzzy Logic Control. Proc. of the 32nd Conference on Decision and Control, Texas, pp.1743-1748.
77. LIU, K., and LEWIS, F.L., 1993. From Min-Max Robust Control to Fuzzy Logic Control. Proc. of the IEEE, the 3rd Int. Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems, Texas, pp.134-137.
78. LIU, K., and LEWIS, F.L., 1994. Adaptive Tuning of Fuzzy Logic Identifier For Unknown Non-Linear Systems. Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing, Vol.8, pp.573-586.

79. LIU, K., and LEWIS, F.L., 1995. Fuzzy Logic Approximation to Unknown Dynamic Systems Via Input-Output Measurement. Proc. of the American Control Conference, Seattle, Washington, pp.4243-4248.
80. LU, H. et al., 1992. Simulation of Programmable Logic Controller. Computers and Industrial Engineering, Vol.11, No.1, pp.351-354.
81. MATLAB, 1993. High Performance Numeric Computation and Visualization Software, External Interface Guide, The Math Works Inc.
82. MCDONALD, L.W., 1993. Today's PLC's-Cost Effective Solutions For Batch Processing, ICS/93, pp.437-447.
83. MCINTOSH, D., et al., 1993. System Development Methodology and Structured Software Design Paradigm for Programmable Logic Controllers, Proc. of the 3rd Annual Conf. of Ind. Computing Society, pp.449-466.
84. MENDEL, M.J., 1995. Fuzzy Logic Systems For Engineering: A Tutorial. Proc. of the IEEE, Vol.83, No.3, pp.345-375.
85. MIN, S.S., LEEN, K.C., 1992. A Fuzzy Current Controller For Field-Oriented Controlled Induction Machine By Fuzzy Logic. Proc. of the IEEE, pp.256-269.
86. MIR, S.A., and ZINGER, D.S., 1994. Fuzzy Controller For Inverter Fed Induction Machines. IEEE Transaction on Industry Applications, Vol.30, No.1, pp.74-84.
87. MOHAN, N., et al., 1995. Power Electronics Converters, Applications and Design. John Willey and Sons Inc., New York.
88. MONZOUL, M.A., et al., 1992. Fuzzy Controller on FPGA Chip. Proc. of IEEE Conference on Fuzzy Systems, pp.1309-1316.
89. MUNAKATA, T. and JANI, Y., 1994. Fuzzy Systems: An Overview. Communications of the ACM, Vol.37, No.3, pp.69-75.
90. NASAR, S.A., 1995. Electric Machines and Power Systems. Volume I, Electric Machines. University of Kentucky, McGraw-Hill Inc.
91. OGATA, K., 1970. Modern Control Engineering, Prentice Hall Int. Editions.
92. ÖZORBAYI, E., 1991. Programların Denetleyicilerin (PLC) Çalışma Sistemleri ve Tasarımı, Elektrik Mühendisliği IV. Ulusal Kongresi, ss.143-145.
93. ÖZDEMİR, E., 1997. Doğru Akım Motorunun Bulanık Mantık İle Denetimi Ve Hafif Metro Tahrik Sisteminde Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

