

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞARET İŞLEME VE YAPAY ZEKA TABANLI  
ARIZA DAYANIMLI DENETLEYİCİ TASARIMI**

**DOKTORA TEZİ**

**Seda POSTALCIOĞLU**

**Anabilim Dalı: Elektrik Eğitimi  
Danışman: Prof. Dr. Kadir ERKAN**

**KOCAELİ, 2007**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞARET İŞLEME VE YAPAY ZEKA TABANLI  
ARIZA DAYANIMLI DENETLEYİCİ TASARIMI**

**DOKTORA TEZİ**  
**Seda POSTALCIOĞLU**

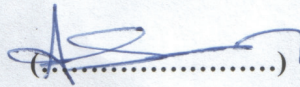
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:11 Mayıs 2007**

**Tezin Savunulduğu Tarih :8 Haziran 2007**

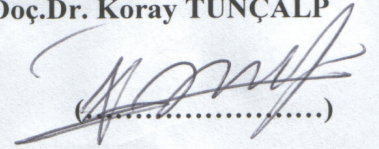
**Tez Danışmanı**  
**Prof. Dr. Kadir ERKAN**

  
(.....)

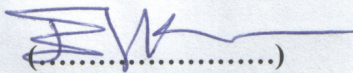
**Üye**  
**Doç. Dr. Fevzi BABA**

  
(.....)

**Üye**  
**Doç.Dr. Koray TUNÇALP**

  
(.....)

**Üye**  
**Yrd. Doç. Dr. Ercüment KARAKAŞ**

  
(.....)

**Üye**  
**Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM**

  
(.....)

**KOCAELİ, 2007**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Sistemde oluşabilecek arızalar, endüstriyel sistemlerde verimi büyük oranda etkilemektedir. Sürekli çalışması gereken sistemlerde arıza sonucu oluşan malzeme, iş gücü ve ekonomik kayıplar ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Geniş ölçekli sistemlerde arıza oluşması durumunda güvenlik dahilinde başarımlı sağlayabilmek önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarım yapısı benzetim ve deneysel çalışmalar ile test edilmiş ve oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.

Doktora tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, araştırma safhasında yardımlarını esirgemeyen, fikirleri ile sürekli desteğini gördüğüm danışmanım sayın Prof. Dr. Kadir ERKAN'a, tez izleme komitesinde bulunan sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ercüment KARAKAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Emine DOĞRU BOLAT ve Yaşar BOLAT'a, sabırla çalışmalarımı destekleyen anne, baba ve kardeşime teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	viii
SEMBOLLER .....	ix
ÖZET .....	xi
İNGİLİZCE ÖZET .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. ARIZA DAYANIMLI DENETİM .....	4
2.1. Arıza Dayanımlı Denetim Çeşitleri .....	8
2.1.1. Pasif arıza dayanımlı denetim .....	9
2.1.2. Aktif arıza dayanımlı denetim .....	9
2.2. Aktif ve Pasif Arıza Dayanımlı Denetimin Karşılaştırılması .....	11
2.3. Arıza Dayanımlı Denetim Sisteminin Önemi .....	11
2.4. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	12
3. ARIZA TESPİT VE TANILAMA .....	14
3.1. Arızaların Sınıflandırılması .....	17
3.1.1. Oluştığı yere göre arızaların sınıflandırılması .....	17
3.1.2. Zaman karakteristiğine göre arızaların sınıflandırılması .....	19
3.2. Arıza Tespit ve Tanılama Yöntemleri .....	20
3.2.1. Model tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi .....	20
3.2.2. Yapay zeka modelleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi .....	21
3.2.3. İşaret işleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi .....	22
3.2.4. Bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi .....	23
3.3. Arıza Tespit ve Tanılama Yönteminden Beklenenler .....	24
4. ARIZA DAYANIMLI DENETLEYİCİ TASARIMI .....	26
4.1. İşaret İşleme Modülü .....	31
4.2. Özellik Çıkartım Modülü .....	36
4.3. Sınıflandırma Modülü .....	37
4.4. Bulanık Mantık Denetleyici .....	39
4.5. Anahtarlamalı Denetim .....	43
5. ARIZA DAYANIMLI BENZETİM ÇALIŞMALARı VE SONUÇLARI .....	45
5.1. Tank Sistemi Tanımı .....	45
5.1.1. Arıza dayanımlı tank sistemi denetimi benzetim sonuçları .....	47
5.2. Sıcaklık Sistemi Tanımı .....	67
5.2.1. Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetimi benzetim sonuçları .....	68
6. ARIZA DAYANIMLI GERÇEKLEME ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI .....	84
6.1. Deney Setinin Tanımı .....	84
6.1.2. Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi deney sonuçları .....	87
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	97
KAYNAKLAR .....	100
EKLER .....	105

KİŞİSEL YAYINLAR.....	136
ÖZGEÇMİŞ .....	137

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Arıza dayanımlı denetim şeması.....	5
Şekil 2.2: Arıza dayanımlı denetim tasarımı için gerekli basamaklar .....	5
Şekil 2.3: Arıza dayanımlı denetim sisteminin genel yapısı.....	8
Şekil 2.4: Aktif arıza dayanımlı denetimin çalışma mantığı.....	10
Şekil 3.1: Yedeklik yönteminin yapısı .....	14
Şekil 3.2: Klasik denetim yapısı .....	15
Şekil 3.3: ATT'nin yapısı.....	15
Şekil 3.4: Algılayıcı ve eyleyici arızaları ile birlikte kapalı döngü bir sistem.....	18
Şekil 3.5: Algılayıcı arızası .....	19
Şekil 3.6: Zaman karakteristiklerine göre arızaların sınıflandırılması.....	20
Şekil 3.7: Rezidü üreteç .....	21
Şekil 3.8: Yapay sinir ağ modeli ile gerçekleştirilmiş ATT yapısı .....	22
Şekil 3.9: İşaret işleme tabanlı ATT yapısı.....	22
Şekil 3.10: Bilgi tabanlı ATT yapısı .....	23
Şekil 4.1: Arıza dayanımlı denetleyicinin yapısı .....	26
Şekil 4.2: Yapay zeka tabanlı ATT yapısı .....	28
Şekil 4.3: Yapay zeka ve işaret işleme tabanlı ATT yapısı.....	29
Şekil 4.4: İşaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici yapısı.....	30
Şekil 4.5: Filtre Ağacı .....	33
Şekil 4.6: db8 dalgacığı.....	34
Şekil 4.7: db6 dalgacığı.....	34
Şekil 4.8: db8 dalgacık filtre katsayıları .....	35
Şekil 4.9: db6 dalgacık filtre katsayıları .....	35
Şekil 4.10: İşaretin pencerelemesi.....	36
Şekil 4.11: Bulanık mantık denetleyicinin genel yapısı.....	40
Şekil 4.12: Mamdani bulanık çıkartım sistemi ve min-max kullanımı.....	42
Şekil 4.13: iki girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları. ....	42
Şekil 4.14: Anahtarlama sistemin genel yapısı .....	43
Şekil 5.1: Tank Sistemi .....	45
Şekil 5.2: BMD ile seviye denetimi .....	47
Şekil 5.3: Tank sistemi için Bulanık Mantık denetleyici yapısı.....	47
Şekil 5.4: Kural tablosunun üç boyutlu görünümü .....	48
Şekil 5.5: Hata (e), hata değişimi (de) ve çıkış'ın üyelik fonksiyonlarının grafiğı....	49
Şekil 5.6: 1 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi .....	50
Şekil 5.7: 1 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	50
Şekil 5.8: 2 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi .....	51
Şekil 5.9: 2 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	51
Şekil 5.10: 3 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi .....	52

Şekil 5.11: 3 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	52
Şekil 5.12: 4 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi.....	53
Şekil 5.13: 4 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	53
Şekil 5.14: 5 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi.....	54
Şekil 5.15: 5 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	54
Şekil 5.16: 6 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi.....	55
Şekil 5.17: 6 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	55
Şekil 5.18: 7 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi.....	56
Şekil 5.19: 7 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi.....	56
Şekil 5.20: ATT yönteminin tank sistemine uygulama yapısı.....	57
Şekil 5.21: Tank sisteminde özellik vektörü için pencereleyen işaret.....	58
Şekil 5.22: Tank sisteminin her bir arıza durumu için detay katsayıları.....	59
Şekil 5.23: Tank sisteminin her bir arıza durumu için yaklaşım katsayıları.....	59
Şekil 5.24: Tank sistemi için algılayıcı arızalarının özellik vektörleri.....	60
Şekil 5.25: Özellik vektörlerinin sınıflandırılması.....	60
Şekil 5.26: Tank sistemi için arıza dayanımlı denetim.....	61
Şekil 5.27: BMD2 için üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	62
Şekil 5.28: BMD3 için üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	62
Şekil 5.29: BMD4 için üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	63
Şekil 5.30: Arıza dayanımlı denetim ile 1 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi....	63
Şekil 5.31: Arıza dayanımlı denetim ile 1 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi.....	64
Şekil 5.32: Arıza dayanımlı denetim ile 3 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi....	64
Şekil 5.33: Arıza dayanımlı denetim ile 3 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi.....	65
Şekil 5.34: Arıza dayanımlı denetim ile 7 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi....	65
Şekil 5.35: Arıza dayanımlı denetim ile 7 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi.....	66
Şekil 5.36: a)Ziegler-Nichols basamak cevabı yönteminde kullanılan sistem 7çıkışı parametrelerinin bulunması. b) $\tau$ ve $T$ 'nin belirlenmesi için kullanılan alan yöntemi. .	67
Şekil 5.37: Sıcaklık sisteminin BMD ile denetimi.....	69
Şekil 5.38: Sıcaklık sistemi için BMD yapısı.....	69
Şekil 5.39: BMD'nin üç boyutlu görünümü.....	70
Şekil 5.40: Hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonlarının grafiği..	70
Şekil 5.41: 1 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri.....	71
Şekil 5.42: 2 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri.....	72
Şekil 5.43: 3 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri.....	72
Şekil 5.44: 4 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri.....	73
Şekil 5.45: 5 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş	

değerleri .....	73
Şekil 5.46: Her bir arıza için pencerelemiş işaret .....	74
Şekil 5.47: Sıcaklık sistemi için her arızanın detay katsayıları.....	75
Şekil 5.48: Sıcaklık sistemi için her arızanın yaklaşım katsayıları.....	75
Şekil 5.49: Algılayıcı arızalarının özellik vektörleri.....	76
Şekil 5.50: Sıcaklık sistemi için arızaların sınıflandırılması.....	77
Şekil 5.51: Sıcaklık sistemi için arıza dayanımlı denetim sistem modeli.....	77
Şekil 5.52: 1 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	78
Şekil 5.53: 2 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	79
Şekil 5.54: 3 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	79
Şekil 5.55: 5 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği.....	80
Şekil 5.56: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 1 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	80
Şekil 5.57: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	81
Şekil 5.58: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri.....	81
Şekil 5.59: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 4 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	82
Şekil 5.60: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	82
Şekil 6.1: Fırın.....	84
Şekil 6.2: PIC tabanlı denetleyici kartı .....	86
Şekil 6.3: Deneysel çalışma için hazırlanan düzenek .....	87
Şekil 6.4: 1 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi .....	88
Şekil 6.5: 2 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi .....	88
Şekil 6.6: 3 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi .....	89
Şekil 6.7: 4 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi .....	89
Şekil 6.8: 5 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi .....	90
Şekil 6.9: Sıcaklık sisteminin gerçekleşmesinde tüm arızalar için pencerelemiş işaretler.....	91
Şekil 6.10: Deney seti için arızaların detay katsayıları .....	91
Şekil 6.11: Deney seti için arızaların yaklaşım katsayıları .....	92
Şekil 6.12: Algılayıcı arızalarının özellik vektörleri.....	92
Şekil 6.13: Özellik vektörlerinin sınıflandırılması.....	93
Şekil 6.14: Deney seti için arıza dayanımlı denetim yapısı .....	93
Şekil 6.15: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 1 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	94
Şekil 6.16: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	94
Şekil 6.17: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	95
Şekil 6.18: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 4 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	95
Şekil 6.19: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen	



sıcaklık ve kontrol girişi değerleri .....	96
Şekil A.1 Tank 1 MatLab-Simulink modeli.....	105
Şekil A.2 Tank 2 MatLab-Simulink modeli.....	106
Şekil A.3 Tank 3 MatLab-Simulink modeli.....	107
Şekil A.4 BMD kullanılarak gerçekleştirilen üçlü tank sisteminin MatLab-Simulink modeli.....	108
Şekil A.5 Tank sisteminin arıza dayanımlı denetim MatLab-Simulink modeli.....	109
Şekil A.6 Fırının MatLab-Simulink modeli.....	110
Şekil A.7 Fırının matematiksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olan arıza dayanımlı denetimin MatLab-Simulink modeli.....	110
Şekil A.8 Deney seti için nominal denetleyici etkilerinin incelendiği MatLab-Simulink modeli.....	111
Şekil A.9 Deney seti için hazırlanmış arıza dayanımlı denetim sisteminin MatLab-Simulink modeli.....	112
Şekil A.10 Tank 2 algılayıcısı için toplamsal arıza.....	113
Şekil A.11 Tank 3 algılayıcısı için çarpımsal arıza.....	113
Şekil A.12 Tank 2 algılayıcı arızası için çarpımsal arıza.....	113
Şekil A.13 Tank 1 algılayıcısı için çarpımsal arıza.....	114
Şekil A.14 Tank 3 algılayıcısı için toplamsal arıza.....	114
Şekil A.15 Tank 1 algılayıcısı için tıkama arızası.....	114
Şekil A.16 Tank 2 algılayıcısı için toplamsal arıza.....	115
Şekil A.17 Toplamsal arıza.....	115
Şekil A.18 Çarpımsal arıza.....	115
Şekil A.19 Toplamsal arıza.....	116
Şekil A.20 Bozucu tipinde arıza.....	116
Şekil A.21 Çarpımsal arıza.....	116

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: Aktif ve pasif arıza dayanımlı denetimin özellikleri ve sınırları .....	11
Tablo 5.1: BMD kural tablosu .....	48
Tablo 5.2: Uygulanan arızalar .....	49
Tablo 5.3: Nominal denetleyicin tank sisteminde oluşan arızalar karşısındaki karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hatası değerleri.....	57
Tablo 5.4: Arıza dayanımlı tank sistemi denetimin arızalara göstermiş olduğu karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hata değerleri .....	66
Tablo 5.5: Kural Tablosu .....	69
Tablo 5.6: Arıza durumları ve numaraları.....	71
Tablo 5.7: Nominal denetleyicinin arızalar karşısındaki kalıcı hal hatası, aşım oranı ve karesel hatalar toplamı değerleri .....	74
Tablo 5.8: Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetiminin arızalara göstermiş olduğu kalıcı hal hatası, aşım oranı ve karesel hatalar toplamı değerleri .....	83
Tablo 6.1: Fırının Birimleri.....	85
Tablo 6.2: Arıza durumlarına göre nominal denetleyici için karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hataları ve aşım değerleri .....	90
Tablo 6.3: Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetiminin uygulama sonuçları için kalıcı hal hataları, aşım oranları, karesel hatalar toplamı değerleri .....	96

## SEMBOLLER

$a_{s0}$	Yaklaşım katsayıları
D	Denetleyici
$d_j$	Euclidean uzaklık
$d_{sn}$	Detay katsayıları
f	Arıza
$f^e$	Eyleyici arızası
$f^a$	Algılayıcı arızası
$f_i(t)$	Toplamsal algılayıcı arıza değeri
$f_c(t)$	Çarpımsal algılayıcı arıza değeri
$h_0$	Alçak geçiren filtre
$h_1$	Yüksek geçiren filtre
$H_i$	Tank i deki sıvı seviyesi (i=1,2,3 m)
N	İşaretin uzunluğunu
$R_i$	Valf i'nin akış direnci i=1,2,3 ( $\text{kg/m}^5$ )
$R_{ij}$	Tank i ve Tank j arasındaki akış direnci
$r_1$	Varyansın değişim oranı
$r_2$	Değişim oranının en fazla yada en az mutlak değeri
r	Rezidü
S	Yönlendirmeli denetim algoritması
S1	Tank 1 alanı
S2	Tank 2 alanı
S3	Tank 3 alanı
T1	Tank 1
T2	Tank 2
T3	Tank 3
$y_r(t)$	Algılayıcı arızası sonucu oluşan bozulmuş işaret
$y(t)$	Sistem çıkışı
$\psi$	Dalgacık fonksiyonu
$\phi$	Ölçkleme fonksiyonu
$\rho$	Sıvı yoğunluğu
$Q_{in,i}$	Pompa i den sıvının akış oranı (i=1,3 $\text{m}^3/\text{sn}$ )
$Q_{i,0}$	Tank i den sıvının akış oranı (i=1,2,3 $\text{m}^3/\text{sn}$ )
$Q_{i,j}$	Tank i ve Tank j arasında sıvının akış oranı
$w_j$	Ağırlık vektörü
$\eta(t)$	Öğrenme oranı
$z_{COA}$	Ağırlık merkezi yöntemi

### Kısaltmalar

ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
AC	Adaptive Control
AADD	Aktif arıza dayanımlı denetim

ATT	Arıza tespit ve tanılama
AGF-Y	Alçak geçiren filtre yeniden oluşum katsayıları
AGF-A	Alçak geçiren filtre ayrıştırma katsayıları
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
EsA	Eigenstructure Assignment
GP	Geçmiş pencere
MM	Multiple Model
MF	Model Following
MPC	Model Predictive Control
öv	Özellik vektörü
PADD	Pasif Arıza Dayanımlı Denetim
PIM	Pseudo Inverse Method
SC	Switch Control
SP	Şimdiki pencere
YSA	Yapay Sinir Ağı
YZ	Yapay Zeka
YGF-Y	Yüksek geçiren filtre yeniden oluşum katsayıları
YGF-A	Yüksek geçiren filtre ayrıştırma katsayıları

# İŞARET İŞLEME VE YAPAY ZEKA TABANLI ARIZA DAYANIMLI DENETLEYİCİ TASARIMI

Seda POSTALCIOĞLU

**Anahtar Kelimeler:** Arıza tespit ve tanılama, arıza dayanımlı denetim, dalgacık analizi, yapay sinir ağı, bulanık mantık denetleyici, anahtarlamalı denetim.

**Özet:** Bu tezde, işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Denetim sistemlerinde ortaya çıkan arızalar istenilmeyen durumlara neden olur. Bu nedenle denetim sistemleri için sistem kararlılığını sağlayabilme ve kabul edilebilir denetim başarımı önemli bir problemdir. İşaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyicinin testi için benzetim ve uygulama çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışması olarak üçlü tank sistemi ve sıcaklık sistemi kullanılmıştır. Gerçekleme çalışması da sıcaklık sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. MatLab-Simulink programı tarafından gerçek zamanlı olarak fırının denetlenmesi PIC18F4585 tabanlı kart ile sağlanmıştır. Sıcaklık sistemi ve tank sisteminin denetimi için Bulanık Mantık denetleyici kullanılmıştır. Üçlü tank sistemi ve sıcaklık sistemi üzerinde oluşabilecek algılayıcı arıza türleri incelenmiştir. Arıza dayanımlı denetleyici tasarımı üç basamaktan oluşmaktadır. İlk basamak, algılayıcı, eyleyici, sistem ve denetleyici içeren klasik denetim döngüsüdür. İkinci basamak arıza tespit ve tanılama birimidir. Bu basamakta sistemde arıza olup olmadığı incelenir. İşaret işleme ve yapay zeka yöntemleri arıza tespit ve tanılama için birleştirilmiştir. Arıza tespit ve tanılama birimi, işaret işleme, özellik çıkartım ve sınıflandırma modüllerini içermektedir. İşaret işleme için Ayrık Dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Özellik çıkartım için istatistiksel hesaplamalardan faydalanılmıştır. Sınıflandırma için SOM yapay sinir ağı kullanılmıştır ve bilgi tabanı için örüntü tablosu oluşturulmuştur. Son basamak yönlendirmeli denetimdir. Bu basamakta, sistemde arıza olması durumunda denetleyici kütüphanesinden arızaya uygun denetleyicinin seçimi sağlanarak anahtarlamalı denetim gerçekleştirilir. Sistemde belirli bir arıza oluştuğunda, sistemin kapalı döngü başarımını sürdürmek amacıyla çevrim içi olarak arızaya uygun denetleyici seçilir.

Yapılan benzetim ve gerçekleme çalışmaları sonunda, işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyicinin sistemi kararlı durumda tutarak ve başarımını koruyarak çalışmasına devam etmesini sağladığı görülmüştür.

# DESIGN OF SIGNAL PROCESSING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED FAULT TOLERANCE CONTROLLER

Seda POSTALCIOĞLU

**Keywords:** Fault detection and identification, fault tolerance control, wavelet analysis, neural network, fuzzy logic controller, switch mode control.

**Abstract:** In this thesis, design of signal processing and artificial intelligence based fault tolerance controller are realized. Faults often cause undesired reactions in the system, so to provide the system stable and acceptable control performance is an important problem for control system design. Simulation and experimental studies have been done for testing the signal processing and artificial intelligence based fault tolerance controller. As simulation studies three tank system and temperature system have been used. For the experimental study, temperature system has been used by PIC18F4585 based card which is communicated with MatLab-Simulink program for real time control of the oven. Fuzzy Logic controller has been used for controlling both three tank and temperature systems. In this thesis, sensor fault types have been examined on three tank system and temperature system. Design of fault tolerance controller has three stages. First stage is classic control loop consisting of sensor, actuator, system and controller. Second stage is fault detection and identification unit. In this stage, system is examined whether there is a fault or not. Signal processing and artificial intelligence methods have been combined for fault detection and identification. Fault detection and identification unit includes signal processing module, feature extraction module and classification module. For signal processing module, Discrete Wavelet analysis has been used. Feature extraction is done using statistical calculation. SOM neural network has been used for classification and pattern table has been constructed for knowledge based. The last stage is supervisor control. In this stage, if there is a fault in the system, suitable controller is selected from the controller library and switch mode control is realized. When a particular fault occurs in the system, a suitable controller has been selected online to maintain the closed-loop performance of the system.

Simulation and experimental studies show that signal processing and artificial intelligence based fault tolerance controller keep the system stable and continue to work with acceptable control performance.

## 1. GİRİŞ

Endüstriyel sistemlerde oluşabilecek arızaların belirlenmesi sürecin güvenilir ve ekonomik işletimi için son derece önemlidir. Geniş ölçekli sistemlerde güvenlik dahilinde başarımı sağlayabilme arıza ile nasıl baş edeceğimiz sorusunu getirir. Arıza, eyleyicinin tıkanması, süreç yeteneğinin, veri haberleşme yollarının ve algılayıcı işaretinin kaybolması veya sistem bileşenlerinin mekanik arızaları gibi senaryoları içerebilir. Bu senaryolara örnek olarak endüstriyel süreçte ortaya çıkan bir durum gösterilebilir. Bira pastörize işleminde taşıyıcı bandın hızı kesilmiştir. Biraları pastörize sıcaklığına getiren suyun sıcaklığı bant üzerinden geçen sayıya bağlı olarak ayarlanmaktadır. Bant hızının kesilmesi sıcaklığın düşmesine neden olacaktır. Sonuç olarak arıza fark edilene kadar 65000 bira yanlış işlem görmüştür [1]. Bu durumda süreci ekonomik olarak büyük bir kayıba sürüklemiştir. Bir başka örnek ise insan hayatıyla ilgili bir durumdur. 10 ocak 2000 tarihinde, Saab 340B yolcu uçağı normalde Zurih-Kloten 'den Dresden'e doğru havalanacaktır. Havalanmasından kısa bir süre sonra sağ kanatçıktaki bir arızadan dolayı uçak iniş olayını gerçekleştirmiş ancak yere indikten sonra uçağın bir süre gitmesi durumundan dolayı pistde mesafe hızlı bir şekilde azalmaya başlamıştır. Bununla birlikte hızda artış gerçekleşmiş ve uçak kurtarılamaz bir hıza ulaşmış sonunda da çarparak yedi yolcu ve üç uçak mürettebatının ölümü ile sonuçlanmıştır [2]. Örneklerden de görüldüğü gibi denetim sistemlerinin arızalara karşı kararlılığı ve güvenilirliği nükleer güç istasyonları, uçaklar, geniş ölçekli fabrikalarda oldukça önemlidir. Bu nedenle denetim sistemini korumak ve arıza durumlarında dahi başarımını sürdürmesi amaçlı çevrim içi ve gerçek zamanlı olarak çalışması hem ekonomik açıdan hem de insan hayatı açısından oldukça önemlidir. Bu tarz yaşanan sıkıntılarda arıza tespit ve tanılama alanına doğru ilgiyi yoğunlaştırmıştır.