94. PALM, R., 1992. Sliding Mode Fuzzy Control. IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, San Diego, pp.519-526.
95. PALM, R., and DRAINIKOV, D., 1994. Fuzzy Inputs. Fuzzy Sets and Systems, Elsevier Science, pp.315-335.
96. PALM, R., 1995. Scaling of Fuzzy Controllers Using The Cross-Correlation. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.3, No.1, pp.116-123.
97. PALM, R., 1994. Robust Control By Fuzzy Sliding Mode. Automatica, Pergamon, Vol.30, No.9, pp.1429-1437.
98. PAULA, H.M., 1993. Failure Rates For Programmable Logic Controllers. Reliability Engineering and System Safety, pp.325-328.
99. PAUL; J.A., et al., 1994. A Fuzzy Controller System For An Automated Mining Excavator. Proc. of The IEEE, pp.3284-3289.
100. RAM, B. and LAI, S.H., 1992. Development of A Program Generator For Programmable Logic Controllers. Computers and Industrial Engineering, Vol.23, No.1, pp.335-339.
101. RAVEN, F.H., 1995. Automatic Control Engineering, McGraw-Hill Int. Edition.
102. RICHTER, R., 1996. Comparative Study of PID and Fuzzy Logic Controllers For Autopilot Systems. MPhil/Ph.D. Project Research Seminar, Plymouth University.
103. RUSSO, F., and RAMPANI, G., 1994. Fuzzy Methods For Multisensor Data Fusion. IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol.43, No.2.
104. RYFF, P.F., 1996. Electric Machinery. Prentice Hall Inc.
105. SAYEED, G.E., et al., 1994. A High Performance Induction Motor Drive System Using Fuzzy Logic Controller. Proc. of The IEEE, pp.1058-1061.
106. SARAIVA, J.T., and MIRANDA, V., 1994. Evaluation of The Performance of A Fuzzy Optimal Power Flow Algorithm. Proc. of the IEEE, pp.897-900.
107. SARIOĞLU, K., 1983. Elektrik Makinalarının Temelleri, Asenkron Makinalar, İTÜ Elektrik Fakültesi, İstanbul.
108. SARIOĞLU, K., 1988. Otomatik Kontrol II. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul.
109. SARIOĞLU, K., 1995. Dijital Kontrol Sistemleri. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Sistem Yayıncılık, İstanbul.

110. SIMULINK, 1993. Dynamic System Simulation Software, User's Guide, The Math Works Inc.
111. SOUSA, G., and BOSE, B.K., 1995. Fuzzy Logic Based On-Line Efficiency Optimization Control of An Indirect Vector-Controlled Induction Motor Drive. IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.42, No.2, pp.192-198.
112. SIEMENS, 1993. Fuzzy Logic Application With SIMATIC S5, Siemens AG.
113. SIEMENS, 1996. Gas Analysis Engineering and Humidity Measurement Equipment and Systems. Catalog, PA.10.
114. SHEPHERD, W., et al., 1995. Power Electronics and Motor Control. Cambridge University.
115. TAN, J., and CHANG, Z., 1994. Linearity and A Tuning Procedure For Fuzzy Logic Controllers. Trans. of the ASAE, Vol.37(3), pp.973-979.
116. TERANO, T., and et al., 1995. Applied Fuzzy Systems. AP Professional Inc. New York, USA.
117. TSUKANO, K., et al., 1993. A Design of Current-Mode Analog Circuits for Fuzzy Inference Hardware Systems. Proc. of The IEEE, IS-CAS'93, pp.1385-1388.
118. TSUKANO, K., et al., 1995. Synthesis of Operational Transductance Amplifier-Based Analog Fuzzy Functional Blocks and Its Application. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.3, No.1, pp.61-67.
119. ÜLGÜR, M.M., 1988. Otomatik Kontrol Sistemleri I. İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul.
120. ÜSTÜNDAĞ, B., ve KURTULAN, S., 1993. Programlanabilir Kontrolörler İçin Bir Sentez Yöntemi. Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, ss.75-77.
121. ÜZAM, M., vd., 1993. Programlanabilir Lojik Denetleyicilerde Yaygın Olarak Kullanılan Giriş/Çıkış Arabirimleri. Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, ss.63-67.
122. WADE, S., et al., 1997. Modeling and Simulation of Induction Machine Vector Control With Rotor Resistance Identification. IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.12, No.3, pp.495-505.
123. WANG, B.H., et al., 1991. Fuzzy Logic Control: A Systematic Design Methodology. Proc. of The 30th IEEE Decision and Control, Brighton, England, pp.1219-1220.