Arıza tespit ve tanılama alanı ile sürecin güvenliği sağlanmış olmakla kalmayıp, yıllık bakım ve sürecin niteliği açısından da önemli bir durum almıştır. Arızaların tespiti sistem denetiminde klasik bir yol olan belirli değişkenlerin sınır

değerlerindeki değişime göre gerçekleştirilmesi oldukça güçtür. Bu yöntem arızalar hakkında yer ve kaynak bilgisini tam olarak verememektedir. Klasik yöntemlerden olan gürbüz denetim yöntemi potansiyel arıza durumları aralığında sistemi denetler. Bu nedenle bu yaklaşımların sistemi yeniden aktif olarak yapılandırma ve denetim kurallarının yeniden düzenlenmesi konusunda eksiklikleri vardır. [3]. Bu eksiklikler, çalışmaları arıza dayanımlı denetim konusuna götürmüştür.

Arıza dayanımlı denetim temel olarak iki konuya dayanır; arıza tespit – tanılama (ATT) ve yeniden düzenlenme konularıdır. Arıza tespit ve tanılama birimi arızanın ne zaman ve nerde oluştuğunu belirtir. Daha sonra ATT biriminden gelen arıza sonucuna göre denetim yeniden düzenlenir ve yeni denetim kuralları belirlenir. Bunun sonucunda sistem başarımını sürdürür. Böylece sistemde arıza olması durumunda sistem kararlılığını ve kabul edilebilir başarımda çalışmasını devam ettirir. Arıza dayanımlı denetimin amacı arızalar altında çalışan bir sistemde, sistem kararlılığını ve oluşan arızalar dahilinde sistemin yörüngesini takip etmesini sağlayacak denetim işaretini üretmektir. Bu yöntem pasif ve aktif olmak üzere iki yaklaşıma dayanır. Pasif yaklaşım, gürbüz denetim yöntemine dayanır. Arızalara karşı sistemi duyarsız yapmaya çalışır. Aktif yaklaşımda ise arıza tespit ve tanılama işlemi ile bulunan arızaya göre yeni bir denetim sistemi çevrim içi olarak düzenlenir.

Bu tezin amacı, arıza dayanımlı denetim tasarımını yapay zeka ve işaret işleme yöntemleri ile birlikte uyumlu bir şekilde gerçekleştirebilmektir. Bu konu ile ilgili benchmark süreç olarak tanımlanan üçlü tank sisteminde benzetim çalışması ve sıcaklık sistemi üzerinde benzetim ve gerçekleştirme çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmanın diğer bölümlerinde, ele alınan konular aşağıda belirtilmiştir.

Bölüm 2’de arıza dayanımlı denetim incelenmiştir. Arıza dayanımlı denetim çeşitleri, karşılaştırılması, önemi ve konuyla ilgili yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 3’de arıza tespit ve tanılama incelenmiştir. Arızaların sınıflandırılması, arıza tespit ve tanılamada kullanılan yöntemler, arıza tespit ve tanılama yönteminden beklenen durumlar anlatılmaktadır.



Bölüm 4’de arıza dayanımlı denetleyici tasarımı incelenmiştir. Tasarım için gerekli olan işaret işleme modülü, özellik çıkartım modülü, sınıflandırma modülü, Bulanık Mantık denetleyici ve anahtarlamalı denetim anlatılmaktadır.

Bölüm 5’de arıza dayanımlı benzetim çalışmaları ve sonuçları incelenmiştir. Tank sistemi ve sıcaklık sistemi tanıtılmıştır.

Bölüm 6’da arıza dayanımlı gerçekleştirme çalışması ve sonuçları incelenmiştir. Deney seti tanıtılmıştır.

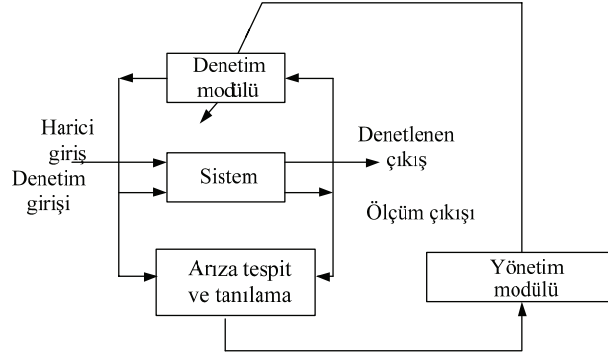
Bölüm 7’de de tez konusu ile ilgili varılan sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.

## 2. ARIZA DAYANIMLI DENETİM

Denetim sistemlerinin arızalara karşı kararlılık ve güvenilirliği nükleer güç istasyonları, yolcu uçakları, geniş ölçekli fabrikalarda oldukça önemlidir. Sistemlerin arızalara karşı dayanımlı olabilmeleri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Klasik yöntemlerden olan gürbüz denetim yöntemi çeşitli arızalar ile baş edebilme yeteneğine sahip olmasına karşın sadece parametrik yöntemler ile sonuç üretmektedir. Gürbüz denetim yöntemi potansiyel arıza durumları aralığında sistemi denetler. Gürbüz denetimde kullanılan yöntemler, sistemi yeniden aktif olarak yapılandırma ve denetim kurallarının yeniden düzenlenmesi konusunda eksiklikler içerir [3]. Bu eksiklikler, çalışmalarını arıza dayanımlı denetim konusuna götürmüştür. Arıza dayanımlı denetim yönteminin amacı, arızalar altında çalışan bir sistemde sistem kararlılığını ve oluşan arızalar dahilinde sistemin yörüngesini takip etmesini sağlayacak denetim işaretini üretmektir. Arıza dayanımlı denetim yöntemi, sistemde arıza oluşması durumunda dahi kapalı döngü kararlılığını sağlaması amaçlı kullanılır. Arıza dayanımlı denetim, arıza dengeleyici ya da denetleyici yeniden düzenleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir [4].

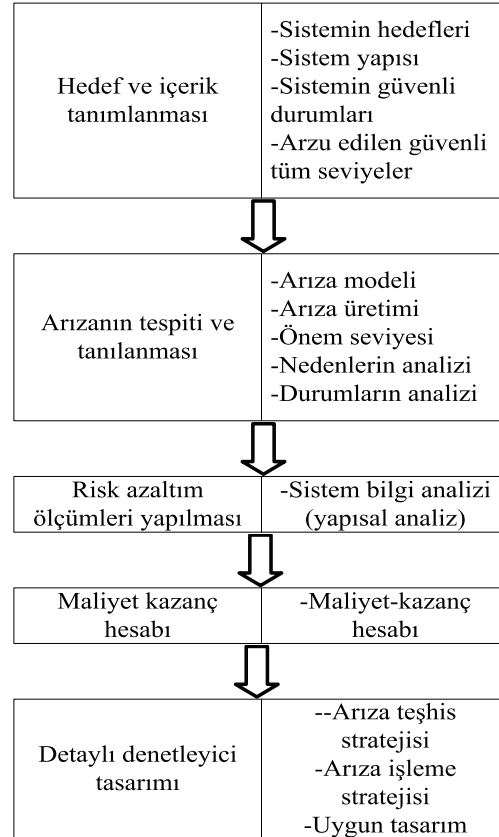
Arıza dayanımlı denetim de geribesleme doğrusallaştırması, denetim kuralının yeniden planlanması, model tabanlı denetim, durum geribeslemesi, adaptif denetim gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır [5,6]. Kullanılan bu yöntemler doğrusal modellere dayanılarak oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan sistemler için uygun değildir. Bunun üzerine; model kestirimli denetim yapısı, basit bir doğrusal model üzerinde ayarlanabilir hedef fonksiyonun en iyilemesi sürecinde arıza dayanımlı denetim amaçlı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu yöntem doğrusal olmayan modellerde de kullanılmıştır [5]. Son zamanlarda ise yapay sinir ağı, eğitici olarak doğrusal olmayan sistemlerde arıza dayanımlı denetimin problemlerini ortadan kaldırmak amaçlı kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de arıza dayanımlı denetimin şeması görülmektedir [7].

Şekil 2.1'den de görüldüğü gibi arıza dayanımlı denetim yapısı, denetim modülü, sistem, yönetim modülü ve arıza tespit ve tanılama modüllerini içermektedir.



Şekil 2.1: Arıza dayanımlı denetim şeması

Arıza dayanımlı denetim tasarımı için gerekli basamaklar Şekil 2.2'de belirtilmiştir [8]. Arıza dayanımlı denetim tasarımı hedef ve içerik tanımlanması, arızanın tespiti ve tanılanması, risk azaltım ölçümlerinin yapılması, maliyet kazanç hesabı, detaylı denetleyici tasarımı olmak üzere beş adımda gerçekleştirilir.



Şekil 2.2: Arıza dayanımlı denetim tasarımı için gerekli basamaklar

Şekil 2.2’de gösterilen arıza dayanımlı denetim tasarımında birinci basamakta bulunan hedef ve içerik aşamasında, sistem içeriği belirlenir, sistemin fiziksel eleman ve bileşenlerinin tipi tanımlanır. Sistemin çalıştığı ortamda oluşabilecek arızalar belirlenir. Sistem güvenliğinin kabul edilebilir seviyeleri incelenir.

İkinci basamak olan arızanın tespiti ve tanınmasında, her bir bileşen için arıza modeli oluşturulur. Arıza üretim analizi ile sistem seviyesindeki farklı bileşen arızalarının etkileri saptanır. Bell telefon laboratuvarında geliştirilen arıza ağaç analizi bu basamakta kullanılabilir. Arıza ağaç analizi sistemde arızalara neden olan durumları gösteren yollardan oluşur. Yollar, standart lojik sembolleri ile yardımcı durumlar ve koşullar ile ilişkilidir [9]. Sistem seviyesindeki her bir etkinin önem derecesi saptanır ve önem derecesine göre arızalı bileşenlerdeki arızaların nedenleri tanınır. Bu basamağın çalışabilmesi için sistem modeline ihtiyaç duyulur. Sistem modelindeki arızaların benzetimi, sistem seviyelerindeki etkilerini, sistemin arızaya vermiş olduğu yanıtı gösterir. Yeniden yapılandırılabilir denetleyici tasarımında kullanılan doğrusal karesel düzenleme, yapısal atama, adaptif denetim, sözde-ters, model izleme gibi yöntemler sistemde arıza olması durumundan itibaren modelinin bilindiğini ve arıza tespit ve tanılama sürecinde bir sonuç içerdiğini varsayar [6]. Pratikte bu duruma az rastlanır. Bu nedenle, geliştirilmiş yeni yöntemlerin arıza tespit ve tanılama analizi ile yeniden yapılandırılabilir denetim kuralı yöntemlerinin sistemin arıza sonrası bilgisi yok sayılarak birleştirilmesi arzu edilen bir durumdur. Tasarım sürecinde rastgele ölçüm gürültüleri, belirsizlikler, arıza tespit ve tanılama analizinin gecikmesi gibi durumlar göz önüne alınmalıdır. Denetleyicide yeniden yapılandırılma durumunun gerçekleştirilmesinde arıza tespit ve tanılama yapısı, arıza sonrası sistem hakkında olabildiğince doğru ve detaylı bilgi sağlamalıdır. Denetleyici, kısıtlı bilgi ile en iyi başarıyı sağlamalıdır.

Üçüncü basamak, güvenilirliğin yerine getirilebilmesi için ihtiyaç duyulan faaliyetlerle ilgilidir. Arızaların giderilmesi analitik ya da fiziksel yedeklik durumunun çalıştırılmasıyla sağlanır. Yedek bileşenlerin sayısı minimuma düşürülmeye çalışılır. Böylece, maliyet azalır, var olan arıza bilgisini elde etmek için sistem rahatlıkla analiz edilebilir. Bu bilgi arıza tanılama ve arıza işleme durumlarında kullanılabilir. Bu durumda da sistem modeline ihtiyaç duyulur. Sistem

modeli ile sistem hakkındaki mevcut bilgiye dayanarak analiz yapılabilir. Yapısal analiz yöntemi tasarımcıya mevcut bilgiye dayanarak farklı arızaların tespit olanakları hakkında gerçekçi bir değerlendirme sağlar.

Dördüncü basamak, bir sonraki aşamaya geçmenin uygun olup olmadığına karar vermeyi sağlayan bir aşamadır. Mümkün olan durumlarda donanım eklenebilirlik bir sonraki basamakta fazladan maliyete yol açan detaylı, tasarım uygulama ve onaylamayı içeren mühendislik araştırmasından daha ucuz bir yol sağlayabilir.

Beşinci basamak olan detaylı denetleyici tasarımında, yedeklik yöntemi sisteme uygulandığında, uygun arıza tanılama algoritmasının kullanımı ya da geliştirilmesi ile yedeklik bilgisinin detaylı analizinin sağlanması, şiddetli arızaların nasıl ve nerede durdurulacağı konusunda stratejinin belirlenmesi durumunda doğru lojik ve uygun tasarım gerçekleştirilmesi gibi işlemleri içerir.

Yukarıda belirtilmiş olan basamaklar sırasıyla gerçekleştirildiğinde arıza dayanımlı denetim tasarımı için gerekli koşullar sağlanmış olur.

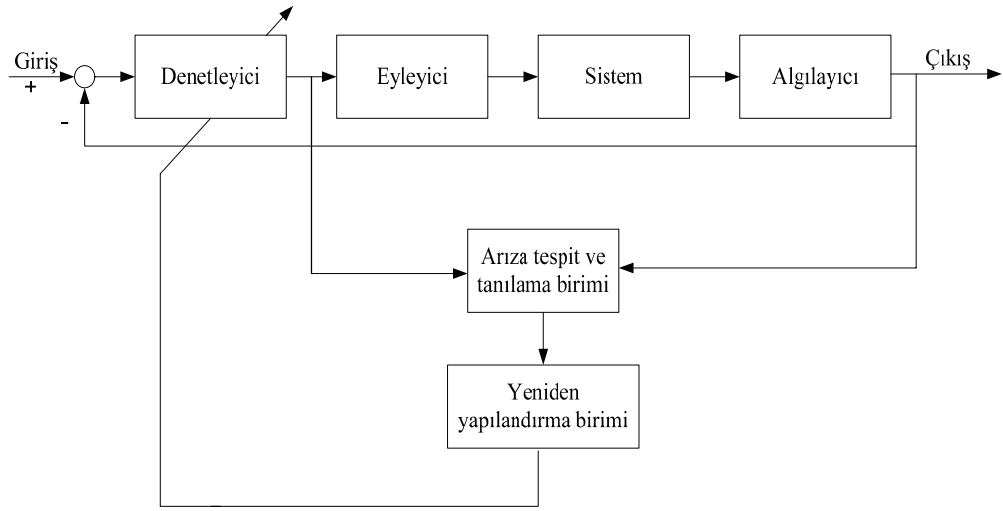
Arıza dayanımlı denetim; adaptif denetim, birleştirilmiş yaklaşımlar, doğrusal karesel denetleyici kullanılan dış bükey en iyileme, yönlendiricili denetim gibi farklı yöntemleri içerir [10]. Arıza etkileri model parametre değişimi gibi ortaya çıkar. Bu değişimler çevrim içi olarak tanılanır ve bu yeni parametrelere göre denetim kuralı yeniden düzenlenir.

Arıza dayanımlı denetim sınıflarından biri olan birleştirilmiş yaklaşımda, arıza izleme ve denetim basamakları tümlenmiştir. Bu nedenle, olabilir algılayıcı ve eyleyici arızaları işaretler ile gösterilir ve denetleme kuralını hesaplayan aynı algoritma ile kestirilir. Arızalar ilk olarak modellenir. Daha sonra bu arızalara duyarlı olacak şekilde denetleyici oluşturulur.

Başka bir yaklaşım olarak doğrusal karesel denetleyici kullanılan dışbükey eniyileme yöntemidir. Yeniden yapılandırılabilir durumu, arızaların etkisini telafi etmek için kullanılan başarımlı indeksindeki ağırlık matrislerinin yeni değerlerinin seçilmesi ile

gerçekleştirilir.

Arıza dayanımlı denetimin başka bir yolu da yönlendiricili denetime dayanır. Yönlendiricili denetimde arıza tespit ve tanılama birimi arızanın oluşma zamanı ve yeri hakkında bilgi sağlar. Arızalar uygun, denetim kuralının devreye alınması veya seçilmesi ile dengelenir. Şekil 2.3’de arıza dayanımlı denetim sisteminin genel yapısı görülmektedir [11].



Şekil 2.3: Arıza dayanımlı denetim sisteminin genel yapısı

Arıza dayanımlı denetim sistemindeki arıza tespit ve tanılama birimi arıza tespiti ve arızanın yerinin belirlenmesi durumlarını içerir. Yeniden yapılandırma birimi, arızaya karşı denetim sisteminin uygunlaştırılmasını sağlar [12]. Yeniden yapılandırılabilir denetim basamağında durum uzay veya parametre uzay yöntemleri kullanılabilir. Tespit edilen arızalar, arıza sonrası sistem başarımını kabul edilebilir duruma getirebilmek için parametreleri ya da denetleyicinin yapısını değiştirmek amaçlı yeniden yapılandırılma mekanizmasına gönderilir [13].

## 2.1. Arıza Dayanımlı Denetim Çeşitleri

Arıza dayanımlı denetim çeşitleri pasif arıza dayanımlı denetim ve aktif arıza dayanımlı denetim olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [14].

### **2.1.1. Pasif arıza dayanımlı denetim**

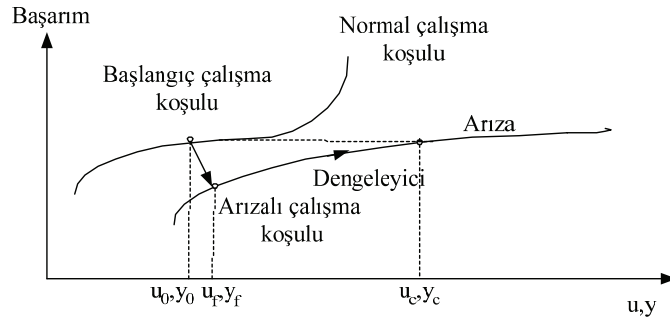
Pasif arıza dayanımlı denetim (PADD), bileşen arızalar için denetleyici tasarımında bileşen yedekliği kullanır. PADD tasarımında, sistem doğruluğu, eşzamanlı kararlılık, maliyet garantili denetim yöntemleri kullanılabilir. PADD, arıza tespit, tanılama ya da anahtarlamalı denetim içermez [14]. Arıza oluşuktan sonrada aynı denetleyici yapısını kullanır [15]. Denetleyici tasarım basamağında mümkün olabilecek arızalar üzerinde düşünülür. Denetim sistemi beklenilmeyen arızalara karşı gürbüz olarak tasarlanır [12,16].

### **2.1.2. Aktif arıza dayanımlı denetim**

Aktif arıza dayanımlı denetim de (AADD) arızalar tespit edilir ve tanınır. Denetleyici çevrim içi gerçek zamanlı olarak yeniden düzenlenir. AADD yapısı üç kısımdan oluşmaktadır [14]. Bunlar;

1. Yeniden yapılandırılabilir denetleyici
2. Arıza tespit ve tanılama
3. Yönlendirmeli denetim

Arıza oluşuktan sonra gerçek zamanlı geri besleme denetim kurallarında yeniden yapılandırma gerçekleşir [15,16]. Yeniden yapılandırılan denetleyici, arıza sonrası kararlılığını sağlar ve sistemin kabul edilebilir başarımını sürdürür [5,12]. AADD’de arızalar, arıza tespit ve tanılama yöntemi ile tespit edilir ve tanınır. Denetleyiciler de gerçek zamanda çevrim içi olarak yeniden düzenlenir [6]. Temel olarak aktif arıza dayanımlı denetimin çalışma mantığı Şekil 2.4’de gösterilmiştir [10].



Şekil 2.4: Aktif arıza dayanımlı denetimin çalışma mantığı

Arıza oluşuktan sonra sistem, giriş – çıkış  $(u_0, y_0)$  değişkenleriyle belirlenen normal çalışma noktasından arızalı duruma  $(u_f, y_f)$  sapar. Arıza dayanımlı denetimin amacı, yeni denetim kuralı belirleyerek sistemi yeni çalışma noktasına  $(u_c, y_c)$  götürebilmek ya da başlangıç koşullarına yaklaştırabilmektir [16,6].

Yeniden yapılandırılabilir denetim ile denetim sistemi arızalı bileşenlerin etkisine karşı duyarsız yapılmaktadır. Aktif arıza dayanımlı tasarım yöntemi kendi arasında tasarımı tabanlı yöntem ve çevrim içi tasarım yöntemi olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [1,13].

Tasarımı tabanlı yöntemler çevrim dışı olarak önceden tasarlanan denetleyici sınıflarından uygun denetleyici seçimine dayanır. Çevrim dışı yöntem olarak sözdeters yöntemi kullanılabilir. Denetleyici kazanç matrisi, sistemin arızalı ve arızasız kapalı döngü geçiş matrisiyle yeniden hesaplanır.

Çevrim içi tasarım yöntemi ise denetleyici parametrelerinin çevrim içi olarak hesaplanmasını içerir. Bu işlem yeniden yapılandırılabilir denetim olarak adlandırılır. Eğer denetleyicinin parametreleri ve yapısı yeniden hesaplanırsa yeni yapısal denetim olarak adlandırılır. Arıza sonrası sistem başarımı karşılaştırıldığında çevrim içi tasarım yöntemi, pasif yöntem ve tasarımı tabanlı yöntemden daha iyidir. Fakat hesaplama açısından en ağır yöntemdir genellikle çevrim içi en iyileme yöntemleri ile hesaplama kısaltılmaya çalışılır [13]. Geribesleme doğrusallaştırması ve model izleme yaklaşımı çevrim içi tasarıma örnek verilebilir.



## 2.2. Aktif ve Pasif Arıza Dayanımlı Denetimin Karşılaştırılması

Aktif ve pasif arıza dayanımlı denetimin özellikleri ve sınırları Tablo 2.1’de verilmiştir [16].

Tablo 2.1: Aktif ve pasif arıza dayanımlı denetimin özellikleri ve sınırları

Pasif arıza dayanımlı denetim	Aktif arıza dayanımlı denetim
Uygulama basittir.	Uygulama biraz daha karışıktır.
Arıza senaryolarının fazla olması durumunda hesaplama zorluğu getirir.	Potansiyel olarak çok sayıda arıza senaryoları ile başa çıkabilir.
Beklenmedik arızalar karşısında başarısızdır.	Belirli sayıdaki beklenmedik arızalar ile başa çıkabilir.
-	Gerçek zamanlı karar verme mekanizması vardır.

Tablo 2.1’de gösterilen pasif arıza dayanımlı denetim de uygulamanın basit olmasının yanında hesaplama zorluğu göstermesi ve beklenmedik arızalara karşı başarısız olması durumları vardır. Aktif arıza dayanımlı denetimde ise, uygulama biraz daha karışık, çok daha fazla arızalar ile başa çıkabilme, beklenmedik arızalara karşı başarımının yüksek olması ve gerçek zamanlı karar verebilme özelliklerini içerir.

## 2.3. Arıza Dayanımlı Denetim Sisteminin Önemi

Arıza dayanımlı denetim; arıza üretim, arıza tespit ve tanılama, sistemin yeniden yapılanması olmak üzere üç adım da sistemi korur [3]. İlk adım olan arıza üretim de sistemde oluşabilecek arızalar belirlenir. İkinci adım arıza tespit edilip tanılandıktan sonra sistem başarımını sürdürmek için yeni arıza moduna geçme durumunu içerir. Üçüncü adım ise sistemin yeniden yapılanmasını kapsar. Arıza modu, arızanın orijinal sistemden kaldırılması amaçlı ortaya çıkan yeni yapıdır. Arıza modu belirlendikten sonra denetim yeniden yapılandırılır. İkinci ve üçüncü adımlar çevrimiçi olarak uygulanır. Arıza dayanımlı sistemler genel olarak aşağıdaki özelliklere sahiptir [17].

1. Arızayı tespit eder,
2. Sistemi arızalardan korur,

3. Programlanabilir sistem bileşenlerinde arızaları dengeleyebilmek için yeniden yapılandırılma gerçekleşir.
4. Sistem kabul edilebilir çalışmasını sürdürür ancak arızadan dolayı başarımlar düşebilir.
5. Ucuzdur, yeni donanım gerektirmez.