124. WARWICK, K., 1989. Control Systems An Introduction in Systems and Control Engineering. Prentice Hall International Series.
125. WOODALL, W.H., et al., 1994. Comments on Editorial: Fuzzy Models - What Are They and Why? IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.2, No.1, pp.43-45.
126. XIANGCHU, T., and CHENGYUAN, T., 1988. A New Approach to Fuzzy Control. Elsevier Science, Fuzzy Logic in Knowledge Based Systems, pp.307-314.
127. XIONG, H., and GATLAND, H. B., 1995. A New Methodology for Designing a Fuzzy Logic Controller. IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 25, No. 3, pp.505-512.
128. YÜKSEL, H., 1987. Programlanabilir Kontrol Cihazları. 4. Ulusal Otomatik Kontrol Sempozyumu, ss.204-219.
129. YÜKSEL, İ., 1995. Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No.112, Bursa.
130. YAGER, R.R., et al., 1994. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. John Willey and Sons Inc. New York.

## MATLAB PROGRAM ÖRNEKLERİ

```
[System]
Name='FANI'
Type='mamdani'
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=49
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='CO'
Range=[0 220]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-36.67 0 36.67]
MF2='nm':trimf,[0 36.67 73.33]
MF3='ns':trimf,[36.67 73.33 110]
MF4='z':trimf,[73.33 110 146.7]
MF5='ps':trimf,[110 146.7 183.3]
MF6='pm':trimf,[146.7 183.3 220]
MF7='pb':trimf,[183.3 220 256.7]
```

```
[Input2]
Name='VI'
Range=[0 0.015]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-0.0025 0 0.0025]
MF2='nm':trimf,[0 0.0025 0.005]
MF3='ns':trimf,[0.0025 0.005 0.0075]
MF4='z':trimf,[0.005 0.0075 0.01]
MF5='ps':trimf,[0.0075 0.01 0.0125]
MF6='pm':trimf,[0.01 0.0125 0.015]
MF7='pb':trimf,[0.0125 0.015 0.0175]
```

```
[Output1]
Name='fansay'
Range=[0 22]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-3.667 0 3.667]
MF2='nm':trimf,[0 3.667 7.333]
MF3='ns':trimf,[3.667 7.333 11]
MF4='z':trimf,[7.333 11 14.67]
MF5='ps':trimf,[11 14.67 18.33]
MF6='pm':trimf,[14.67 18.33 22]
MF7='pb':trimf,[18.33 22 25.67]
```