Arıza dayanımlı denetim sistemlerinde; arıza yeniden yapılandırılabilme yöntemleri, klasik yedeklik yöntemine göre daha karmaşıktır. Arıza dayanımlı denetimde bazı riskli durumlar söz konusudur [4]. Bu durumlar; yavaştır, yanlış alarm verebilir, arızayı kaçırabilir, yanlış tanılama yapılabilir, Yanlış yeniden yapılandırma gerçekleşebilir, anahtarlama hatası ortaya çıkabilir.

#### **2.4. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Niemann ve Stoustrup sürekli zamanlı sistemler için arıza dayanımlı denetim yapısını incelemiştir [18].

Yen (2000); arıza dayanımlı denetim için yapay sinir ağı kullanarak akıllı kayan mod denetim yöntemini önermiştir. Böylece sistem istenilen yörüngeyi herhangi bir arıza karşısında dahi izlemeye çalışacaktır [19].

Diao (2000); arıza dayanımlı kararlı adaptif bulanık sinirsel denetimi buhar makinesi benzetimine uygulamıştır ve başarımları incelenmiştir [20].

Puig (2001); pasif gürbüz arıza tanılama yaklaşımını kullanarak arıza dayanımlı PID denetleyicileri incelemiştir. İkili tank sisteminde uygulamasını gerçekleştirmiştir [21].

Yen (2001); çevrim içi arıza dengeleme ve tanılama tabanlı denetim problemlerini ele almıştır [22].

Wu (2001); arıza dayanımlı denetim sistemlerinin güvenilirlik analizini Markov modelleri ile incelemiştir [23].

Bakaric (2003); yeniden yapılandırılabilir denetim tasarımının, adaptif arıza dayanımlı ve akıllı denetimin birleşiminden oluştuğunu belirtmiştir. Su altı araçlarına uygulanmasını incelemiştir [12].

Polycarpou (2004); yapay sinir ağı tabanlı arıza dayanımlı denetim sistemini uçuş denetim sistemleri üzerinde incelemiştir [24].

Chen (2004); anahtarlamalı relüktans motoruna arıza dayanımlı denetim yöntemini uygulamıştır [25].

Capiluppi (2005); dağıtık arıza dayanımlı denetim sistemlerinin hiyerarşik tasarımını incelemiştir. İkili tank sistemine uygulamıştır [26].

Izumikawa (2005); esnek robot kolu üzerinde arıza dayanımlı denetim uygulaması gerçekleştirmiştir. Algılayıcı arızalarını gözleyici kullanarak tanılamaya çalışmıştır [27].

Jiang (2006); uçak benzetim örneğine farklı arızalar vererek arıza dayanımlı denetim sisteminin başarımlı etkinliğini göstermiştir [28].

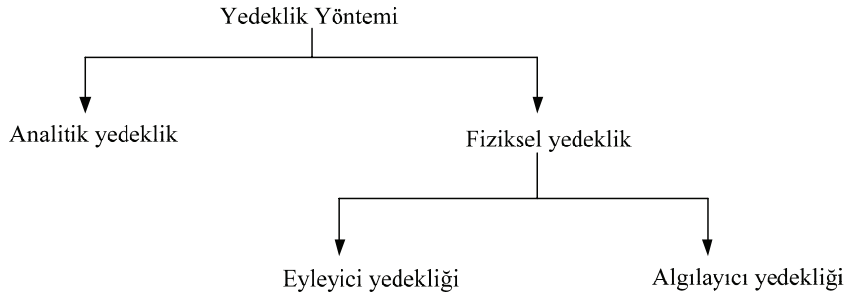
Pashilkar (2006); uçak sistemi için yapay sinir ağı tabanlı arıza dayanımlı denetleyici önermiştir [29].

Mhaskar (2006); doğrusal olmayan sistemler için arıza dayanımlı denetim sistemini incelemiştir. Başarımlı tabanlı yeniden yapılandırılabilirlik ve gürbüzlük üzerinde durmuştur. Benzetim çalışmalarıyla önerdiği arıza dayanımlı denetim yapısının verimliliğini sunmuştur. Benzetim çalışması kimyasal reaktör de yapılmıştır[30].

Edwards (2006); kayan mod gözleyici kullanarak, algılayıcı arıza dayanımlı denetim gerçekleştirmiştir. Gerçek zamanlı dc motor üzerinde uygulamasını oluşturmuştur [31].

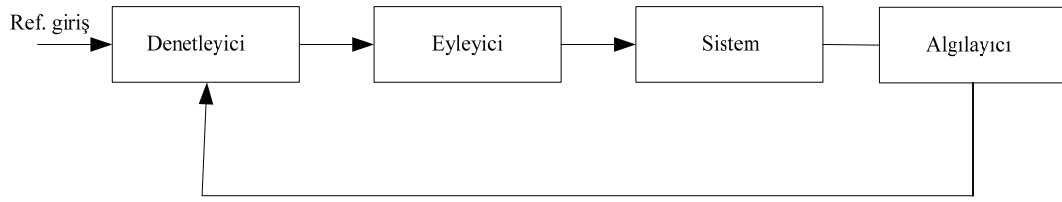
### 3. ARIZA TESPİT VE TANILAMA

Arıza tespit ve tanılama (ATT) alanı sistem mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Sistemin güvenliği sağlanmış olmakla kalmayıp, yıllık bakım ve sürecin niteliği açısından da ATT önem kazanmaktadır. Sistem denetiminde klasik bir yol olan belirli değişkenlerin sınır değerlerine göre değişim denetimi ile arızaların tespiti oldukça güçtür. Bu yöntem arızalar hakkında yer ve kaynak bilgisini tam olarak veremez. Bu amaçla yedeklik yöntemi kullanılarak arıza tespit ve tanılama alanı geliştirilmiştir [32]. Yedeklik yönteminin yapısı Şekil 3.1’de gösterildiği gibi analitik ve fiziksel yedeklik olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [16].



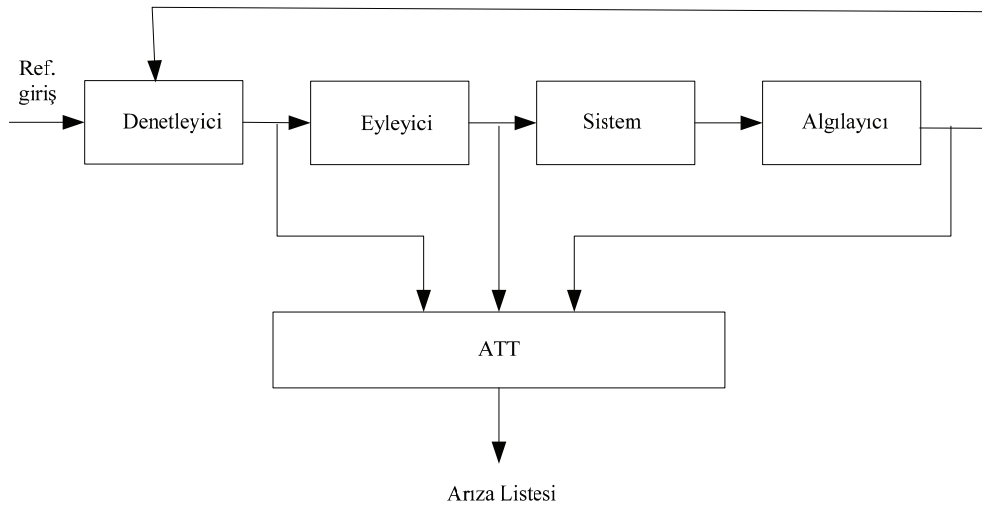
Şekil 3.1: Yedeklik yönteminin yapısı

Sistemlerde güvenilirlik ve bozucu koşullara karşı dayanıklılık açısından ATT, akıllı denetim alanı çerçevesinde yaygın araştırma konusu olmuştur. Klasik denetim sistemi Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi dört temel yapıdan oluşmaktadır. Bunlar; denetleyici, eyleyici, sistem ve algılayıcıdır.



Şekil 3.2: Klasik denetim yapısı

Sistemde oluşabilecek arızalar denetim sistemini oluşturan denetleyici, eyleyici, sistem ve algılayıcıdan kaynaklanır. Sistemlerde herhangi bir arıza oluşması durumunda, operatöre arıza bilgisi veren arıza tespit ve tanılama yöntemi kullanılmaktadır. ATT operatörlere arızanın yeri, zamanı konusunda yardımcı olur ve sistemin zarar görmesini engeller. Arıza tespit yöntemi, rezidü üretme tasarımı içerir ve rezidü işaret üretir. Böylece olağan dışı durumları veya arıza olup olmadığı konusunda ikili sayı sisteminde sonuç elde edilir. Arıza tanılama yöntemi ise arıza olduğu tespit edildikten sonra arızaların temel nedenini belirler [33]. Arıza tespit ve tanılama alanı iki basamaktan oluşmaktadır. İlk basamak, sistemin giriş ve çıkışları rezidü üretmek için uygun algoritma ile işletilir. İkinci basamak, karar verme bölümüdür. Bu bölümde, rezidüler incelenir ve arıza oluşup oluşmadığına dair karar verilir [34]. Süreç aşamasında ATT kullanımı Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3: ATT'nin yapısı

Arıza tespit ve tanılama yöntemlerinden biri olan model tabanlı arıza tespit 1970'lerin başında geliştirilmeye başlanmıştır. Model tabanlı arıza tespit ve tanılama,

gerçek sistem davranışı ile model davranışı arasında herhangi bir farklılık olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Fakat bu arıza ile ilişkili olarak model, sistem yapısı ile aynı şekilde tanımlanamayabilir ya da gerçek ölçümlerde gürültüden dolayı sistemde arıza varmış gibi tespit gerçekleşebilir. İyi bir model yapısı gerçekleştirmek için arıza tespit aracının başarımı artırılarak yanlış arıza verme olasılığını en aza indirmek gerekir. Rezidü üreteç, model tabanlı ATT yapısı için temel bir problemdir. Eğer doğru bir şekilde çalıştırılmazsa arıza bilgileri kaybolabilir [35]. Model tabanlı ATT yöntemi; eşlik uzay yaklaşımı, durum kestirimi, arıza tespit filtre yaklaşımı, parametre tanılama gibi matematiksel model gerektiren yaklaşımları içermektedir [36].

Model tabanlı ATT yapısı analitik ifadeye dayanır. Bu nedenle sistem net bir şekilde bilinmelidir. Birçok sistem dinamik ve tam olarak bilinmeyen yapılara sahiptir. Dolayısıyla, model tabanlı ATT yapısı yeterli sonuç vermeyebilir. Gerçek zamanlı uygulamalarda yeterli başarımlar garanti etmezler. Bu problemin üstesinden gelmek için bilgi tabanlı yöntemler önerilmiş ve bu yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Bazı bilgi tabanlı yöntemler yapay sinir ağı, bulanık sistem veya uzman sistemlerle oluşturulan modelleri kullanır. Rezidü üretiminde analitik model oluşumu için fonksiyon yaklaşım amaçlı yapay zeka yöntemleri kullanılabilir [37]. Model tabanlı ATT'de olduğu gibi rezidü işaretler üretilir.

ATT yönteminde arızaların sınıflandırılmasında kullanılan yöntemler de önem kazanmaktadır. Sınıflandırma yöntemleri olarak; uzaklık bağıntıları, olasılıksal yöntemler, yapay sinir ağı ve bulanık kümeleme örnek olarak verilebilir [35].

ATT yapısı gerçekleştirilirken sistemde dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bunlar; arızaların yüksek doğrulukla tespiti ve tanımlanabilmesi, geçiş durumlarının dinamik olarak tespit edilebilmesi, arıza tespit ve tanımlamanın kısa zaman gecikmesi ile gerçekleştirilebilmesi, yanlış tanılama ve hatayı kaçırma oranını mümkün olduğunca düşük tutulabilmesi, bozucu girişlere karşı sistemin dayanıklılık göstermesi ve genel bir sistem oluşturulabilmesi gibi durumlardır.

ATT yapısının iyi bir başarımlar gösterebilmesinde bazı zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Bunlar, farklı gürültü seviyelerinde hata işaretlerinin hızlı yakalanabilmesi, arızalar hakkında yeterli bilgi içeren önemli özellik sınıflarının oluşturulması, sistemin çalışma koşulları, arızaların tipi ve tespiti konusunda güvenilir sonuçlara ulaşıp ulaşılmadığı konusunda nasıl karar verileceği doğrultusundadır.

### **3.1. Arızaların Sınıflandırılması**

Arıza, en az bir karakteristik özellik veya sistemin parametresinin kabul edilebilir/genel/standart koşulundan izinsiz bir şekilde sapmasıdır. Arızalar, beklenilmeyen zamanlarda görülen, sistemin dinamik çalışmasında istenilmeyen değişimler gösteren, başarımı etkileyen durumlardır [13].

#### **3.1.1 Oluştığı yere göre arızaların sınıflandırılması**

Arızalar, sistemde olduğu yere göre dört sınıfa ayrılır [3, 13]. Bunlar, algılayıcı arızası, eyleyici arızası, bileşen arızası, çalışma arızası olarak sınıflandırılabilir. İlk üç arıza sistemin fiziksel arızası olarak düşünülebilir. Çalışma arıza ise sistemin çalışma bölgesi ile ilgilidir.

Eyleyici arızası, kısmi veya tam olarak denetim hareketinin kaybını gösterir. Sistemin dinamik eyleyicilerinin fonksiyonelliğini kaybetme durumunu içerir. Eyleyici arızalara örnek olarak motor yanması, dinamik çalışma aralığının bir kısmını kaybetme, hidrolik pompada maksimum basıncın azalması durumu gösterilebilir. Eyleyici arızalar sistemde bozucu gibi davranır ve denetleyiciye zarar verebilir [38, 10]. Eyleyici arızaları da kendi aralarında iki gruba ayrılmaktadır [39]. Bunlar tam eyleyici arızası ve kısmi eyleyici arızası olarak tanımlanmaktadır. Tam eyleyici arızası oluştuğunda, eyleyici denetim işaretine tepki göstermez. Kısmi eyleyici arızası oluştuğunda ise denetim işaretine düşük verimlilik ile tepki gösterir. Geribeslemeli denetim sistemlerinde eyleyici arızaları başarımda ciddi azalmalara neden olarak sistemi kararsızlığa sürükleyebilir [40].

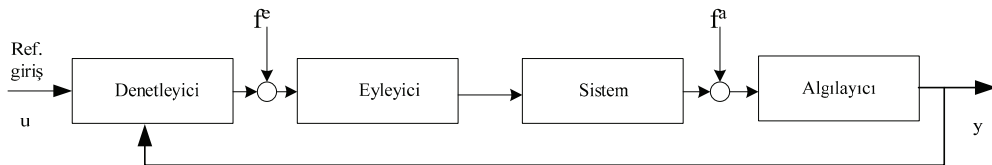
Algılayıcı arızasına örnek olarak, algılayıcı işaretinin kaybı, algılayıcının sürüklenmesi, çıkışının tıkanması, algılayıcı çıkışının düzensiz olması gibi durumlar

verilebilir. Ölçüm sistem durumlarını veya başarımı etkiler. Bu arızaların kaynağı algılayıcıdaki sızıntı ya da tıkanıklıktan kaynaklanabilir ya da algılayıcı bütün olarak bozulmuştur [38]. Algılayıcıda ortaya çıkan arızalar tam algılayıcı arızası, algılayıcının sabit bir değer ile tıkanması, algılayıcının sürüklenmesi ya da toplamsal algılayıcı arızası, çarpımsal tipte algılayıcı arızası, aykırı veri algılayıcı arızası olmak üzere beş grubda sınıflandırılabilir [41]. Tam algılayıcı arızası, oldukça kötü bir arıza türüdür. Algılayıcı çalışmaz ve çıkış olarak sürekli sıfır üretir. Bu tip arıza elektriksel ya da haberleşme problemlerinden kaynaklanır. Algılayıcının sabit bir değer ile tıkanması durumunda arıza oluşmadan önceki değeri sürekli sabit bir değer olarak çıkış verir. Algılayıcının sürüklenmesi ya da toplamsal algılayıcı arızası, analog algılayıcılarda yaygın bir arıza tipidir. Harici sıcaklık değişimi veya kalibrasyon problemlerinde algılayıcı çıkışına toplamsal olarak bir sabit eklenir. Çarpımsal tipte algılayıcı arıza, algılayıcı çıkışında ölçekleme hatasından kaynaklanır. Algılayıcının nominal değerine çarpımsal faktör olarak uygulanır. Aykırı veri algılayıcı arızası geçici bir arızadır. Algılayıcı tek bir noktada büyük bir hata verir, fakat daha sonraki çıkışlar doğru olarak sağlanır.

Bileşen arızası, sistemin fiziksel durumundaki değişimi gösterir. Örneğin, tankdaki sızıntı, robot kolu ekseninin kırılması, kütle, aerodinamik katsayılarının değişimi gibi durumlar gösterilebilir. Bu tip arızalar genellikle alt sistem dinamiklerini veya iki alt sistem arasındaki etkileşimi değiştirir.

Çalışma arızası, sistem durumlarının değişimini içerir. Sistemin çalışma bölgesi ile ilgilidir.

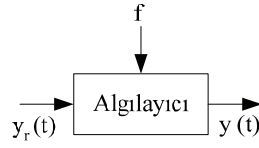
Şekil 3.4'de algılayıcı ve eyleyici arızaları ile birlikte kapalı döngü bir sistem görülmektedir.  $f^e$  ve  $f^a$  sırasıyla, eyleyici ve algılayıcı arızalarını ifade etmektedir.



Şekil 3.4: Algılayıcı ve eyleyici arızaları ile birlikte kapalı döngü bir sistem



Sistemde oluşabilecek arızalar toplamsal veya çarpımsal türde modellenebilirler. Pratikte analitik yöntemler olarak kullanılan parametre kestirimi ve durum kestirimi yöntemleri toplamsal ve çarpımsal arıza modelleri için uygun olmayabilir. Örneğin parametre kestirimi çarpımsal arıza modellemesi için uygun iken, durum kestirimi toplamsal arıza modellemesi için tercih edilmektedir [42]. Şekil 3.5, algılayıcı arızasını göstermektedir.  $y(t)$  ölçülmüş çıkış işareti,  $y_r(t)$  sistem çıkış işaretidir. Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 algılayıcı arızaların çarpımsal ve toplamsal modellerini göstermektedir.  $f_t(t)$  toplamsal algılayıcı arıza değerini ve  $f_c(t)$  çarpımsal algılayıcı arıza değerini ifade etmektedir [13,43].



Şekil 3.5: Algılayıcı arızası

$$y(t) = y_r(t) + f_t(t) \quad (3.1)$$

$$y(t) = y_r(t) * f_c(t) \quad (3.2)$$

Çarpımsal arıza modeli, genellikle algılayıcı ve eyleyici arızalarının gösterilmesinde kullanılır. Bu model gösterimi aktif arıza dayanımlı denetimde, denetleyici yeniden yapılandırılabilir tasarımında sıklıkla kullanılır. Fakat bileşen arızalarını göstermek için kullanılmaz [13].

### 3.1.2 Zaman karakteristiğine göre arızaların sınıflandırılması

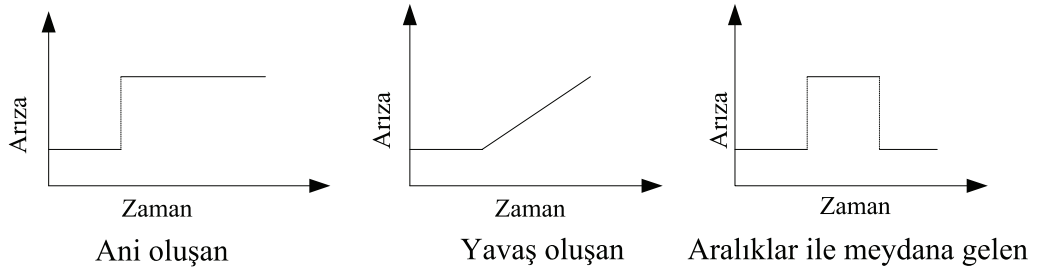
Zaman karakteristiklerine göre arızalar, ani oluşan, yavaş oluşan ve aralıklarla oluşan arızalar olarak üç sınıfa ayrılırlar [13,38].

Ani oluşan arızalar, donanımsal hasar sonucu ortaya çıkar. Sistemin başarımı ve kararlılığını ciddi bir şekilde etkiler.

Yavaş oluşan arızalar, zaman değişiminde yavaşça ortaya çıkar. Genel olarak sistemin yıpranması, eskimesi sonucunda oluşur. Yavaş zaman karakteristiklerini tespit etmek oldukça güçtür. Fakat sisteme sert bir zarar vermez. Tespit edilmesi

oldukça güç olan yavaş değişim gösteren arızalar için verimli bir yöntem arıza geri çatılma yöntemidir. Arıza tespit ve tanılama yönteminden farklıdır. Bu yöntem, arızayı tespit eder, ayırır ve kestirimde bulunur [42].

Aralıklar ile oluşan arızalar da ise, hızlı bir şekilde arıza oluşur ve kaybolur. Bu arıza tipine örnek; anlık olarak elektrik şebekesinin zarar görmesi verilebilir. Şekil 3.6'da zaman karakteristiklerine göre arızaların sınıflandırılması gösterilmiştir [13].



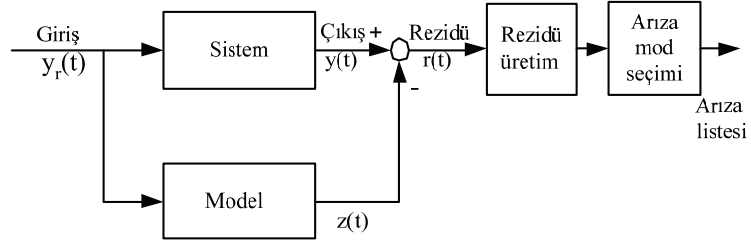
Şekil 3.6: Zaman karakteristiklerine göre arızaların sınıflandırılması

## 3.2 Arıza Tespit ve Tanılama Yöntemleri

Arıza tespit ve tanılamada farklı yöntemler kullanılmaktadır. Dört sınıf altında incelenebilir. Bunlar; model tabanlı, yapay zeka (YZ) modelleme tabanlı, işaret işleme tabanlı ve bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemleri olarak sayılabilir [44].

### 3.2.1 Model tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi

Arıza tespit ve tanılama yöntemleri temel olarak işareti izlemeye dayanır. Arıza belirtileri üreten ölçüm işaretlerinin, alt ve üst sınırları ve değişim hızı oranı incelenerek arıza tespit ve tanılama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yapı biraz daha geliştirilerek model tabanlı arıza tespit yöntemi oluşturulmuştur. Model tabanlı arıza tespit ve tanılama yönteminin görevi, giriş  $y_r(t)$  ve çıkış değişkeni  $y(t)$ 'nin ölçümüyle algılayıcılarda, bileşenlerde ve eyleyicilerde oluşabilecek arızaların tespitini sağlamaktır. Şekil 3.7'de sistem ve model kullanımı ile rezidü üreteç gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Rezidü üreteç

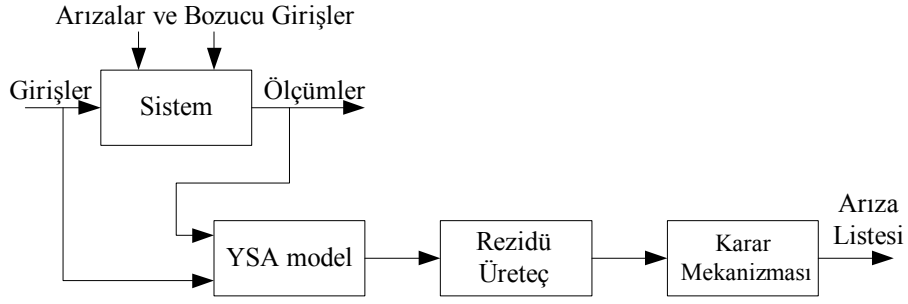
İşaret  $z(t)$  benzetilmiş çıkışı ifade etmektedir. Rezidü, Denklem (3.3) ile ifade edilir.

$$r(t) = y(t) - z(t) \quad (3.3)$$

Rezidü üreteç farklı yaklaşımlara dayanır. Bunlardan biri fiziksel yedeklik, diğeri analitik yedeklik yöntemleridir. Fiziksel yedeklik yöntemleri arıza tespitinde klasik bir yöntemdir. Bu yöntemin temel problemi, malzeme ve bakım maliyetidir. Bu dezavantajdan dolayı analitik yedeklik yöntemi kullanılmıştır. Analitik yedeklik, kestirilmiş değerler ile ölçülmüş değerlerin karşılaştırılmasından elde edilir. Sistem normal koşullar altında çalıştığında rezidü sıfır olmalıdır. Arıza oluşması durumunda ise sıfırdan farklı bir değer almalıdır. Rezidünün bu özelliği ile sistemde arıza olup olmadığı tespit edilmiş olur. Analitik yedekliliğe dayalı rezidü üreteçler olarak Kalman filtresi, Luenberger gözleyiciler, durum ve çıkış gözleyicileri örnek verilebilir [35].

### 3.2.2 Yapay zeka modelleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi

Yapay zeka modelleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi iyi bir başarımla göstermektedir. Fakat arızalarla ilgili önceden bir bilgi tabanı oluşturulması gerekir. YZ modelleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi matematiksel ifadesi oluşturulamayan sistemler için çok uygundur. Şekil 3.8’de yapay sinir ağı modeli ile gerçekleştirilmiş ATT yapısı görülmektedir [44].

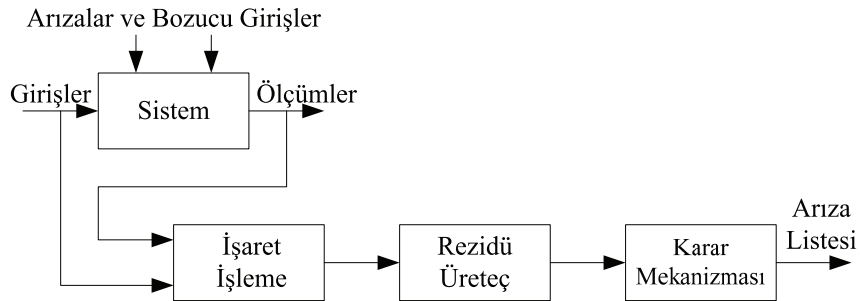


Şekil 3.8: Yapay sinir ağ modeli ile gerçekleştirilmiş ATT yapısı

Şekil 3.8’den görüldüğü gibi sistemin giriş ve ölçümlerinden yola çıkarak yapay sinir ağ modeli oluşturulur ve rezidüleri elde edilir. Rezidülerden faydalanarak karar mekanizması aracılığıyla arıza kararı verilir.

### 3.2.3 İşaret işleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi

Şekil 3.9, işaret işleme tabanlı ATT yapısını göstermektedir [44]. Şekil 3.9’den da görüldüğü gibi sistemin ölçüm ve girişleri işaret işleme bloğuna verilir. Buradan elde edilen sonuçlardan faydalanılarak rezidüler üretilmiş ve karar mekanizması aracılığıyla arıza sonucu bildirilir. İşaret işleme, fiziksel ortamdaki işaretlerin bilgisayar ortamında sayısallaştırarak işlenebilmesi amaçlı kullanılır. Bu birimin amacı, örneklenmiş işareti, genlik değişimlerinden, iletim ortamından kaynaklanan gürültüden bağımsız olarak üretmektir. Bazı durumlarda arızalar, işaretin zaman-frekans bölgesinde ani değişimlere yol açar. İşaret işleme yöntemleri değişimlerin anlık belirli özelliklerini yakalar.



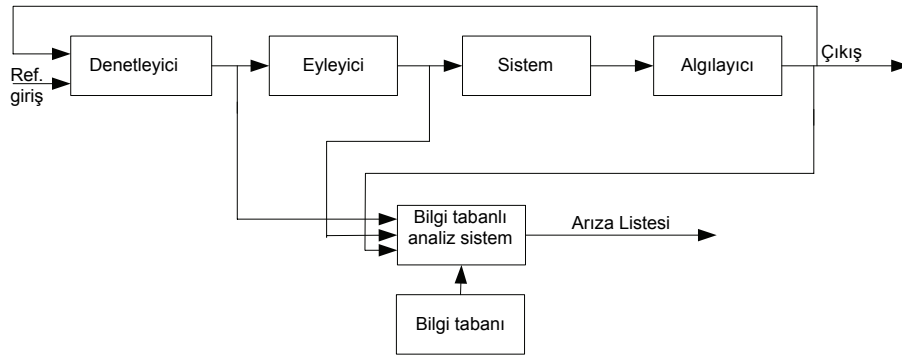
Şekil 3.9: İşaret işleme tabanlı ATT yapısı

İşaret işleme yöntemleri farklı etki alanları için işareti analiz eder ve işaretin

özellikleri ile ilgili değişik düzlemlerde sonuçlar verir. Ancak bu yöntemde zaman ve frekans etki alanındaki değişimler ayrı arızaları ortaya çıkartır. Bu arızaları farklılıklarına göre sınıflandırmak ve tanılamak oldukça güçtür. Bu nedenle işaret işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen arıza tespit ve tanılama güçleşir.

### 3.2.4 Bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi

Şekil 3.10'da bilgi tabanlı ATT yapısı gösterilmektedir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi denetleyici, eyleyici ve algılayıcıdan alınan ölçümler bilgi tabanlı analiz sistemine gönderilir. Önceden oluşturulmuş bilgi tabanından faydalanılarak arıza kararı verilir. Bilgi tabanlı sistemler; uçak, haberleşme, finans, sağlık, sistem denetim ve robotik sistemlerde uygulama alanı olarak yer almıştır. Çevrim içi ATT ile ilgili yapılmış çalışmalarda ortaya çıkan sonuç çevrim içi bilgi tabanlı sistemlerin geliştirilmesi gerektiği konusu olmuştur [45]. Karmaşık zaman değişimli ve doğrusal olmayan sistemlerden güvenilir ölçümler almak zor olup, böyle sistemlerin geçerli bir matematiksel modeli olmayabilir. Bu amaçla da yapay zeka yöntemleri araştırılıp dinamik sistemlerdeki arıza tespit için yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bilgi tabanlı ATT'nin tasarımı, yapay sinir ağları, bulanık mantık, uzman sistemler, örüntü tanıma gibi yöntemler içerir.



Şekil 3.10: Bilgi tabanlı ATT yapısı

Uzman sistemler kullanılarak gerçekleştirilen ilk ATT yapısı 1970'lerin başlarında MIT'de Scherer and White tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha sonra örüntü tanıma özelliğinden yola çıkarak ATT'de yapay sinir ağları da yerini almıştır. Yapay sinir ağı, sayısal modelleme problemlerinde ve pratik uygulamalardaki arıza

dayanımındaki verimliliğinden dolayı ATT yapılarında kullanılmıştır [45]. Yapay sinir ağı parametrelerinin belirlenmesindeki güçlük nedeniyle Evrimsel algoritmalar kullanılmıştır. Böylece ATT amaçlı kullanılan yapay sinir ağının başarımı artırılmıştır [46]. YSA'ların uzman sisteme göre dezavantajı olarak neden açıklayabilme gibi bir özelliği yoktur. Bilinmeyen kurallar kullanır ve sonuçları açıklayamaz.

Çevrim içi ATT de uzman sistem kullanımı ise tepki süresi açısından kritik bir duruma sahiptir. Hesaplama ve arıza tespiti belirli bir zaman içerisinde gerçekleşmelidir [45]. Bulanık uzman sistemler ise yavaş oluşan arızaları tespit etmek için kullanılır. Üyelik fonksiyonları ve arıza tespit kuralları genellikle deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir [46].

### **3.3 Arıza Tespit ve Tanılama Yönteminden Beklenenler**

ATT yönteminden beklenenler altı grup altında belirtilebilir [47]. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

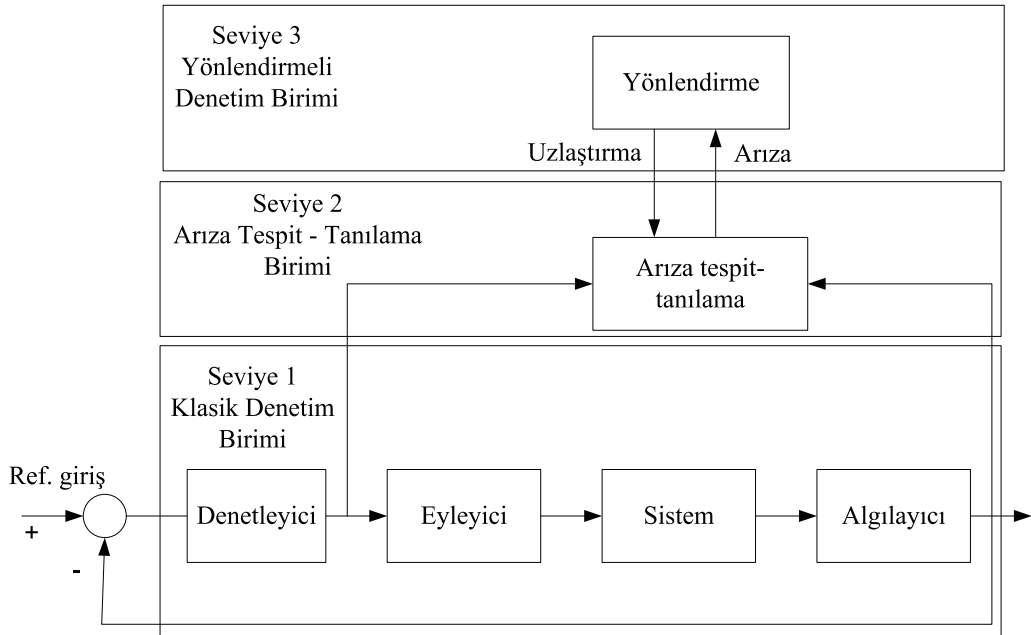
- Erken arıza tespit ve tanılama gerçekleştirebilmek,
- Yalıtılabilirlik. Arızaları birbirinden ayırt etme özelliğini sağlayabilmek,
- Gürbüz bir yapı oluşturabilmek. Çeşitli gürültü ve belirsizlikler başarımı düşürür. Gürbüzlük özelliğine sahip olan bir yapı, kararlı yalıtılabilirlik testlerine gereksinim duymaz. Yalıtılabilirlik testleri eşik değeri sıfıra yakın olan sistemlere uygulanır. Gürbüz özellik gösteren sistemlerde gürültü olması durumunda eşik değeri dikkatli bir şekilde belirlenir.
- Yeniliklerin tespit edilebilirliği. O an verilen sistem koşullarının normal ya da arızalı durum olduğu konusunda karar verebilmesi beklenir.
- Kolaylık tanımlayabilme. Arızanın kaynağı tanımlandıktan sonra ATT yapı aynı zamanda arızanın nasıl olduğunu ve o anki duruma nasıl yansıdığını açıklamalıdır.

Bu özellik arızanın nedenini ve sürece olan ilişkisini içerir.

- Adaptiflik. İstenilen ya da gerekli olan değişikliklerin devamlılığının sağlanabilmesi durumudur. Harici girişlerin veya sistem yapısının değişimlerinden kaynaklanarak süreç de değişir. Çalışma koşulları sadece arızalardan dolayı değişmez ayrıca, çevresel koşulların durumundan dolayı da değişir. Sistem de bu değişimlere adapte olma özelliği gösterebilmelidir.

#### 4. ARIZA DAYANIMLI DENETLEYİCİ TASARIMI

Arıza dayanımlı denetleyici, sistemde arıza oluşması durumunda, arızasız durum koşullarındaki gibi çalışmaya devam etmeyi ya da arızalı durumu dengeleyecek başka fonksiyonel modül kullanmayı amaçlar. Tez çalışmasında sistemde algılayıcı arızası oluştuğunda, ilk olarak arıza tespit edilir ve tanılır. Daha sonra uygun denetleyici, yönlendirmeli denetim ile denetleyici kütüphanesinden seçilir ve anahtarlama yöntemi kullanılarak sürece dahil edilir. Arıza dayanımlı denetleyicinin yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir [21]. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi üç seviyeden oluşmaktadır. İlk seviye klasik denetim döngüsünden oluşmaktadır. İkinci seviye arıza tespit-tanılama birimini içerir. Üçüncü seviye ise yönlendirmeli denetim işlevselliğini oluşturmaktadır.



Şekil 4.1: Arıza dayanımlı denetleyicinin yapısı

Seviye 1- Klasik Denetim Birimi: Bu katman, denetleyici, eyleyici, algılayıcı ve sistemden oluşmaktadır.



Seviye 2- Arıza Tespit- Tanılama Birimi: Arıza tespit- tanılama analitik olarak ya da fiziksel yedekliğe dayalı olarak arıza tespit-tanılama yöntemini içerir.

Seviye 3- Yönlendirmeli Denetim Birimi: Arızayı, sistemin istenilen çalışma durumuna sokabilecek tarzda dengeleme durumunu içerir. Sistemin istenilen şekilde arızasız olarak çalışıp çalışmadığını izler. Eğer çalışmıyorsa, denetim hedeflerini gözden geçirir ve yeni denetim yapısı veya parametre değişimleri ile arızanın etkisini azaltmaya çalışır.

Tez çalışması aktif arıza dayanımlı denetleyici (AADD) tabanlı oluşturulmuştur. AADD; sözde ters yöntemi (PIM), yapısal atama yöntemi (EsA), çoklu model yöntemi (MM), model izleme yöntemi (MF), adaptif denetim yöntemi (AC), Model öngörücü denetim yöntemi (MPC), anahtarlamalı denetim (SC) gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir [13]. AADD için anahtarlamalı denetim yöntemi kullanılmıştır.

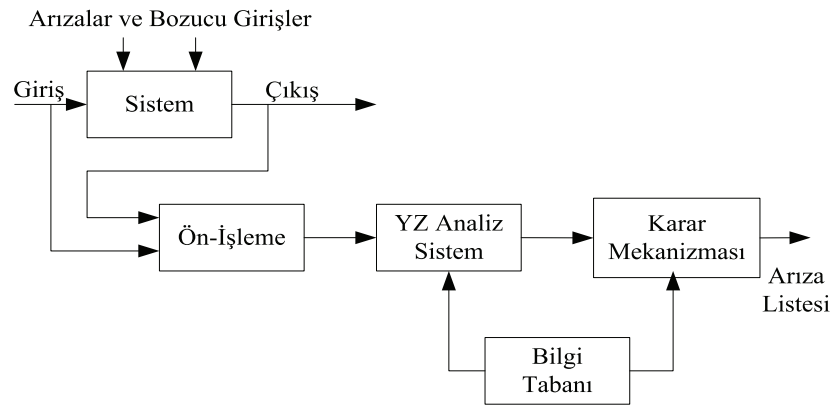
Anahtarlamalı denetim yöntemi, aktif arıza dayanımlı denetimde sıkça kullanılmaktadır. Her bir arıza modeli için denetleyici tasarlanır. Daha sonra, sistemin dinamik davranışına en uygun denetleyici anahtarlanır. Anahtarlama ile sadece bir tane denetleyici aktif hale gelir. Yerel modellerin çıkışları, sistem ölçüm çıkışları ile kıyaslanır. Böylece, sistemin o anki çalışma modunu en iyi tanımlayan model hakkında rezidü kararı verilir.

Aktif arıza dayanımlı denetim tasarımında anahtarlamalı denetleyici yöntemi kullanılarak yönlendirmeli denetim aracılığıyla arızaya uygun denetleyici seçimi gerçekleştirilmiştir. Uygun denetleyicinin seçimine karar verebilmek için arıza tespit ve tanılama biriminin hızlı ve doğru bir şekilde arızaları tanımlayabilmesi gerekir.

ATT'da farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Tez çalışmasında bilgi tabanlı ATT yöntemi incelenmiştir. Bilgi tabanlı ATT yöntemleri olarak yapay zeka tabanlı ve yapay zeka-işaret işleme tabanlı yöntemler gösterilebilir.

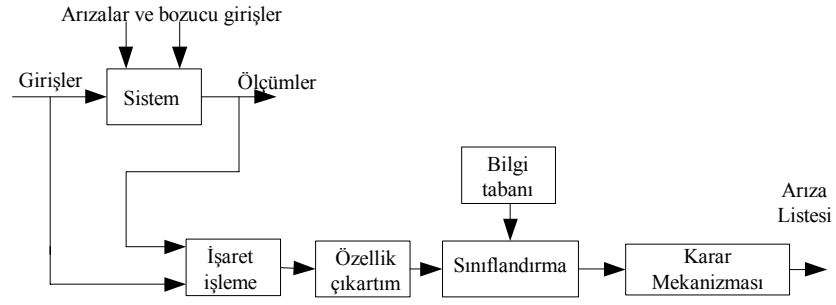
Yapay zeka tabanlı yöntem yapay sinir ağı, bulanık mantık, uzman sistemler, genetik

algoritmalar, sinirsel-bulanık mantık gibi yapay zeka yöntemlerini içerir. Şekil 4.2’de yapay zeka tabanlı ATT yapısı görülmektedir [44]. ATT yöntemi algılayıcı ya da eyleyiciden almış olduğu ölçümleri kullanarak işlemini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle alınan ölçümler yeterince hassas olmayabilir ya da ölçümler üzerine gürültü binmiş olabilir. Bu koşullar altında da arızaları tanılamada yapay sinir ağı (YSA) başarılı olmayabilir [45]. YSA’daki başarımı artırmak için veri ön-işlemeden geçirilerek, ağa sunulacak parametreler daha anlamlı hale getirilir. Ön-işleme katmanı isteğe bağlı bir yapıdır. Bu katman işlenmemiş giriş verisini ve çıkış ölçümlerini ön işlemeden geçirir. Böylece yapay zeka analizi için yeterli koşullar sağlanmış olur. Karar mekanizması için arıza bilgisini sağlar. Farklı YZ yöntemlerine göre farklı YZ analiz sistem yapıları oluşturulabilir. Bu yapıların seçimi uygulamanın ve YZ algoritmasının özelliğine bağlıdır.



Şekil 4.2: Yapay zeka tabanlı ATT yapısı

Şekil 4.3, yapay zeka ve işaret işleme tabanlı ATT yapısını göstermektedir [44]. Bu yapıda tespit ve tanılanmanın başarımını artırmak için işaretin özelliği çıkartılır. İşaret işleme modülü, özellik vektörlerini oluşturmak için işaretin temel özelliklerini ortaya çıkartır. Özellik vektörleri işareti sınıflandırmada kullanılır. Özellik çıkartım modülünde, işaret işleme bölümünden gelen işlenmiş verilerden en önemli özellikler çıkartılır. Bulanık mantık, yapay sinir ağı yapısı için uygun formata getirilir. Özellik çıkartım işleminden sonra işaretin özellikleri sınıflandırılır ve karar verme amaçlı uygulanır.

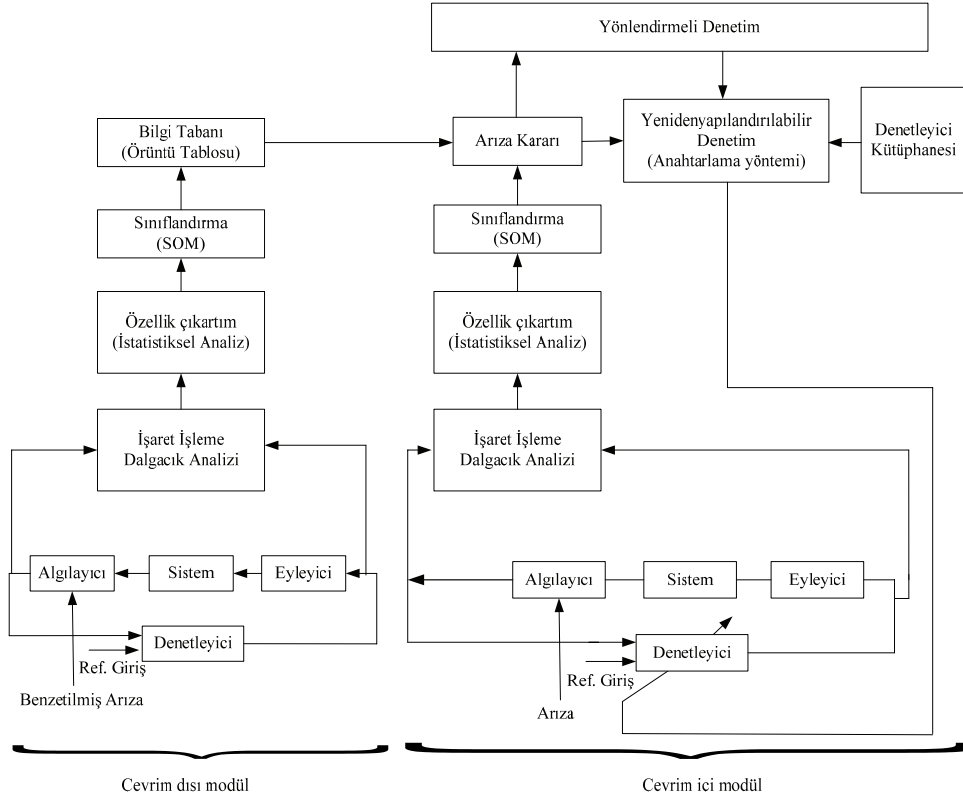


Şekil 4.3: Yapay zeka ve işaret işleme tabanlı ATT yapısı

Bu yöntemde kullanılacak yapay zeka yöntemleri olarak yapay sinir ağ ve bulanık mantık yapılarını gösterebiliriz.

Tez çalışmasında yapay zeka ve işaret işleme tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi kullanılarak aktif arıza dayanımlı denetim tasarlanmıştır. Aktif arıza dayanımlı denetim sisteminin tasarımında bazı önemli durumlar vardır. Pek çok arıza tespit ve tanılama algoritmaları sistemin kapalı döngü çalışmasını göz önüne almaz [13]. En önemlisi arıza tespit ve tanılama bölümünün arıza dayanımlı denetim bölümü arasındaki tümleşimidir. Sonuç olarak arıza tespit ve tanılama yöntemi ile arıza dayanımlı denetim yapısının tasarımı çok önemlidir. Bu iki blok arasındaki iletişimin gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak arıza dayanımlı denetim yönteminin arıza tespit ve tanılama yönteminden nasıl bir bilgi beklediğini ortaya koymak gerekir.

Tez çalışması için Şekil 4.4’de gösterilen işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici tasarım basamakları görülmektedir. Çevrimdışı ve çevrimiçi olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Çevrimdışı modülde arızaların benzetimi yapılarak bilgi tabanı oluşturulmuştur. Çevrimiçi modülde ise işaret gerçek zamanlı olarak incelenerek sistemde arıza olup olmadığına karar verilir. Sistem başarımını düşürmeyecek biçimde yönlendirmeli denetim aracılığıyla uygun denetleyici anahtarlama yöntemi ile sürece dahil edilerek çalışmasına devam eder.



Şekil 4.4: İşaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici yapısı

Arıza dayanımlı denetim sisteminde yönlendirmeli denetim modülü sistem yapısında ya da parametrelerinde değişim oluşturur. Yönlendirmeli denetim, denetim kurallarındaki değişim, yazılım modüllerinin anahtarlanması gibi durumları içerir. Yönlendirmeli denetimin temel amacı sistemin kararlılığını sürdürerek güvenli bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlayabilmektir. Dolayısıyla, aynı tipteki farklı modüllerin anahtarlanması gibi durumları içermektedir. Modül anahtarlama yöntemleri, algılanan değişimlere hızlı tepki göstererek işlemini tamamlar ve karmaşık çevrim içi tasarım algoritmalarından kaçınır.

Arıza dayanımlı denetim sisteminde, denetleyici olarak BMD kullanılmıştır. Çünkü, karmaşık sistemlerin modellenmesi çok zor bir iştir. Karmaşık bir sistemde, hatalı modeller kararsız sistemlere ya da kararsız sistem başarımına yol açabilir. Bulanık Mantık denetleme, modellenmesi zor olan sistemler için etkili alternatif bir yaklaşımdır. Bulanık Mantık denetleyiciler, denetim algoritmasını oluşturmak için insanın karar verme işleminin nitel durumunu kullanır [48]. Tasarlanan BMD'lerde durulama işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Giriş ve çıkışlarda

üyelik fonksiyonu olarak üçgen kullanılmıştır.

Bölüm 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5’de işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyicinin modülleri açıklanmıştır.

#### 4.1 İşaret İşleme Modülü

İşaret işleme modülünde Ayrık Dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Dalgacık türlerinden Daubechies dalgacık seçilmiştir. Ayrık Dalgacık analizinde uygulanması pratiktir. Daubechies dalgacık dbn olarak da ifade edilebilir. Dalgacığın derecesini, n ifade eder. db1 haar dalgacık olarak da bilinir. Daubechies dalgacıklar, işaret detaylarının gösterimi açısından oldukça verimlidir [49]. Ortogonal dalgacık türüdür. S. Mallat ve Y. Meyer ortogonal dalgacıklara dayalı çoklu çözünürlük analizini geliştirmişlerdir [50].