1. If (CO is nb) and (VI is nb) then (fansay is nb) (1)
2. If (CO is nb) and (VI is nm) then (fansay is nb) (1)
3. If (CO is nb) and (VI is ns) then (fansay is nm) (1)
4. If (CO is nb) and (VI is z) then (fansay is pb) (1)
5. If (CO is nb) and (VI is ps) then (fansay is nb) (1)
6. If (CO is nb) and (VI is pm) then (fansay is nb) (1)
7. If (CO is nb) and (VI is pb) then (fansay is nb) (1)
8. If (CO is nm) and (VI is nb) then (fansay is nb) (1)
9. If (CO is nm) and (VI is nm) then (fansay is nm) (1)
10. If (CO is nm) and (VI is ns) then (fansay is nb) (1)
11. If (CO is nm) and (VI is z) then (fansay is nm) (1)
12. If (CO is nm) and (VI is ps) then (fansay is nm) (1)
13. If (CO is nm) and (VI is pm) then (fansay is nm) (1)
14. If (CO is nm) and (VI is pb) then (fansay is nm) (1)
15. If (CO is ns) and (VI is nb) then (fansay is nb) (1)
16. If (CO is ns) and (VI is nm) then (fansay is nm) (1)
17. If (CO is ns) and (VI is ns) then (fansay is nm) (1)
18. If (CO is ns) and (VI is z) then (fansay is nm) (1)
19. If (CO is ns) and (VI is ps) then (fansay is ns) (1)
20. If (CO is ns) and (VI is pm) then (fansay is ns) (1)
21. If (CO is ns) and (VI is pb) then (fansay is ns) (1)
22. If (CO is z) and (VI is nb) then (fansay is nm) (1)
23. If (CO is z) and (VI is nm) then (fansay is nm) (1)
24. If (CO is z) and (VI is ns) then (fansay is ns) (1)
25. If (CO is z) and (VI is z) then (fansay is ns) (1)
26. If (CO is z) and (VI is ps) then (fansay is ns) (1)
27. If (CO is z) and (VI is pm) then (fansay is z) (1)
28. If (CO is z) and (VI is pb) then (fansay is z) (1)
29. If (CO is ps) and (VI is nb) then (fansay is nm) (1)
30. If (CO is ps) and (VI is nm) then (fansay is nm) (1)
31. If (CO is ps) and (VI is ns) then (fansay is ns) (1)
32. If (CO is ps) and (VI is z) then (fansay is z) (1)
33. If (CO is ps) and (VI is ps) then (fansay is z) (1)
34. If (CO is ps) and (VI is pm) then (fansay is z) (1)
35. If (CO is ps) and (VI is pb) then (fansay is z) (1)
36. If (CO is pm) and (VI is nb) then (fansay is nm) (1)
37. If (CO is pm) and (VI is nm) then (fansay is nm) (1)
38. If (CO is pm) and (VI is ns) then (fansay is ns) (1)
39. If (CO is pm) and (VI is z) then (fansay is z) (1)
40. If (CO is pm) and (VI is ps) then (fansay is ps) (1)
41. If (CO is pm) and (VI is pm) then (fansay is ps) (1)
42. If (CO is pm) and (VI is pb) then (fansay is ps) (1)
43. If (CO is pb) and (VI is nb) then (fansay is nm) (1)
44. If (CO is pb) and (VI is nm) then (fansay is ns) (1)
45. If (CO is pb) and (VI is ns) then (fansay is ps) (1)
46. If (CO is pb) and (VI is z) then (fansay is ps) (1)
47. If (CO is pb) and (VI is ps) then (fansay is ps) (1)
48. If (CO is pb) and (VI is pm) then (fansay is ps) (1)
49. If (CO is pb) and (VI is pb) then (fansay is ps) (1)



```

function [ret,x0,str,ts,xts]=jetfuzz(t,x,u,flag);
%JETFUZZ is the M-file description of the SIMULINK system named JETFUZZ.
% The block-diagram can be displayed by typing: JETFUZZ.
%
% SYS=JETFUZZ(T,X,U,FLAG) returns depending on FLAG certain
% system values given time point, T, current state vector, X,
% and input vector, U.
% FLAG is used to indicate the type of output to be returned in SYS.
%
% Setting FLAG=1 causes JETFUZZ to return state derivatives, FLAG=2
% discrete states, FLAG=3 system outputs and FLAG=4 next sample
% time. For more information and other options see SFUNC.
%
% Calling JETFUZZ with a FLAG of zero:
% [SIZES]=JETFUZZ([],[],[],0), returns a vector, SIZES, which
% contains the sizes of the state vector and other parameters.
% SIZES(1) number of states
% SIZES(2) number of discrete states
% SIZES(3) number of outputs
% SIZES(4) number of inputs
% SIZES(5) number of roots (currently unsupported)
% SIZES(6) direct feedthrough flag
% SIZES(7) number of sample times
%
% For the definition of other parameters in SIZES, see SFUNC.
% See also, TRIM, LINMOD, LINSIM, EULER, RK23, RK45, ADAMS, GEAR.
% Note: This M-file is only used for saving graphical information;
% after the model is loaded into memory an internal model
% representation is used.
% the system will take on the name of this mfile:
sys = mfilename;
new_system(sys)
simver(1.3)
if (0 == (nargin + nargout))
    set_param(sys,'Location',[6,59,788,560])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'algorithm', 'RK-45')
set_param(sys,'Start time', '0.0')
set_param(sys,'Stop time', '0.01')
set_param(sys,'Min step size', '0.0001')
set_param(sys,'Max step size', '10')
set_param(sys,'Relative error','1e-3')
set_param(sys,'Return vars', '')
set_param(sys,'Load callback',['fan1=readfis("fan1");']);
add_block('built-in/Constant',[sys,/, 'VI sensor'])
set_param([sys,/, 'VI sensor'],...
    'Value','14e-3',...
    'position',[125,235,160,255])