İşaretin yüksek frekans analizi için yüksek geçiren filtrelerden, düşük frekanslar için alçak geçiren filtrelerden geçirilir. Detay bilgisi içeren işaretin çözünürlüğü, filtreleme işlemleri, yüksek-düşük örnekleme işlemleri ile değiştirilir. Çözünürlük işaretin frekans içeriği ile ilgilidir. Dalgacık ve filtre bankaları arasında güçlü bir bağ vardır. Bu bağ çoklu çözünürlüklü filtre bankalarını kullanarak dalgacık dönüşümü katsayılarının hesaplanmasına olanak veren yapıdır [51]. Aşağıda verilen iki denklem kullanılarak gerçekleştirilir.

1. Ölçekleme denklemi,

$$\varphi(x) = \sum_f 2h_0(n)\varphi(2x - n) \quad (4.1)$$

2. Dalgacık denklemi,

$$\Psi(x) = \sum_f 2h_1(n)\varphi(2x - n) \quad (4.2)$$

$h_0$  ve  $h_1$  sırasıyla alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin darbe cevap katsayılarıdır. Ölçekleme fonksiyonu  $\varphi$  ve ana dalgacık  $\Psi$ ’dir. Bu denklemlerde ki

$\phi$  alçak geçiren filtre ve  $\Psi$  ' de band geçiren filtre olarak adlandırılır. Ayrık Dalgacık dönüşümü (ADD), işareti detay bilgi ve kaba bir yaklaşım içinde ayrıştırarak farklı çözünürlük ve farklı frekans bandlarında analiz eder. Buradaki amaç, çözümün farklı seviyelerdeki fonksiyon  $f$  ' e yaklaşımıdır [52]. ADD, alçak ve yüksek geçiren filtreler ile ilişkili olan ölçekleme ve dalgacık fonksiyonlarını kullanır [53]. Ayrık Dalgacık dönüşümü ile  $f(t)$  işaretinin gösterimi Denklem 4.3'de verilmiştir

$$f(t) = \sum_n \sum_{s=1}^{s_0} d_{sn}(n) \Psi_{sn}(t) + \sum_n a_{s_0}(n) \phi_{s_0n}(t) \quad (4.3)$$

Yüksek geçiren frekans grubu işaretin detayları olarak adlandırılır. Düşük frekans grupları da işaretin yaklaşımı olarak adlandırılır. Ölçek  $s_0$  ' da yaklaşım katsayılarını  $a_{s_0}(n)$ , farklı ölçeklerdeki detayları  $d_{sn}(n)$  ifade eder. Denklem 4.4 ve Denklem 4.5' de bu ifadeler gösterilmiştir.

$$\text{Yaklaşımlar, } a_{s_0}(n) = \int h_0(t) \phi_{s_0,n}(t) dt \quad (4.4)$$

$$\text{Detaylar, } d_{sn}(n) = \int h_1(t) \psi_{s_0,n}(t) dt \quad (4.5)$$

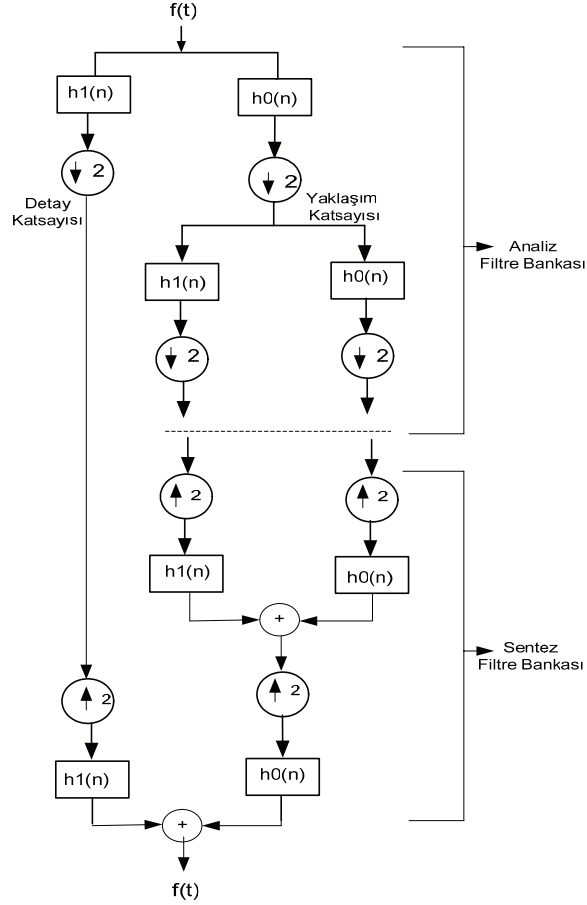
Ayrık Dalgacık dönüşümü katsayıları  $a_s$  ve  $d_{sn}$  ' yi içerir. Orjinal işaret  $f(t)$ , ilk olarak yarım band yüksek geçiren filtreden  $h_1[n]$  ve alçak geçiren filtre  $h_0[n]$ 'den geçirilir. Filtrelemeden sonra, nyquist kuralına göre sinyalin en yüksek frekansı  $\pi$  yerine  $\pi/2$  olduğunda örnekleme yarıya yok edilir. Bu oluşumlar matematiksel olarak Denklem (4.6) ve Denklem (4.7)'de gösterilmektedir.

$$h_0[n] = \sum_t f[t].h_0[2n - t] \quad (4.6)$$

$$h_1[n] = \sum_t f[t].h_1[2n - t] \quad (4.7)$$

$h_0[n]$  ve  $h_1[n]$  alçak ve yüksek geçiren filtrelerin çıkışlarıdır. Bu ayrıştırma zaman çözünürlüğünü yarıya böler. Çünkü örnekleme yarıya sinyali tam olarak temsil etmektedir. Bu işlem frekans çözünürlüğünü iki katına çıkartır [53]. Şekil 4.5'de analiz filtre ve sentez filtre bankalarından oluşan filtre ağacı görülmektedir. Analiz

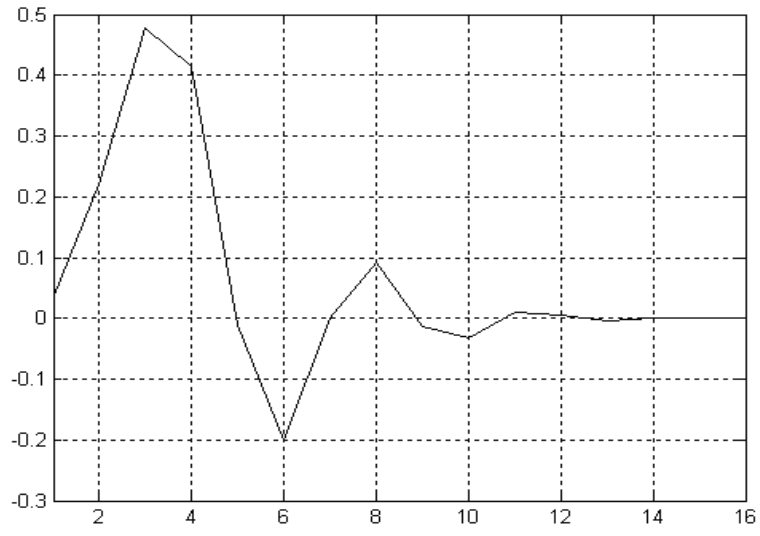
filtre bankası ile işaret detay ve yaklaşım katsayılarına ayrıştırılırken, sentez filtre bankası ile detay ve yaklaşım katsayılarından faydalanarak işaret yeniden oluşturulur.



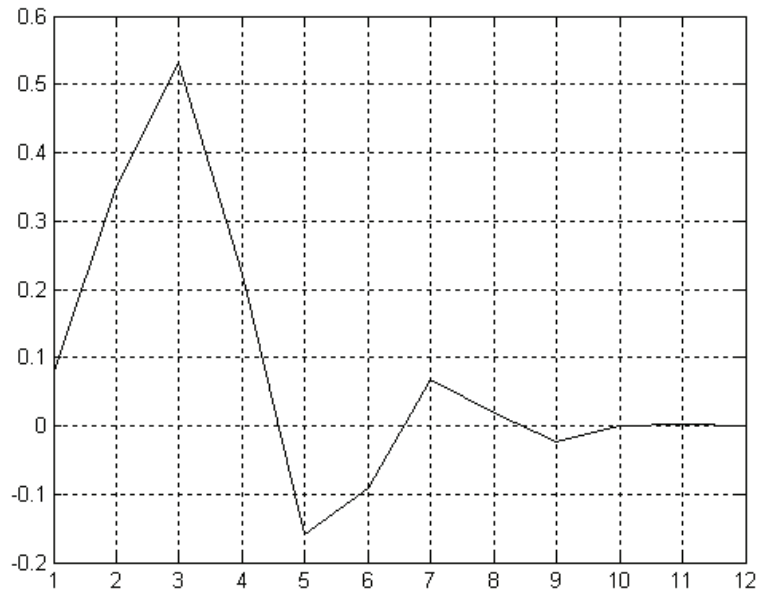
Şekil 4.5: Filtre Ağacı

ADD, sinyalin analiz ve sentezi için yeterli bilgi sağlar. Ayrıca hesaplama zamanında da önemli bir azalma görülür [54]. Ayrık Dalgacık dönüşümü sonucunda detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen yaklaşım katsayıları işaretin değişime eğilimini, detay katsayıları ise işaretin anlık değişimlerini içerir.

Horgan (1999) çalışmasında yavaş ve hızlı değişim gösteren işaretler için işarettaki bilginin düzgün bir şekilde ifade edilebilmesi amaçlı dalgacıkların başarımlarını incelemiştir [55]. Genel olarak db6 ve db8 dalgacıkları başarımları açısından daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. İşaret işleme modülünde tank sistemi için Daubechies 8 dalgacı, sıcaklık sistemi için Daubechies 6 dalgacı kullanılmıştır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7, db8 ve db6 dalgacıklarını göstermektedir.



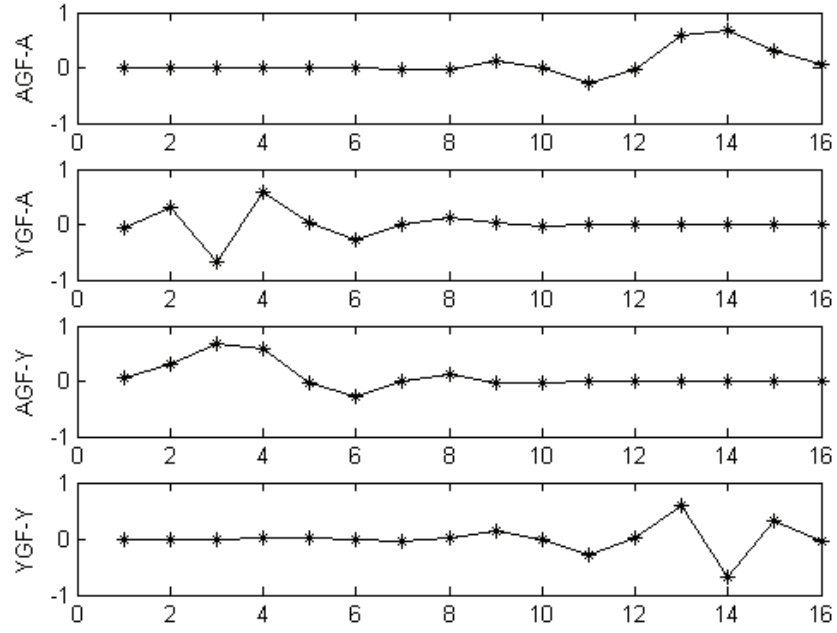
Şekil 4.6: db8 dalgacı



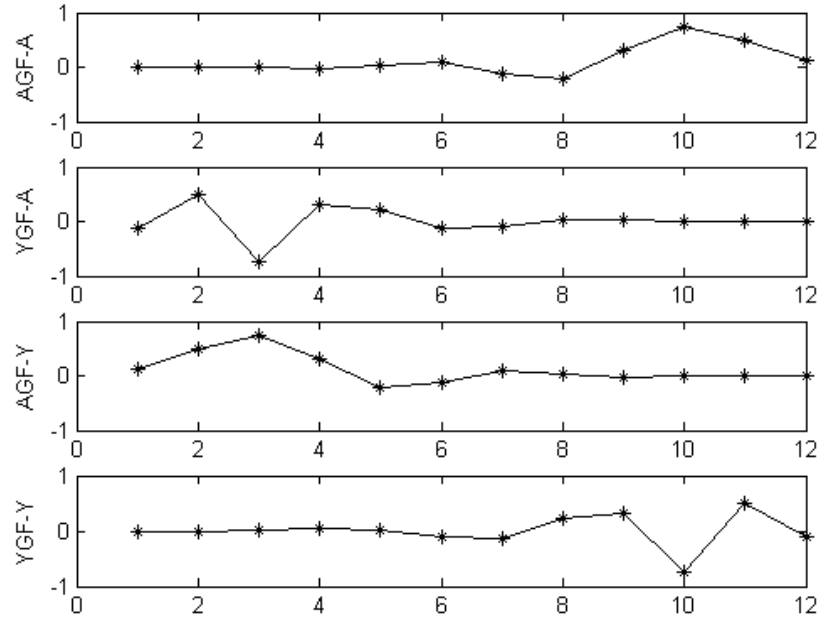
Şekil 4.7: db6 dalgacı

Ayrık Dalgacık dönüşümü için alçak geçiren ve yüksek geçiren filtre yeniden oluşum katsayıları (AGF-Y,YGF-Y), alçak geçiren ve yüksek geçiren filtre ayrıştırma katsayıları (AGF-A,YGF-A) Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da sırasıyla db8 ve db6 dalgacıkları için gösterilmiştir.



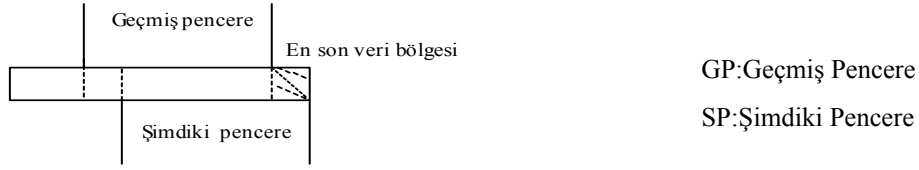


Şekil 4.8: db8 dalgacık filtre katsayıları



Şekil 4.9: db6 dalgacık filtre katsayıları

Ayrık Dalgacık dönüşümü, işaret Pencereleme yöntemi ile pencerelendikten sonra uygulanmıştır. Pencereleme yöntemi Şekil 4.10'da gösterildiği gibi geçmiş pencere, şimdiki pencere ve en son veri bölgesi gibi bölümlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.10: İşaretin pencerelemesi

Özellik vektörü için oluşturulan pencerelemiş işaret, ADD'den sonra elde edilen detay ve yaklaşım katsayıları, tank sistemi ve sıcaklık sistemindeki her bir arıza durumu için Bölüm 5 ve Bölüm 6'da verilmiştir.

## 4.2 Özellik Çıkartım Modülü

Özellik çıkartım modülünde, Pencerelemiş işaretin Ayırık Dalgacık dönüşümünden elde edilen detay ve yaklaşım katsayılarından faydalanarak istatistiksel hesaplamalar yapılır. İstatistiksel hesaplamada varyansın değişim oranı ve Değişim oranının en fazla mutlak değeri kullanılmıştır.

Varyansın değişim oranı : İşaretin farklı bölümlerindeki varyansın değişim oranını ifade eder. Denklem 4.8'de varyansın değişim oranı gösterilmiştir. Varyans, ortalama değerden faydalanarak dağılım, sapma veya değişimi ifade etmektedir.

$$r_1 = \frac{\text{var}(SP) - \text{var}(GP)}{\text{var}(GP)} \quad (4.8)$$

Değişim oranının maksimum ya da minimum mutlak değeri : Şekil 4.10 da gösterilen işaretin farklı bölümleri olan, geçmiş pencere bölümündeki, şimdiki veri bölümündeki maksimum ya da minimum mutlak değeri ifade eder. Denklem 4.9, Değişim oranının en fazla mutlak değer ifadesini göstermektedir.

$$r_2 = \frac{\max(|\text{enson veribölgesi}|) - \max(|GP|)}{\max(|GP|)} \quad (4.9)$$

Benzetim ve gerçekleştirme çalışmaları için elde edilen özellik vektörleri tank sistemi ve sıcaklık sistemi benzetimi için Bölüm 5'de, gerçekleştirme çalışması için Bölüm 6'da gösterilmiştir.

### 4.3 Sınıflandırma Modülü

Her arızalı durumun özellik vektörü Denklem 4.8 ve 4.9 kullanılarak çıkartıldıktan sonra, SOM yapay sinir ağında eğitilerek özellik vektörleri sınıflandırılıp özellik tablosu oluşturulmuştur.

SOM yapay sinir ağının öğrenme süreci aşağıda adım adım verilmiştir [44,56].

1. Ağırlık katsayı matrisindeki ( $w$ ) elemanlar  $[0,1]$  aralığında rasgele olarak atanır. Öğrenmenin toplam adım sayısı  $T$  belirlenir. Başlangıç öğrenme oranı  $\eta(0)$ , ( $0 < \eta(0) < 1$ ) atanır. Komşuluk bölgesinin başlangıç boyutu ( $N_z(0)$ ) belirlenir. Komşuluk bölgesi, yarışmacı katmandaki kazanan nöronların çevresi olarak düşünülebilir.
2.  $p$  kadar giriş vektörü  $A_k=(a_{1k},a_{2k},\dots,a_{Nk})$  girişe uygulanır.  $N$  giriş nöronlarının sayısıdır.  $k$  ( $k=1 \dots p$ ),  $k$ . giriş vektörü olduğunu belirtir.
3. Ağırlık vektörü  $w_j$  ile giriş vektörü  $A_k$  arasındaki öklid uzaklığı ( $d_j$ ) hesaplanır. Denklem 4.10'da bu ifade verilmiştir.

$$d_j = \|A_k - w_j\|_2 = \left[ \sum_{i=1}^N (a_{ik} - w_{ji})^2 \right]^{1/2} \quad j=1,2,\dots,M*M \quad (4.10)$$

$M*M$  yarışmacı katmanın boyutudur.

4. Enaz uzaklık bulunur ve yarışmacı katmanda bu enaz uzaklığa karşılık gelen nöron  $g$ , kazanan nörondur. Bu durum Denklem 4.11'de verilmiştir.

$$d_g = \min[d_j] \quad (4.11)$$

5. Komşu bölgedeki ağırlıklar güncellenir. Komşu bölgedeki tüm ağırlıklar nöronlar ile bağlıdır ve Denklem 4.12 ile güncelleme işlemi gerçekleştirilir.  $\eta(t)$ ,  $t$ . Öğrenme adımında öğrenme oranıdır.

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}(t) + \eta(t)[a_{ik} - w_{ji}(t)] \quad j \in N_z(t) \quad i=1,2,\dots,N \quad (4.12)$$

6. 3-5 arası adımlar tüm  $p$  giriş dataları eğitime kadar devam eder.
7. Öğrenme oranı  $\eta(t)$ , komşu bölgenin boyutu  $N_z(t)$  değiştirilir.  $t$ , o anki öğrenme adım sayısı,  $T$  ise toplam öğrenme adım sayısını ifade eder. Denklem 4.13 ve Denklem 4.14'de  $\eta(t)$  ve  $N_z(t)$  ifadeleri gösterilmiştir.

$$\eta(t) = \eta(0)(1 - \frac{t}{T}) \quad (4.13)$$

$$N_z(t) = \text{INT}[N_z(0)(1 - t/T)] \quad (4.14)$$

$N_z$ ; başlangıç değerini,  $\text{INT}[x]$ ;  $x$  değerini sıfıra doğru en yakın tamsayıya yuvarlayan fonksiyondur.

8.  $t=t+1$ , 2. adımdan itibaren  $t=T$  olana kadar işlem tekrarlanır. Öğrenmeden sonra, giriş vektörü  $M \times M$ 'lik yarışmacı katmanda dağıtılır.

Tanıma algoritması

1. Bilinmeyen model  $A=(a_1, a_2, \dots, a_N)$  girişe uygulanır.
2. Denklem 4.15'den faydalanarak uzaklık hesaplanır ve kazanan nöron  $g$  bulunur.

$$d_g = \min(d_j) = \min([\sum_{i=1}^N (a_i - w_{ji})^2]^{1/2}) \quad (4.15)$$

3. Kazanan nöronun, bilinen örüntü tablosundaki nörona karşılık gelip gelmediğine bakılır. Eğer karşılık geliyorsa bilinmeyen giriş sınıflandırılır. Aksi takdirde giriş

hala bilinmiyordur.

Özellik vektörü 1'den büyük olabilir, bundan dolayı da yapay sinir ağında eğitim için vektör normalize edilmiştir. Sigma fonksiyonu normalizasyon için kullanılmıştır. Denklem 4.16'da sigma fonksiyonunun eşitliği verilmiştir.

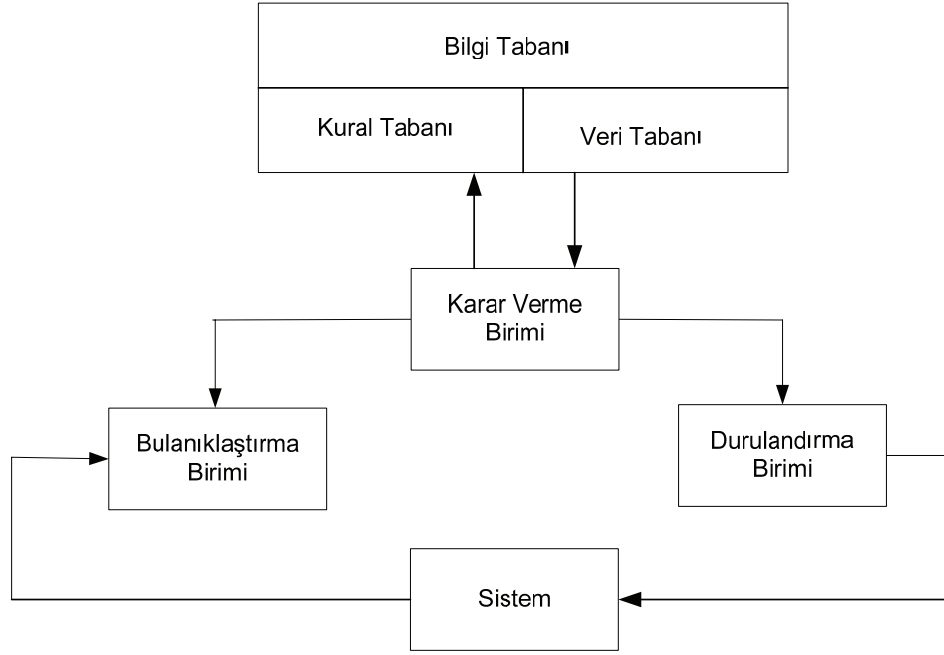
$$\text{sigma}(x) = \frac{1 - e^{-0.5x}}{1 + e^{-0.5x}} \quad (4.16)$$

Benzetim ve uygulama çalışmaları için elde edilen özellik vektörlerinin sınıflandırılması tank sistemi ve sıcaklık sistemi benzetim sonuçları için Bölüm 5'de, sıcaklık sistemi gerçekleştirme çalışması için Bölüm 6'da gösterilmiştir.

#### 4.4 Bulanık Mantık Denetleyici

Bulanık Mantık denetleyiciler klasik denetim yapılarına alternatif olarak geliştirilmiştir. Amaç, matematiksel modeli tam olarak belirlenemeyen sistemleri denetlemek için yöntem geliştirmektir. Bunun için klasik denetim teorisinin tam tersine sistemin modeliyle ilgilenilmez. Bilinmeyen yapıdaki sistemleri, operatör deney ve tecrübelerinden hareketle elde edilmiş kurallara göre denetim düşüncesi bulanık mantık denetleyicilerin temel çıkış noktasıdır.

Bulanık mantığın insan düşünüş tarzına uygun olması önemli bir üstünlüktür. Bulanık mantığın bu özelliği nedeniyle denetim işlemlerinin bir çoğu dilsel niteleyicilerle yapılabilmektedir. Bulanık mantık da sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmadığı için matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en iyi uygulama alanlarıdır. Bu tez çalışmasında Bulanık Mantık denetleyiciler kullanılmıştır. Bulanık Mantık denetleyicinin genel yapısı Şekil 4.11'de verilmektedir [57]. Bulanık Mantık denetleyicinin dört bileşeni vardır. Bunlar; bulanıklaştırma, bilgi tabanı, karar verme ve durulandırma bileşenleridir.



Şekil 4.11: Bulanık mantık denetleyicinin genel yapısı

Bulanıklaştırma birimi, veri tabanında bulanık küme tanımlarını kullanarak fiziksel büyüklüğü bulanıklaştırır. Giriş değişkenlerinin değerlerini ölçer. Giriş değişkenlerinin değerini ölçekleyerek uygun uzaylara karşı düşürür. Giriş bilgisini uygun kavramsal değerlere dönüştüren derecelendirmeyi yapar.

Bilgi tabanı birimi, düzlem bilgisi ve mevcut olan denetim amaçlarını oluşturur. Veri tabanı ve kural tabanını içermektedir. Veri tabanı, karar verme organının kural tabanında kullanılan bulanık kümelerin üyelik işlevlerini bu bölümden alır. Kural tabanı, denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları burada bulunur ve karar verme arabirimine verilir.

Karar verme birimi, Bulanık denetleyicinin beynidir. İnsan düşüncesini taklit etme yeteneğine ve bulanık çıkarım kurallarını kullanarak bulanık denetleyici hareketlerinden sonuç çıkarım yeteneğine sahiptir.

Durulandırma birimi, bulanık kümeden en uygun anlamlı keskin çıkış değerini elde eder. Durulandırma arabirimi için çalışmalarımızda ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

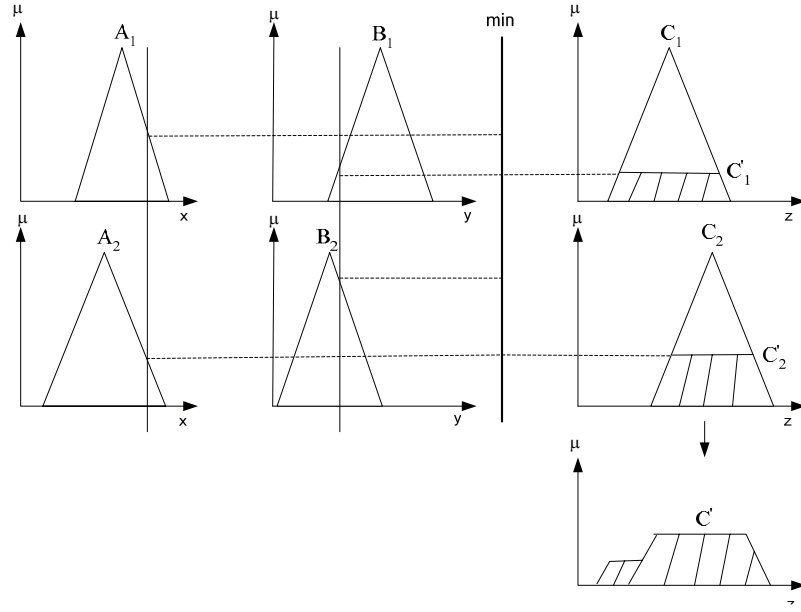
Ağırlık merkezi yöntemi (Center of Area-COA), bulanık durulandırma yöntemlerinden en çok kullanılanıdır. Ağırlık merkezi yöntemi,  $Z$  uzayındaki toplanmış çıkış üyelik fonksiyonunu gösteren  $A$  kümesi için ağırlık merkezi hesaplanır. Denklem 4.17’de bu ifade verilmiştir. Elde edilen ağırlık merkezinin  $Z$  uzayındaki değeri durulaştırma işleminin sonucudur [58].

$$Z_{COA} = \frac{\int_Z \mu_A(z)zdz}{\int_Z \mu_A(z)dz} \quad (4.17)$$

Bu yöntem, durulaştırma işlemleri arasında kullanımı en ideal olanıdır, fakat işlemsel olarak gerçekleştirmek zordur ve fazla hesap yükü gerektirir.

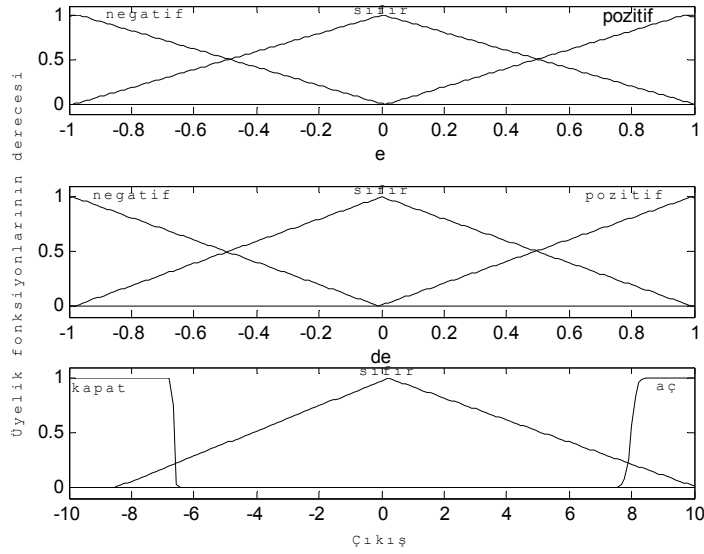
Keskin olmayan “and” veya “or” gibi ifadelerle temel kümelerin çapraz çarpımı sonucu ortaya çıkan bulanık bağıntıya aktarılır. Bulanık mantıkla şart ve sonuç kısımlarından oluşan kurallara bulanık operatör denir. Üyelik fonksiyonların birleştirilmesinde kullanılacak bulanık operatör, problemin çözümü için çok önemlidir. Çıkartım mekanizması, Mamdani çıkartım mekanizmasına dayanıyorsa Max – Min çıkartımı uygundur. Bu çalışmada Mamdani çıkartım mekanizması kullanılmıştır.

Şekil 4.12’de iki kurallı Mamdani bulanık çıkartım sisteminde, girilen  $x$  ve  $y$  keskin değerlerine karşılık toplam  $z$  çıkışının nasıl elde edildiği görülmektedir [58,57].



Şekil 4.12: Mamdani bulanık çıkartım sistemi ve min-max kullanımı

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları, “negatif”, “sıfır”, “pozitif” olarak adlandırılan üçer tane üçgen tipi üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Hata ( $e$ ) ve hata değişimi aralıkları ( $de$ )  $[-1,1]$  arasında, çıkış ise  $[-10,10]$  aralığında değişmektedir. Benzetim ve deneysel çalışmalar için kullanılan bulanık mantık denetleyicilerin giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları Bölüm 5 ve Bölüm 6’da gösterilmiştir.



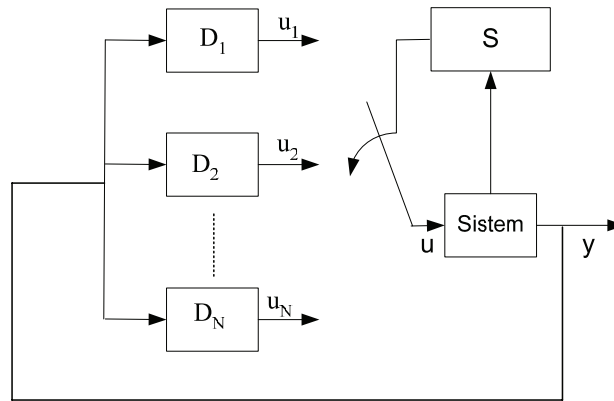
Şekil 4.13: iki girişli-tek çıkışlı Mamdani tipi bulanık model için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları



Zamana bağılı değişen büyüklük genelde hem pozitif ve hem de negatif değerler alabilir. Kavramsal ifadeler sıcaklık sistemi için, negatif, sıfır, pozitif, aç, kapat gibi ifadeler kullanılmıştır. Tank sistemi için ise neb (negatif en büyük), nb (negatif büyük), nk (negatif küçük), s (sıfır), pk (pozitif küçük), pb (pozitif büyük), peb (pozitif en büyük) bulanık kümenin etiketleri olarak tanımlanmıştır. Benzetim ve deneysel çalışmalar için kullanılan kural tabloları Bölüm 5 ve Bölüm 6'da verilmiştir.

#### 4.5 Anahtarlamalı Denetim

Anahtarlamalı denetim, klasik adaptif denetim ile karşılaştırıldığında belirsiz sistemlerde yüksek bir verim göstermektedir [59]. Anahtarlamalı denetim yöntemleri kütüphane tabanlı denetleyici seçim yaklaşımına dayanarak sınıflandırılabilir [60]. Denetleyiciler doğrusal veya doğrusal olmayan geri besleme fonksiyon ailelerini içerebilir. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi yönlendirmeli denetim algoritması (S) da denetim ailelerinden ya da denetleyici kütüphanesinden uygun fonksiyon yapısını seçerek sistemi denetlemeye devam eder. Böylece sistemin kararsızlık durumu ya da başarımındaki düşüşü engellenmiş olur. Bu çalışmada arıza dayanımlı denetim amaçlı anahtarlamalı denetim kullanılmıştır. Otomatik denetim sistemlerinin tasarımında, denetim stratejileri arasında anahtarlama yöntemi önemli bir araçtır [61]. Şekil 4.14'de anahtarlamalı sistemin genel bir yapısı görülmektedir.



Şekil 4.14: Anahtarlamalı sistemin genel yapısı

Anahtarlamaalı denetime bazı nedenlerden dolayı ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenler arasında, fiziksel sistemin dinamiğinin, yerel geçerli modellerin anahtarlanması ile ifade edilebilmesi, anahtarlamaalı denetim tasarımı için önemli durumlardan biri olan gürbüz denetim başarımı isteniliyor olması gibi durumlar sayılabilir. Örneğin, alışma koşullarında algılayıcı arızası veya denetim hatası gibi bir değişiklik oluşması durumunda yönlendirmeli denetim algoritması (S) sürece ilişkin uygun denetim hareketini başlatır.

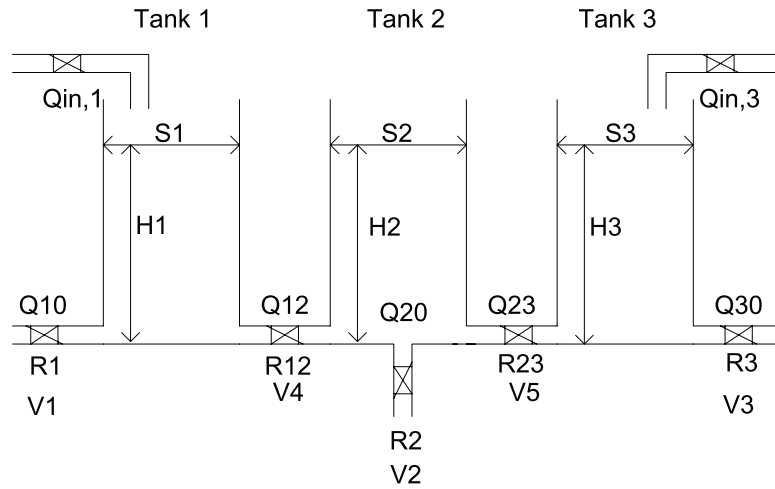
Tez çalışmasında tank sistemi için dört adet BMD, sıcaklık sistemi için ise beş adet BMD tasarlanarak denetleyici kütüphanesi oluşturulmuştur ve anahtarlamaalı denetim gerçekleştirilmiştir. Bu durum, Bölüm 5 ve Bölüm 6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

## 5. ARIZA DAYANIMLI BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

### 5.1 Tank Sistemi Tanımı

Tanklardaki sıvı seviyesinin denetimi ve aralarındaki akış durumu süreç endüstrisinde temel bir problemdir [62]. Süreç endüstrisi sıvıyı pompalama, tanklarda saklama ve bir başka tanka pompalama gereksinimi duyar. Bu durumda da tanklardaki akış seviyesi denetimi yapılması ve tanklar arasında düzenli bir akış olması gerekmektedir. Seviye ve akış denetimi kimya endüstrisi, petro-kimya endüstrisi, kağıt yapım endüstrisi ve su arıtma endüstrisinin temel noktasıdır. Üçlü tank sistemi, Avrupa Bilim Kurumu (ESF) tarafından hedef işareti sorunu (benchmark problem) olarak bildirilmiştir [63].

Üçlü tank sisteminin matematiksel modeli, sistem modeli  $Q_{in,i}$ ,  $Q_{i,0}$ ,  $Q_{i,j}$  akış oranları ile belirlenir. Tanklardaki sıvı seviyeleri  $H_1$ ,  $H_2$  ve  $H_3$  ile gösterilmektedir. Tank 2'deki su seviyesi istenilen değerde tutulmaya çalışılır. Bunun içinde BMD kullanılmıştır. Şekil 5.1'de Tank sisteminin yapısı görülmektedir [44].



Şekil 5.1: Tank Sistemi

Tankdaki değişkenlerin tanımı ise sırasıyla aşağıda verilmiştir [44].

S1 : Tank 1 alanı (8,107\*10-3 m<sup>2</sup>)

S2 : Tank 2 alanı (4,560\*10-3m<sup>2</sup>)

S3 : Tank 3 alanı (8,107\*10-3 m<sup>2</sup>)

$\rho$  : Sıvı yoğunluğu (su, 1\*103 kg/m<sup>3</sup>)

H<sub>i</sub> : Tank i deki sıvı seviyesi i=1,2,3 m

Q<sub>in,i</sub> :Pompa i den sıvının akış oranı i=1,3 m<sup>3</sup>/sn

Q<sub>i,0</sub> :Tank i den sıvının akış oranı i=1,2,3 m<sup>3</sup>/sn

Q<sub>ij</sub> :Tank i ve Tank j arasında sıvının akış oranı i,j=1,2,3 m<sup>3</sup>/sn

R<sub>i</sub> : Valf i'nin akış direnci i=1,2,3 kg/m<sup>5</sup>

R<sub>ij</sub> : Tank i ve Tank j arasındaki akış direnci i,j=1,2,3 kg/m<sup>5</sup>

Tank 1, tank 2 ve tank 3 için akış denge ifadeleri Denklem 5.1, Denklem 5.2 ve Denklem 5.3'de verilmiştir.

$$S_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{in,1} - Q_{10} - Q_{12} \quad (5.1)$$

$$S_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{12} - Q_{20} - Q_{23} \quad (5.2)$$

$$S_3 \frac{dH_3}{dt} = Q_{in,3} + Q_{23} - Q_{30} \quad (5.3)$$

Sistem modeli, akış dengelerinden ve valflardaki doğrusal olmayan akış denklemlerinden ortaya çıkar. Denklem 5.4, Denklem 5.5, Denklem 5.6 ve Denklem 5.7'de üçlü tank sisteminin dinamik ifadelerini göstermektedir.

$$\frac{dH_1}{dt} = -\frac{k_1}{S_1} \sqrt{gH_1(t)} - \frac{k_{12}}{S_1} \text{sgn}(H_1(t) - H_2(t)) \sqrt{g|H_1(t) - H_2(t)|} + \frac{Q_{in,1}}{S_1} \quad (5.4)$$

$$\frac{dH_2}{dt} = -\frac{k_2}{S_2} \sqrt{gH_2(t)} + \frac{k_{12}}{S_2} \text{sgn}(H_1(t) - H_2(t)) \sqrt{g|H_1(t) - H_2(t)|} - \frac{k_{23}}{S_2} \text{sgn}(H_2(t) - H_3(t)) \sqrt{g|H_2(t) - H_3(t)|} \quad (5.5)$$

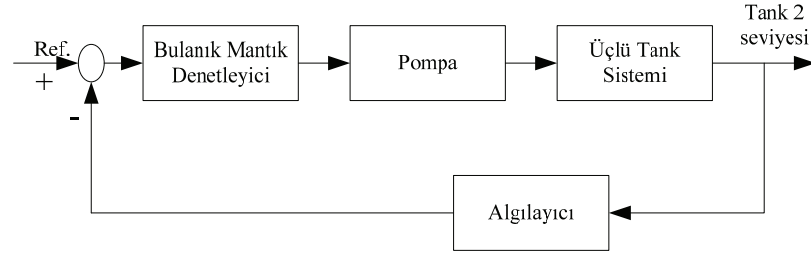
$$\frac{dH_3}{dt} = -\frac{k_3}{S_3} \sqrt{gH_3(t)} + \frac{k_{23}}{S_3} \text{sgn}(H_2(t) - H_3(t)) \sqrt{g|H_2(t) - H_3(t)} + \frac{Q_{in,3}}{S_3} \quad (5.6)$$

$$k_1 = \frac{\rho}{R_1}, \quad k_2 = \frac{\rho}{R_2}, \quad k_3 = \frac{\rho}{R_3}, \quad k_{12} = \frac{\rho}{R_{12}}, \quad k_{23} = \frac{\rho}{R_{23}} \quad (5.7)$$

Üçlü Tank sistemi için her bir tankın MatLab-Simulink modeli Şekil A.1, Şekil A.2, Şekil A.3'de verilmiştir.

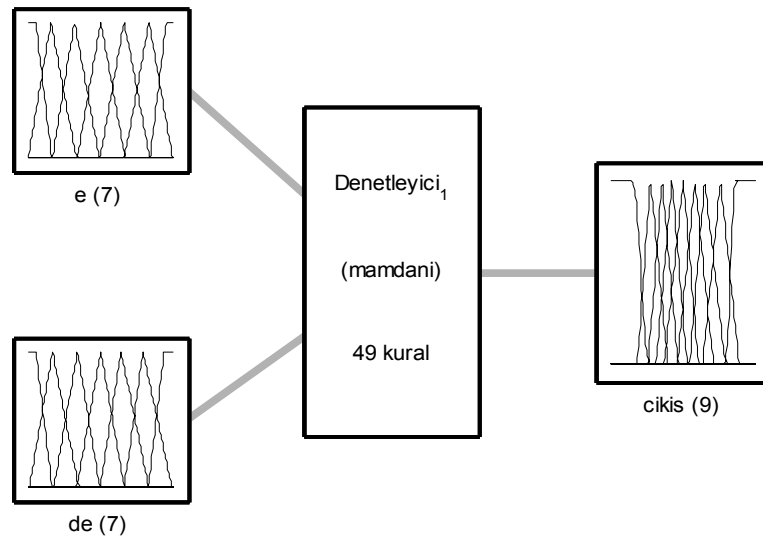
### 5.1.1 Arıza dayanımlı tank sistemi denetimi benzetim sonuçları

Sistemde BMD kullanılarak tank 2'deki sıvı seviyesini istenilen düzeyde tutulması sağlanmıştır. Bu durum Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: BMD ile seviye denetimi

Üçlü tank sisteminin seviye denetiminde kullanılan BMD yapısı Şekil 5.3'de verilmiştir.



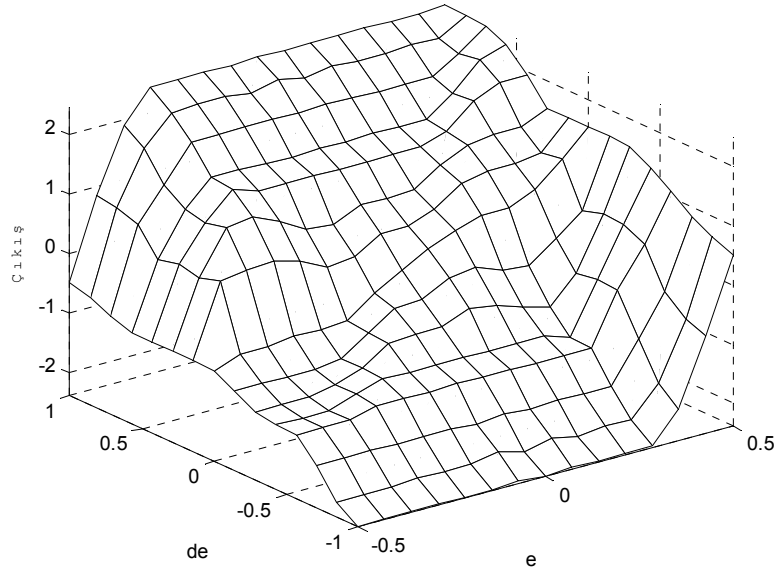
Şekil 5.3: Tank sistemi için Bulanık Mantık denetleyici yapısı

Şekil 5.3'den de görüldüğü gibi hata (e) ve hata değişimi (de) için 7 kural, çıkış için 9 kural yazılmıştır. BMD ile tank 2 seviyesi istenilen değerde tutulmaya çalışılmıştır. Çalışmalarda arzu edilen seviye 0,3 m. olarak alınmıştır. Tank sistemine arızalar 30. sn'den itibaren uygulanmıştır. BMD ile gerçekleştirilen sistem denetiminin kural tablosu Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: BMD kural tablosu

		Hata değişimi (de)						
		NEB	NB	NK	S	PK	PB	PEB
Hata (e)	NEB	NEB	NB	NB	NK	NK	NK	NEK
	NB	NEB	NB	NB	NK	PB	PB	PEB
	NK	NEB	NB	NK	NK	PK	PB	PEB
	S	NEB	NB	NK	S	PK	PB	PEB
	PK	NEB	NB	NK	PEK	PK	PB	PEB
	PB	NEB	NB	NB	PEK	PB	PB	PEB
	PEB	PEK	PK	PB	PB	PB	PEB	PEB

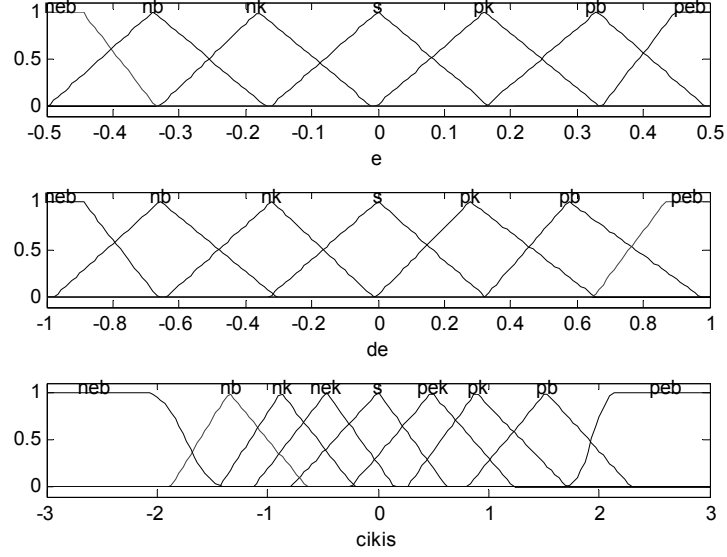
Kural tablosunun üç boyutlu görünümü Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4: Kural tablosunun üç boyutlu görünümü

Nominal BMD'nin girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Nominal BMD için e'nin üyelik

fonksiyonları  $[-0.5,0.5]$  aralığında,  $de$ 'nin üyelik fonksiyonları  $[-1,1]$  aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise  $[-3,3]$  aralığında tanımlanmıştır.