```

```

function [ret,x0,str,ts,xts]=jetpid(t,x,u,flag);
%JETPID      is the M-file description of the SIMULINK system named JETPID.
%      The block-diagram can be displayed by typing: JETPID.
%
%      SYS=JETPID(T,X,U,FLAG) returns depending on FLAG certain
%      system values given time point, T, current state vector, X,
%      and input vector, U.
%      FLAG is used to indicate the type of output to be returned in SYS.
%
%      Setting FLAG=1 causes JETPID to return state derivatives, FLAG=2
%      discrete states, FLAG=3 system outputs and FLAG=4 next sample
%      time. For more information and other options see SFUNC.
%
%      Calling JETPID with a FLAG of zero:
%      [SIZES]=JETPID([],[],[],0), returns a vector, SIZES, which
%      contains the sizes of the state vector and other parameters.
%          SIZES(1) number of states
%          SIZES(2) number of discrete states
%          SIZES(3) number of outputs
%          SIZES(4) number of inputs
%          SIZES(5) number of roots (currently unsupported)
%          SIZES(6) direct feedthrough flag
%          SIZES(7) number of sample times
%
%      For the definition of other parameters in SIZES, see SFUNC.
%      See also, TRIM, LINMOD, LINSIM, EULER, RK23, RK45, ADAMS, GEAR.
% Note: This M-file is only used for saving graphical information;
%      after the model is loaded into memory an internal model
%      representation is used.

% the system will take on the name of this mfile:
sys = mfilename;
new_system(sys)
simver(1.3)
if (0 == (nargin + nargout))
    set_param(sys,'Location',[4,40,796,568])
    open_system(sys)
end;
set_param(sys,'algorithm', 'RK-45')
set_param(sys,'Start time', '0.0')
set_param(sys,'Stop time', '6')
set_param(sys,'Min step size', '0.0001')
set_param(sys,'Max step size', '10')
set_param(sys,'Relative error','1e-3')
set_param(sys,'Return vars', '')

add_block('built-in/Sum',[sys,/, 'Sum2'])
set_param([sys,/, 'Sum2'],...
    'position',[425,226,455,259])

```

```
[System]
Name='ase'
Type='mamdani'
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=49
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='e'
Range=[-157.1 157.1]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-209.5 -157.1 -104.7]
MF2='nm':trimf,[-157.1 -104.7 -52.37]
MF3='ns':trimf,[-104.7 -52.37 7.105e-015]
MF4='z':trimf,[-52.37 4.441e-016 52.37]
MF5='ps':trimf,[7.105e-015 52.37 104.7]
MF6='pm':trimf,[52.37 104.7 157.1]
MF7='pb':trimf,[104.7 157.1 209.5]
```

```
[Input2]
Name='de'
Range=[-6 6]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-8 -6 -4]
MF2='nm':trimf,[-6 -4 -2]
MF3='ns':trimf,[-4 -2 0]
MF4='z':trimf,[-2 0 2]
MF5='ps':trimf,[0 2 4]
MF6='pm':trimf,[2 4 6]
MF7='pb':trimf,[4 6 8]
```

```
[Output1]
Name='f'
Range=[4 96]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-11.33 4 19.33]
MF2='nm':trimf,[4 19.33 34.67]
MF3='ns':trimf,[19.33 34.67 50]
MF4='z':trimf,[34.67 50 65.33]
MF5='ps':trimf,[50 65.33 80.67]
MF6='pm':trimf,[65.33 80.67 96]
MF7='pb':trimf,[80.67 96 111.3]
```

1. If (e is pb) and (de is pb) then (f is nb) (1)
2. If (e is pb) and (de is pm) then (f is nb) (1)
3. If (e is pb) and (de is ps) then (f is nb) (1)
4. If (e is pb) and (de is z) then (f is nb) (1)
5. If (e is pb) and (de is ns) then (f is nm) (1)
6. If (e is pb) and (de is nm) then (f is ns) (1)
7. If (e is pb) and (de is nb) then (f is z) (1)
8. If (e is pm) and (de is pb) then (f is nm) (1)
9. If (e is pm) and (de is pm) then (f is nm) (1)
10. If (e is pm) and (de is ps) then (f is nm) (1)
11. If (e is pm) and (de is z) then (f is ns) (1)
12. If (e is pm) and (de is ps) then (f is ns) (1)
13. If (e is pm) and (de is nm) then (f is z) (1)
14. If (e is pm) and (de is nb) then (f is z) (1)
15. If (e is ps) and (de is pb) then (f is nm) (1)
16. If (e is ps) and (de is pm) then (f is nb) (1)
17. If (e is ps) and (de is ps) then (f is z) (1)
18. If (e is ps) and (de is z) then (f is z) (1)
19. If (e is ps) and (de is ns) then (f is z) (1)
20. If (e is ps) and (de is nm) then (f is ps) (1)
21. If (e is ps) and (de is nb) then (f is pb) (1)
22. If (e is z) and (de is pb) then (f is z) (1)
23. If (e is z) and (de is pm) then (f is z) (1)
24. If (e is z) and (de is ps) then (f is z) (1)
25. If (e is z) and (de is z) then (f is z) (1)
26. If (e is z) and (de is ns) then (f is z) (1)
27. If (e is z) and (de is nm) then (f is z) (1)
28. If (e is z) and (de is nb) then (f is z) (1)
29. If (e is ns) and (de is pb) then (f is ns) (1)
30. If (e is ns) and (de is pm) then (f is ns) (1)
31. If (e is ns) and (de is ps) then (f is z) (1)
32. If (e is ns) and (de is z) then (f is nm) (1)
33. If (e is ns) and (de is ns) then (f is nm) (1)
34. If (e is ns) and (de is nm) then (f is nm) (1)
35. If (e is ns) and (de is nb) then (f is nb) (1)
36. If (e is nm) and (de is pb) then (f is z) (1)
37. If (e is nm) and (de is pm) then (f is ns) (1)
38. If (e is nm) and (de is ps) then (f is ns) (1)
39. If (e is nm) and (de is z) then (f is ns) (1)
40. If (e is nm) and (de is ns) then (f is nm) (1)
41. If (e is nm) and (de is nm) then (f is nm) (1)
42. If (e is nm) and (de is nb) then (f is nm) (1)
43. If (e is nb) and (de is pb) then (f is nb) (1)
44. If (e is nb) and (de is pm) then (f is z) (1)
45. If (e is nb) and (de is ps) then (f is ns) (1)
46. If (e is nb) and (de is z) then (f is ns) (1)
47. If (e is nb) and (de is ns) then (f is ns) (1)
48. If (e is nb) and (de is nm) then (f is nm) (1)
49. If (e is nb) and (de is nb) then (f is nm) (1)

```
[System]
Name='yuk'
Type='mamdani'
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=49
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='e'
Range=[-157.1 157.1]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-209.5 -157.1 -104.7]
MF2='nm':trimf,[-157.1 -104.7 -52.37]
MF3='ns':trimf,[-104.7 -52.37 7.105e-015]
MF4='z':trimf,[-52.37 4.441e-016 52.37]
MF5='ps':trimf,[7.105e-015 52.37 104.7]
MF6='pm':trimf,[52.37 104.7 157.1]
MF7='pb':trimf,[104.7 157.1 209.5]
```

```
[Input2]
Name='de'
Range=[-6 6]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[-8 -6 -4]
MF2='nm':trimf,[-6 -4 -2]
MF3='ns':trimf,[-4 -2 0]
MF4='z':trimf,[-2 0 2]
MF5='ps':trimf,[0 2 4]
MF6='pm':trimf,[2 4 6]
MF7='pb':trimf,[4 6 8]
```

```
[Output1]
Name='f'
Range=[44 63.5]
NumMFs=7
MF1='nb':trimf,[40.75 44 47.25]
MF2='nm':trimf,[44 47.25 50.5]
MF3='ns':trimf,[47.25 50.5 53.75]
MF4='z':trimf,[50.5 53.75 57]
MF5='ps':trimf,[53.75 57 60.25]
MF6='pm':trimf,[57 60.25 63.5]
MF7='pb':trimf,[60.25 63.5 66.75]
```