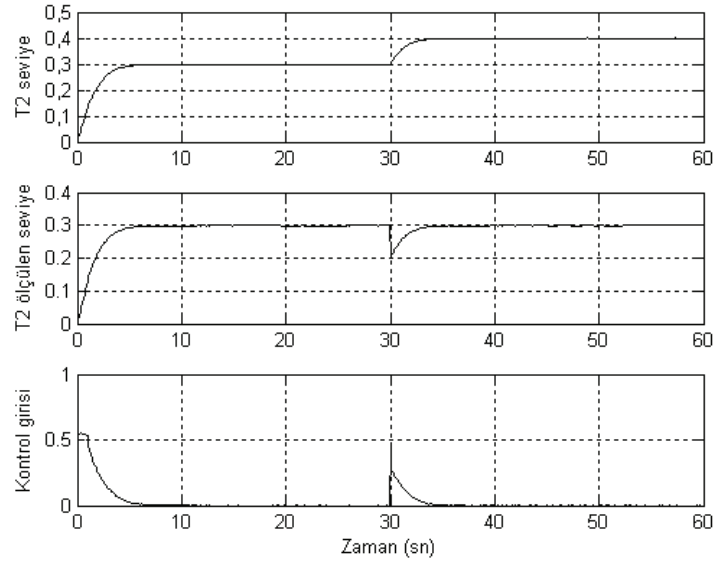
Şekil 5.5: Hata (e), hata değişimi (de) ve çıkış'ın üyelik fonksiyonlarının grafiği

BMD kullanılarak gerçekleştirilen tank sistemin Matlab-Simulink modeli Şekil A.4'de verilmiştir. BMD ile seviye denetimi gerçekleştirilen sisteme algılayıcı arızaları uygulanarak, arızaların etkisi incelenmiştir. Tank sistemi için uygulanan algılayıcı arızaları durum numaralarına göre Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Uygulanan arızalar

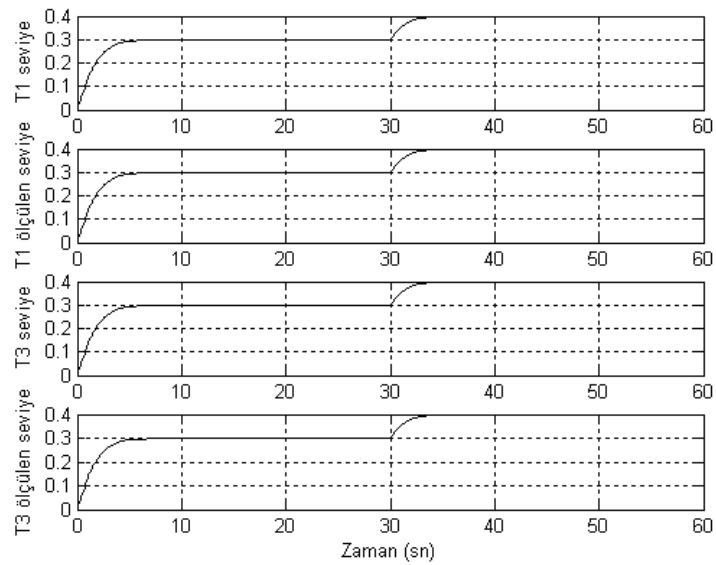
Durum No	Durum
0	Normal çalışma koşulu
1	Tank 2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)
2	Tank 3 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x1.1)
3	Tank 2 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.8)
4	Tank 1 seviye algılayıcısı için çarpımsal arıza (x0.7)
5	Tank 3 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (-0.1)
6	Tank 1 seviye algılayıcısı için tıkama tipinde arıza (0.4)
7	Tank 2 seviye algılayıcısı için toplamsal arıza (+0.05)

Şekil 5.6'da 1 nolu durum için arızanın, tank 2 (T2) seviyesine, T2 ölçülen seviyesine ve kontrol girişine olan etkisi görülmektedir. 1 nolu durum için -0.1'lik toplamsal arıza uygulanmıştır. Tüm arızaların MatLab-Simulink modelleri Şekil A.10, Şekil A.11, Şekil A.12, Şekil A.13, Şekil A.14, Şekil A.15 ve Şekil A.16'da verilmiştir.



Şekil 5.6: 1 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi

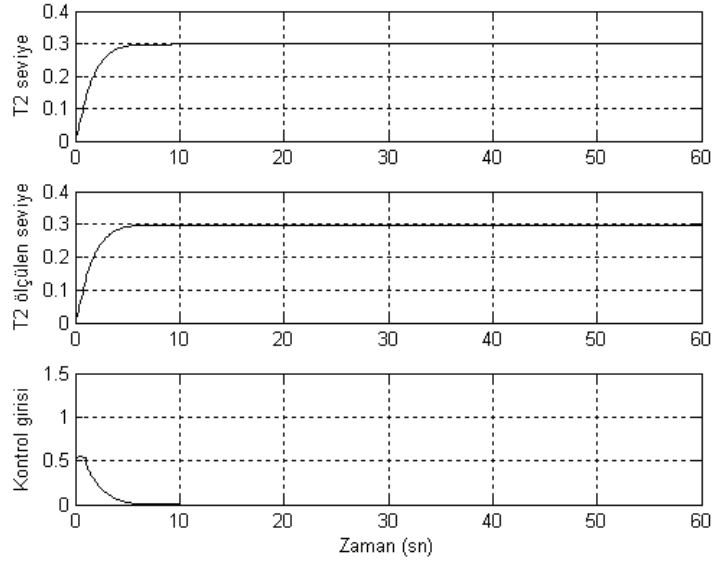
Şekil 5.7'de tank 1 (T1) ve tank 3 (T3) seviyelerinin arızadan nasıl etkilendiği gösterilmiştir.



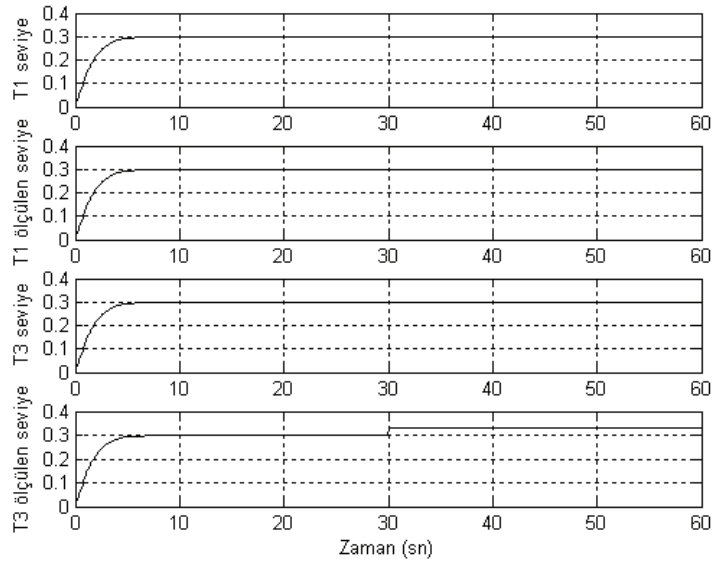
Şekil 5.7: 1 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi



Şekil 5.8, 2 nolu durum için arızanın tank 2 seviyesine, T2 ölçülen seviyesine ve kontrol girişine etkisini göstermektedir. 2 nolu durum için 1.1'lik çarpımsal arıza uygulanmıştır. 2 nolu durum tank 3 algılayıcısına uygulandığından tank 2 seviyesini etkilemeyecektir. Çünkü amaç tank 2 seviyesini istenilen düzeyde tutmak olduğu için ancak tank 2 algılayıcısında bir arıza olduğunda sistem çalışmasını etkileyecektir. Tank 3 ve tank 1 algılayıcılarında herhangi bir arıza olması sadece yanlış bilgi edinmemize neden olur.

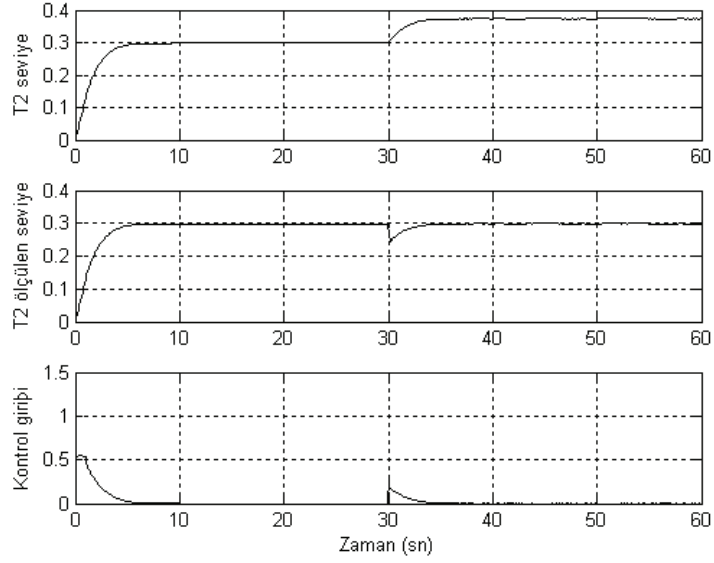


Şekil 5.8: 2 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi

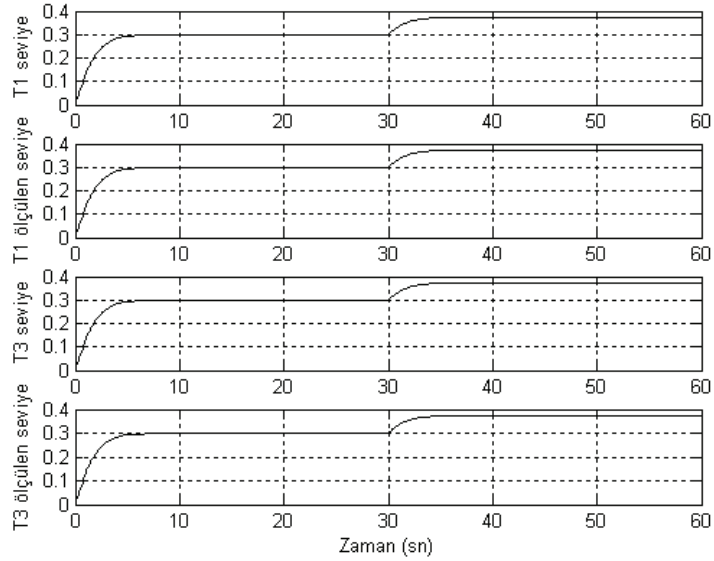


Şekil 5.9: 2 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Şekil 5.9’da görüldüğü gibi tank 3 algılayıcısına arıza uygulandığından sadece algılayıcı çıkışından hatalı bir ölçüm sonucu alınmış olur. Şekil 5.10’da 3 nolu durum için arızanın tank 2 seviyesine, T2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi görülmektedir. 3 nolu durum için tank 2 algılayıcısına 0.8’lik çarpımsal arıza uygulanmıştır. Şekil 5.11’de 3 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkileri görülmektedir.



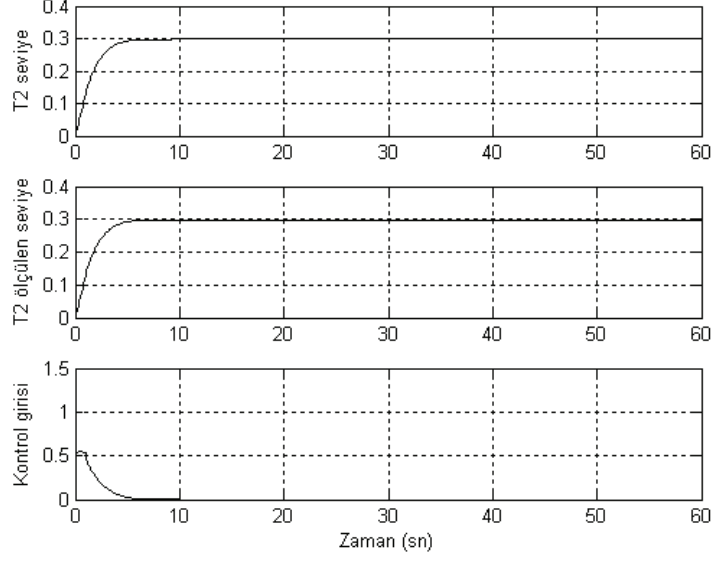
Şekil 5.10: 3 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi



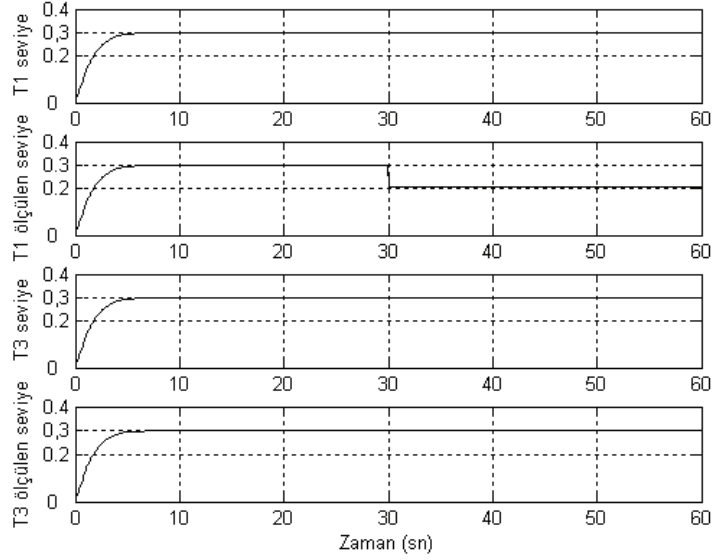
Şekil 5.11: 3 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Şekil 5.12, 4 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol

girişine olan etkisini göstermektedir. 4 nolu durum için 0.7'lik çarpımsal arıza tank 1 algılayıcısına uygulanmıştır. Şekil 5.13'de 4 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkileri görülmektedir.



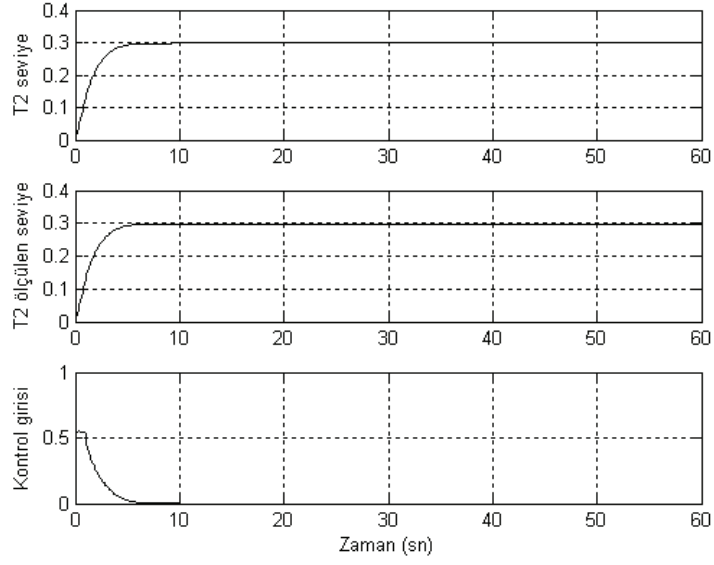
Şekil 5.12: 4 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi



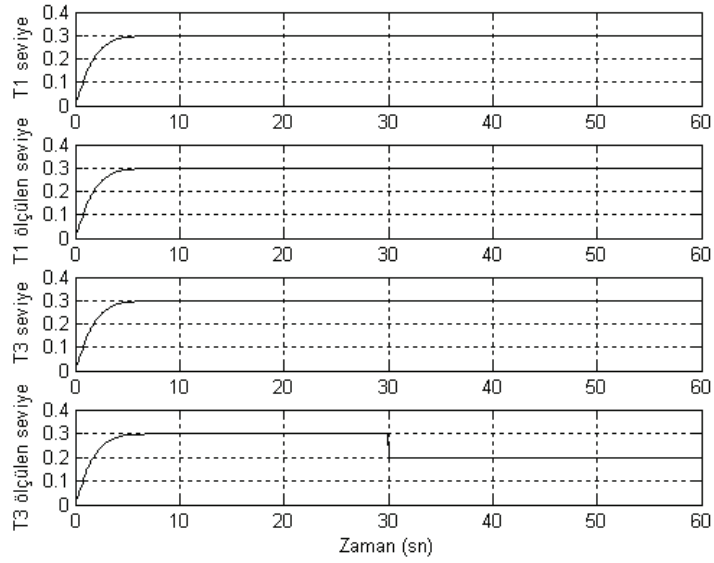
Şekil 5.13: 4 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Şekil 5.14, 5 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviye ve kontrol girişine olan etkisini göstermektedir. 5 nolu durum için -0.1'lik toplamsal arıza tank 3 algılayıcısına uygulanmıştır. Şekil 5.15'de 5 nolu arızanın tank 1 (T1) ve tank 3 (T3)

seviyelerine etkileri görülmektedir.

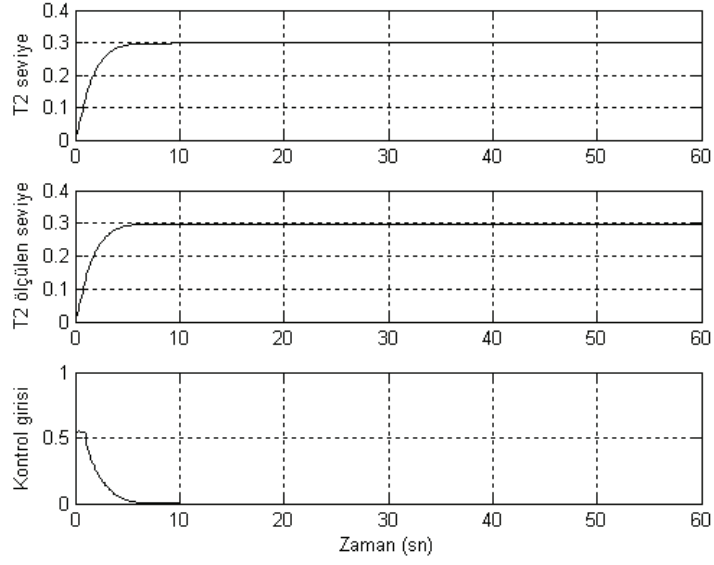


Şekil 5.14: 5 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi

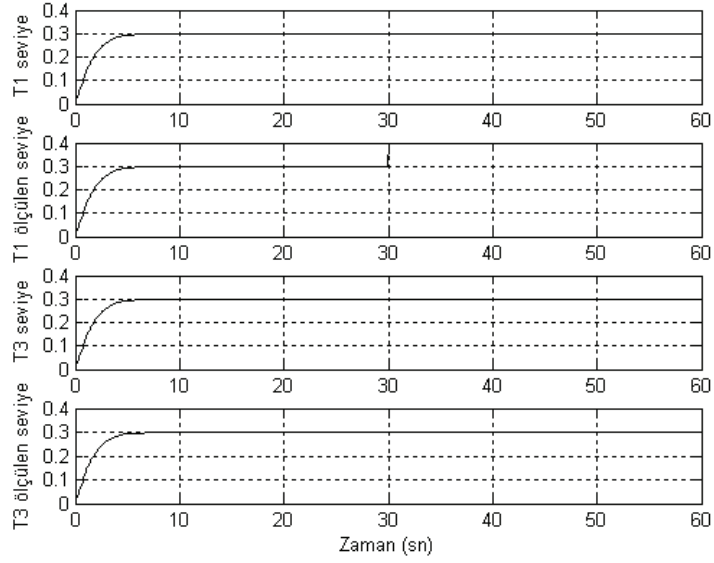


Şekil 5.15: 5 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Şekil 5.16, 6 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine olan etkisini göstermektedir. 6 nolu durum için tank 1 algılayıcısına 0.4 değerinde tıkanma arızası uygulanmıştır. Şekil 5.17’de 6 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkileri görülmektedir.

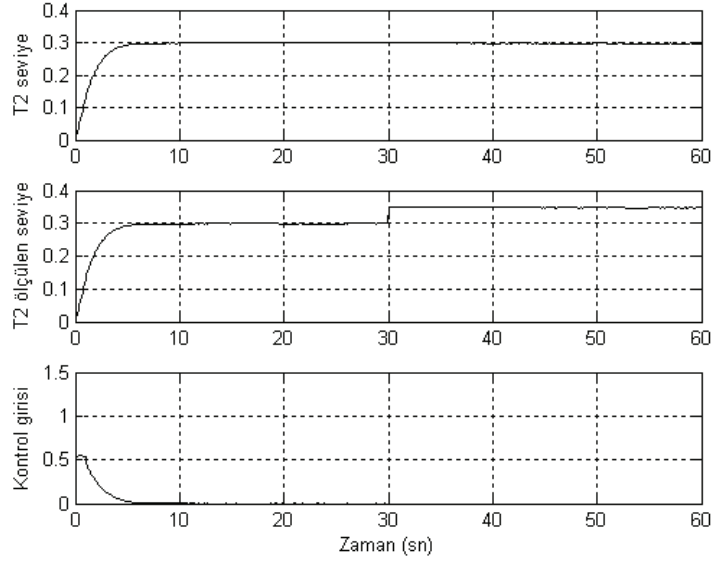


Şekil 5.16: 6 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi

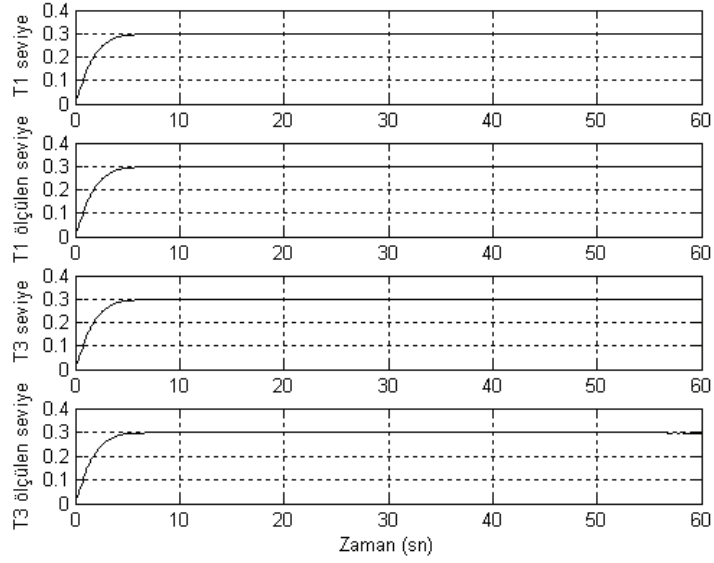


Şekil 5.17: 6 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Şekil 5.18, 7 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine olan etkisini göstermektedir. 7 nolu durum için tank 2 algılayıcısına 0.05'lik toplamsal arıza uygulanmıştır. Şekil 5.19'da 7 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkileri görülmektedir. Tanklarda sızıntı olmadığından algılayıcıdan alınan ölçüm sonucu referans değerden fazla olmasına rağmen seviyede nominal denetleyiciden dolayı bir değişim olmamıştır.



Şekil 5.18: 7 nolu arızanın tank 2 seviyesine, tank 2 ölçülen seviyeye ve kontrol girişine etkisi



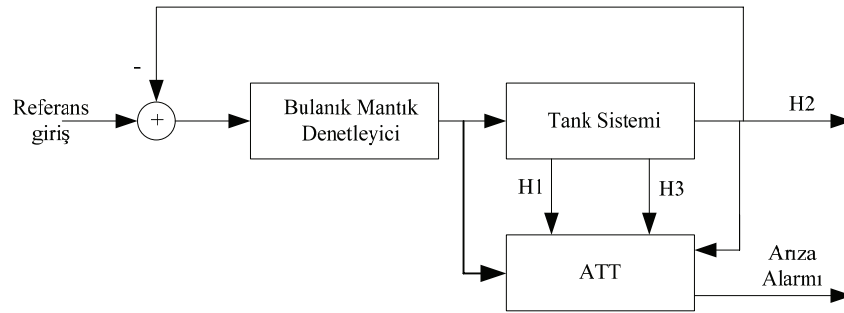
Şekil 5.19: 7 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkisi

Nominal denetleyicinin, arızalara göstermiş olduğu durumlar karşısındaki karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hata değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir. Arızaların sistem başarımına olan etkilerini en aza indirmek için arıza dayanımlı denetim uygulanmıştır. Arıza dayanımlı denetimde ilk olarak arızaların doğru bir şekilde tespit edildikten sonra tanınması gerekir.

Tablo 5.3: Nominal denetleyicinin tank sisteminde oluşan arızalar karşısındaki karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hatası değerleri

Durum No	Karesel hatalar toplamı	Kalıcı hal hatası
1	0.0092	-0.0990
2	2.0988e-006	0.0015
3	0.0050	-0.0732
4	2.0988e-006	0.0015
5	2.0988e-006	0.0015
6	2.0988e-006	0.0015
7	0.0032	0.0509

Şekil 5.20’de ATT yönteminin tank sistemine uygulanması görülmektedir.