## EK-3A

1. If (e is pb) and (de is pb) then (f is pb) (1)
2. If (e is pb) and (de is pm) then (f is pb) (1)
3. If (e is pb) and (de is ps) then (f is pb) (1)
4. If (e is pb) and (de is z) then (f is pb) (1)
5. If (e is pb) and (de is ns) then (f is z) (1)
6. If (e is pb) and (de is nm) then (f is z) (1)
7. If (e is pb) and (de is nb) then (f is z) (1)
8. If (e is pm) and (de is pb) then (f is pb) (1)
9. If (e is pm) and (de is pm) then (f is pb) (1)
10. If (e is pm) and (de is ps) then (f is pb) (1)
11. If (e is pm) and (de is z) then (f is pm) (1)
12. If (e is pm) and (de is ps) then (f is z) (1)
13. If (e is pm) and (de is nm) then (f is z) (1)
14. If (e is pm) and (de is nb) then (f is z) (1)
15. If (e is ps) and (de is pb) then (f is pb) (1)
16. If (e is ps) and (de is pm) then (f is pb) (1)
17. If (e is ps) and (de is ps) then (f is pm) (1)
18. If (e is ps) and (de is z) then (f is ps) (1)
19. If (e is ps) and (de is ns) then (f is z) (1)
20. If (e is ps) and (de is nm) then (f is z) (1)
21. If (e is ps) and (de is nb) then (f is z) (1)
22. If (e is z) and (de is pb) then (f is pb) (1)
23. If (e is z) and (de is pm) then (f is pm) (1)
24. If (e is z) and (de is ps) then (f is ps) (1)
25. If (e is z) and (de is z) then (f is z) (1)
26. If (e is z) and (de is ns) then (f is ns) (1)
27. If (e is z) and (de is nm) then (f is nm) (1)
28. If (e is z) and (de is nb) then (f is nb) (1)
29. If (e is ns) and (de is pb) then (f is z) (1)
30. If (e is ns) and (de is pm) then (f is z) (1)
31. If (e is ns) and (de is ps) then (f is z) (1)
32. If (e is ns) and (de is z) then (f is ns) (1)
33. If (e is ns) and (de is ns) then (f is nm) (1)
34. If (e is ns) and (de is nm) then (f is nb) (1)
35. If (e is ns) and (de is nb) then (f is nb) (1)
36. If (e is nm) and (de is pb) then (f is z) (1)
37. If (e is nm) and (de is pm) then (f is z) (1)
38. If (e is nm) and (de is ps) then (f is z) (1)
39. If (e is nm) and (de is z) then (f is nm) (1)
40. If (e is nm) and (de is ns) then (f is nb) (1)
41. If (e is nm) and (de is nm) then (f is nb) (1)
42. If (e is nm) and (de is nb) then (f is nb) (1)
43. If (e is nb) and (de is pb) then (f is z) (1)
44. If (e is nb) and (de is pm) then (f is z) (1)
45. If (e is nb) and (de is ps) then (f is z) (1)
46. If (e is nb) and (de is z) then (f is nb) (1)
47. If (e is nb) and (de is ns) then (f is nb) (1)
48. If (e is nb) and (de is nm) then (f is nb) (1)
49. If (e is nb) and (de is pb) then (f is nb) (1)

EC. YÜKSEK YERLİK HUKUKİ  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

## ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Manisa'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Manisa'da tamamladı. 1982 yılında Manisa Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümüne girdi. 1983 yılında Manisa Teknik Lisesi Elektrik Bölümüne geçti ve 1986 yılında mezun oldu. 1987 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünden 1991 yılında Elektrik Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. 1991-1994 yılları arasında, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Öğrenimini tamamladı. 1991-1993 yılları arasında Kocaeli Körfez Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde Meslek Dersleri Öğretmeni olarak çalıştı. 1993 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Enerji Tesisleri Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak girdi. 1995 yılında Öğretim Görevlisi oldu. Halen Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.