Şekil 5.20: ATT yönteminin tank sistemine uygulama yapısı

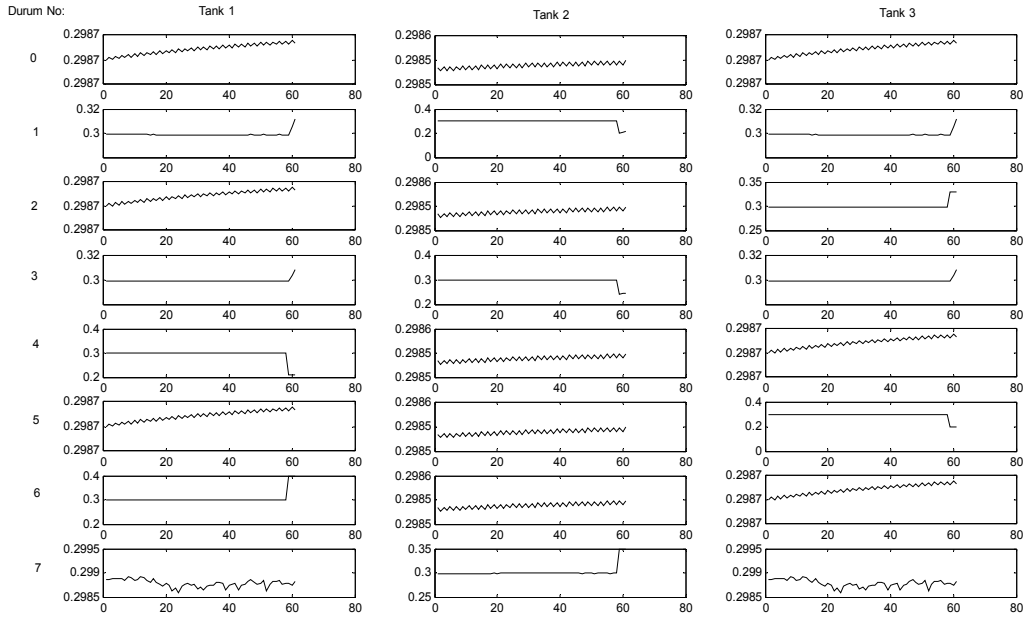
Sistemde Tablo 5.2’de gösterilen arıza durumları için benzetim yapıldıktan sonra her arıza durumunun özellik vektörü çıkartılarak bilgi tabanı oluşturulmuştur. Sistemin durum geçişlerini tespit için Pencereleme yöntemi kullanılmıştır. Pencereleme yöntemi örnekleme periyodunun başındaki ve sonundaki örneklenmiş bilgiyi sıfır olmaya zorlar. Bu işlem ile süreksizlik durdurulur. Pencereleme yönteminden yararlanılarak oluşturulan her bir özellik vektörü 16 nokta içermektedir.

- $\ddot{v}_j = \{\ddot{v}_i\}_j \quad i=1, \dots, 16 \quad j=\text{Arıza durum sayısı}$
- $\ddot{v}_1, \ddot{v}_2$  tank 1 seviyesinin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
  - $\ddot{v}_3, \ddot{v}_4$  tank 2 seviyesinin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
  - $\ddot{v}_5, \ddot{v}_6$  tank 3 seviyesinin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
  - $\ddot{v}_7, \ddot{v}_8$  giriş işaretinin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı

öv<sub>9</sub>,öv<sub>16</sub>

öv<sub>1</sub>-öv<sub>8</sub> ‘deki adımlar yaklaşım katsayıları için tekrar edilir.

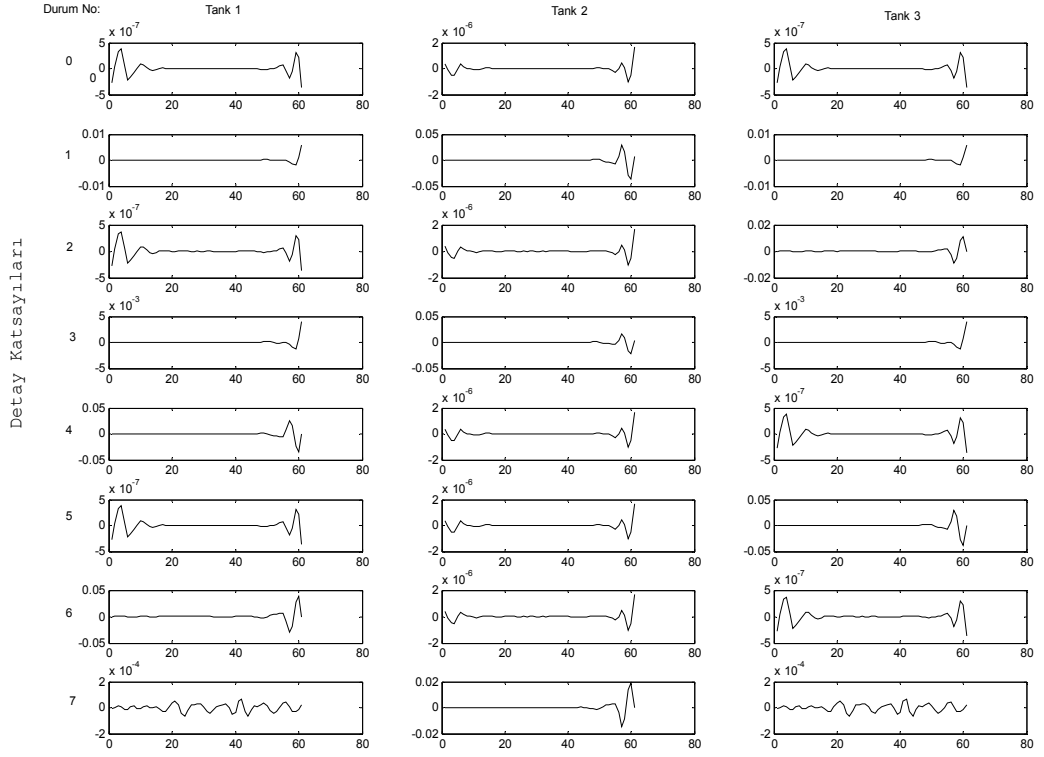
$r_1$ ,  $r_2$  değişim oranları sırasıyla Varyansın değişim oranı ve Değişim oranının maksimum ya da minimum mutlak değerini ifade etmektedir. Detay ve yaklaşım katsayılarının hesaplandığı pencerelemiş olan işaret Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Pencerelemiş olan işaretin detay ve yaklaşım katsayılarını elde etmek için dalgacık olarak Daubechies dalgacığı kullanılmıştır.



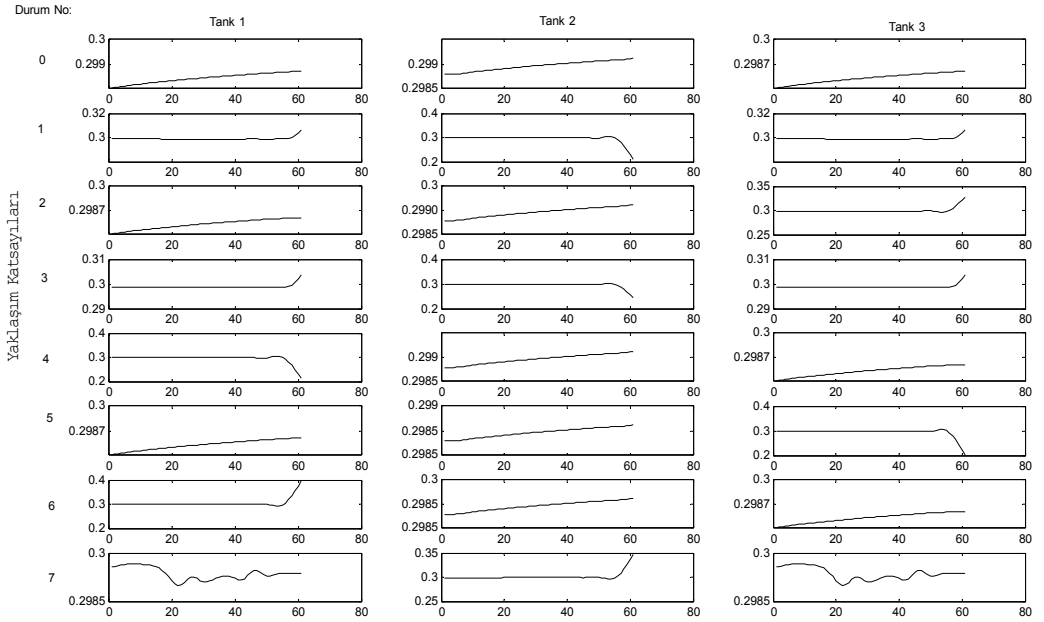
Şekil 5.21: Tank sisteminde özellik vektörü için pencerelemiş işaret

İşaret işleme modülünden sonra özellik çıkartım modülüne gönderilen Pencerelemiş işarete Ayırık Dalgacık dönüşümü uygulanarak detay ve yaklaşım katsayıları Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



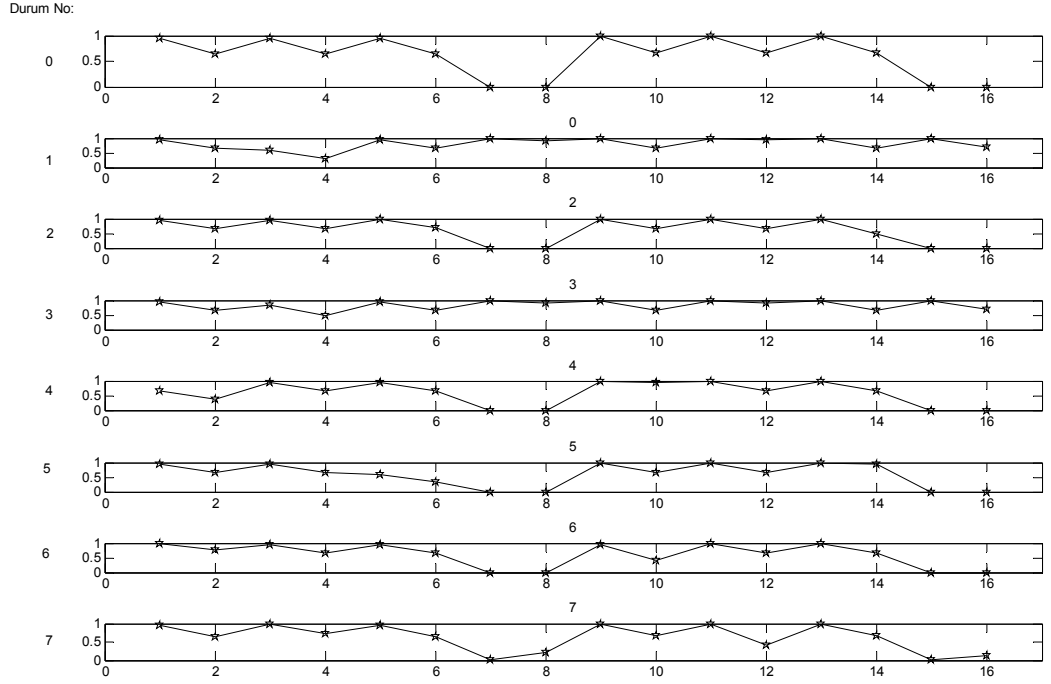


Şekil 5.22: Tank sisteminin her bir arıza durumu için detay katsayıları



Şekil 5.23: Tank sisteminin her bir arıza durumu için yaklaşım katsayıları

Detay ve yaklaşım katsayılarından faydalanılarak yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucunda elde edilen algılayıcı arızalarının özellik vektörleri Şekil 5.24'de gösterilmektedir.



Şekil 5.24: Tank sistemi için algılayıcı arızalarının özellik vektörleri

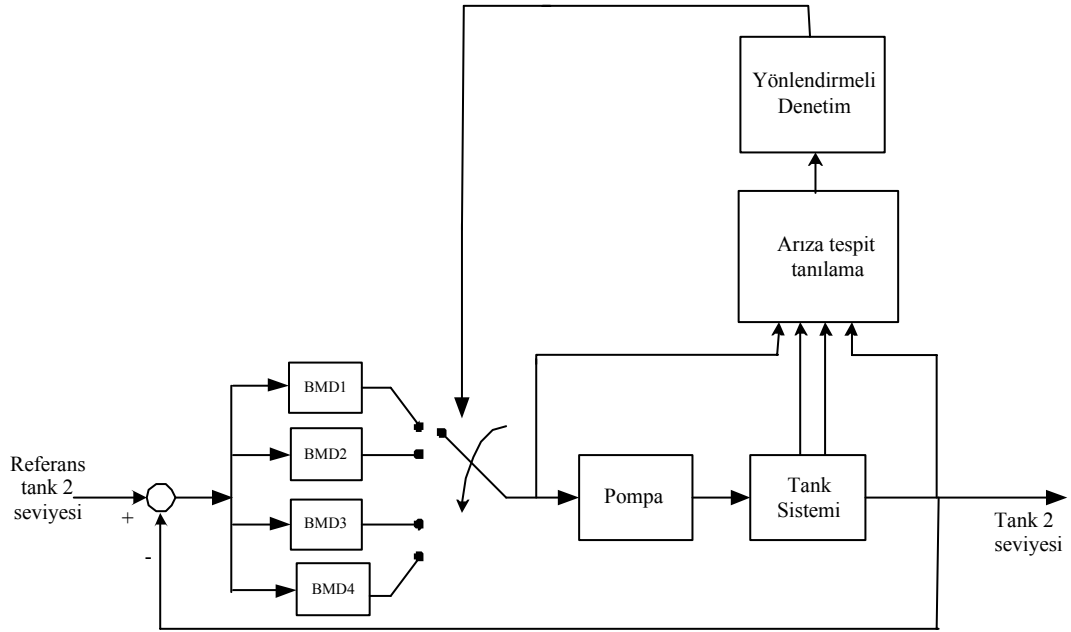
Özellik vektörü oluşturulduktan sonra SOM yapay sinir ağı kullanılarak arızalar sınıflandırılmıştır. Özellik vektörlerinin sınıflandırılması sonucu elde edilen özellik tablosu Şekil 5.25’de gösterilmiştir. Böylece bilgi tabanı oluşturulmuştur.

11	4	4	4	3	1	1	1	3	3	3
10	4	4	4	3	3	1	1	3	3	3
9	4	4	7	7	7	3	3	3	3	3
8	4	7	7	7	7	7	7	7	6	6
7	0	7	7	7	7	7	7	6	6	6
6	5	7	7	7	7	7	7	6	6	6
5	5	0	0	7	0	7	0	6	6	6
4	5	5	0	0	0	0	0	0	2	6
3	5	5	0	0	0	0	0	2	2	2
2	5	5	0	0	0	0	0	2	2	2
1	5	5	0	0	0	0	0	2	2	2

Şekil 5.25: Özellik vektörlerinin sınıflandırılması

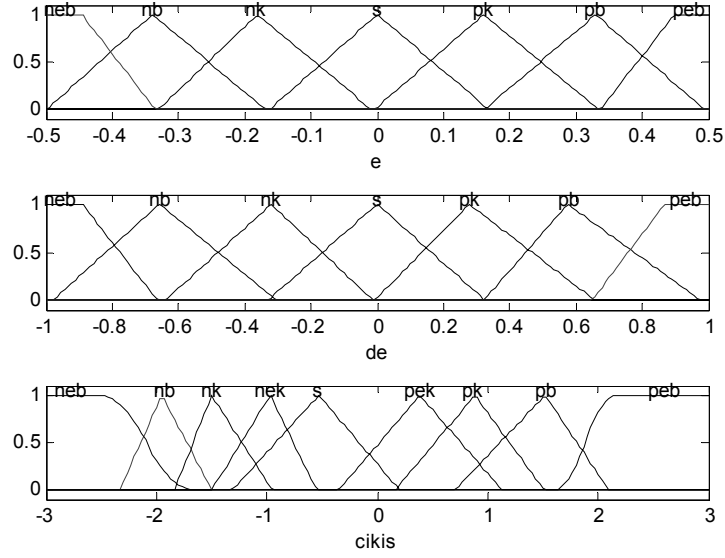
Her bir algılayıcı arızası için bilgi tabanı oluşturulduktan sonra sistemde arıza olması durumunda arızaya uygun denetleyicinin anahtarlama yöntemiyle sisteme alınması

ile başarımını düşürmeyecek şekilde çalışmasını devam ettirecek arıza dayanımlı denetim gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.26'da tank sistemi için arıza dayanımlı denetim görülmektedir. Şekil 5.26'dan da görüldüğü gibi tankların her birinden alınan seviye ölçümleri ve denetim işareti ATT bloğuna gönderilir ve sistemde ki arıza durumuna göre yönlendirmeli denetim aracılığıyla uygun denetleyici seçilerek sistem kabul edilebilir başarımda çalışmasına devam eder. Tank sisteminin arıza dayanımlı denetim MatLab-Simulink modeli Şekil A.5'de verilmiştir. Şekil 5.26'dan da görüldüğü gibi tank 2 sıvı seviyesi değişimini etkileyebilecek arıza durumları için BMD'ler tasarlanmıştır.



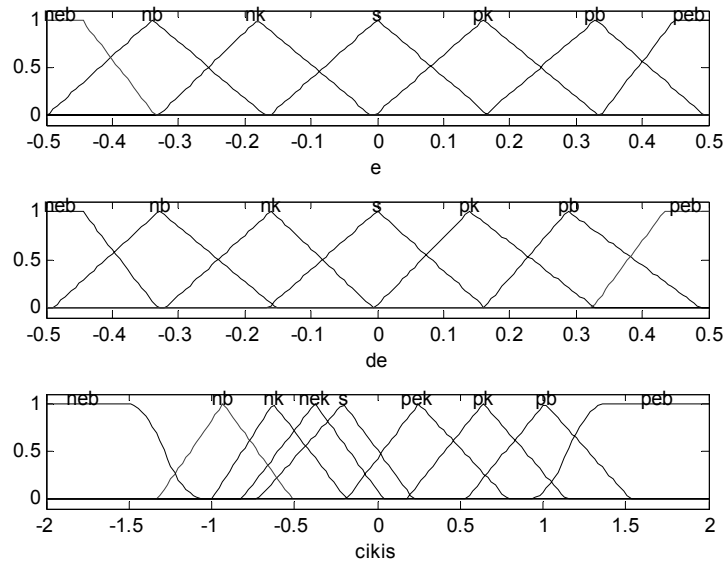
Şekil 5.26: Tank sistemi için arıza dayanımlı denetim

Durum no 1 için gerekli denetleyici olarak BMD2 kullanılmıştır. BMD2'nin girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.27'de gösterilmiştir. BMD2 için e'nin üyelik fonksiyonları  $[-0.5, 0.5]$  aralığında, de'nin üyelik fonksiyonları  $[-1, +1]$  aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise  $[-3, +3]$  aralığında tanımlanmıştır.



Şekil 5.27: BMD2 için üyelik fonksiyonlarının grafiği

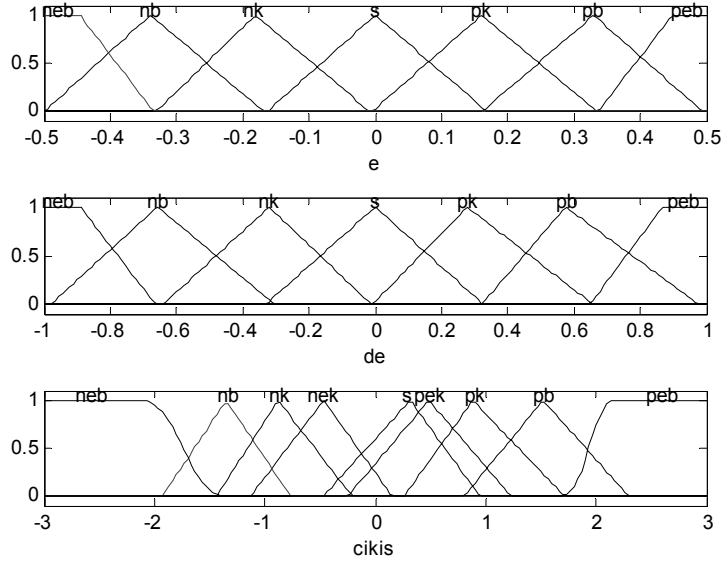
Durum no 3 için gerekli denetleyici olarak BMD3 kullanılmıştır. BMD3'ün girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.28'de gösterilmiştir. BMD3 için e'nin ve de'nin üyelik fonksiyonları  $[-0.5, 0.5]$  aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise  $[-2, +2]$  aralığında tanımlanmıştır.



Şekil 5.28: BMD3 için üyelik fonksiyonlarının grafiği

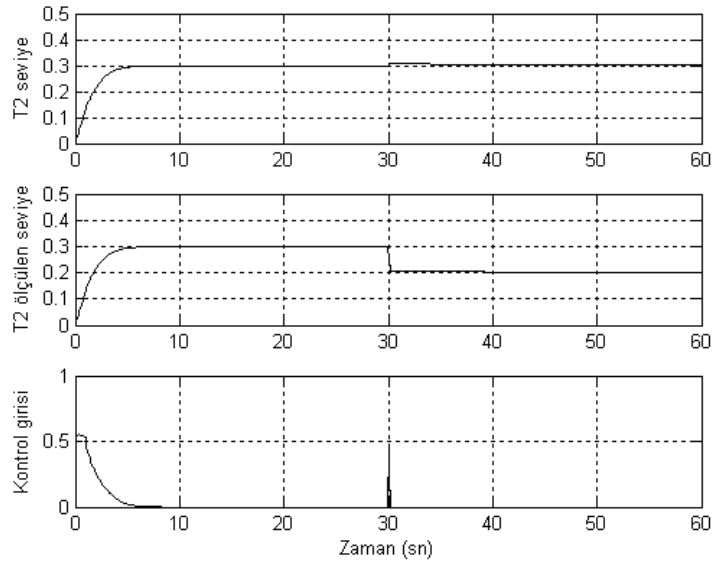
Durum no 7 için BMD4 denetleyicisi kullanılmaktadır. BMD4'ün girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.29'da gösterilmiştir.

BMD4 için  $e$ 'nin üyelik fonksiyonları  $[-0.5,0.5]$  aralığında,  $de$ 'nin üyelik fonksiyonları  $[-1,1]$  aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise  $[-3,3]$  aralığında tanımlanmıştır.



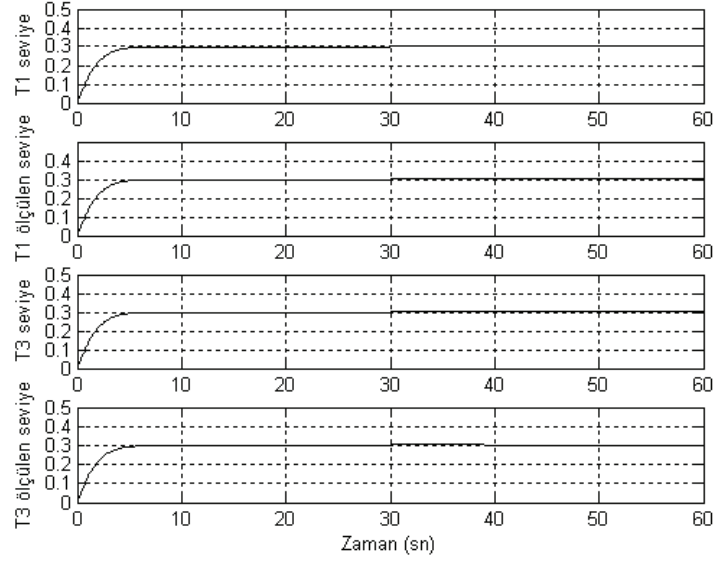
Şekil 5.29: BMD4 için üyelik fonksiyonlarının grafiği

Tank sistemi için arıza dayanımlı denetim gerçekleştirildiğinde arızalara karşı tank 2 seviye değişimleri sırasıyla verilmiştir. Şekil 5.30'da 1 nolu durum için arıza dayanımlı denetim sonucu gösterilmiştir. Tank 2 seviyesinde 30. sn'den itibaren algılayıcı arızası girmesine rağmen, tank 2, arzu edilen 0.3 değerinde seviyesini korumuştur



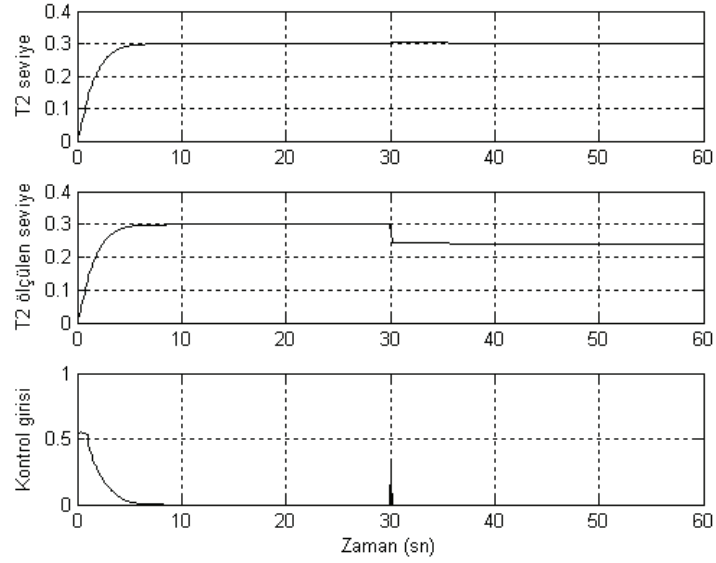
Şekil 5.30: Arıza dayanımlı denetim ile 1 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi

Şekil 5.31, 1 nolu arızanın Tank 1 ve Tank 3 seviyelerine etkileri görülmektedir.



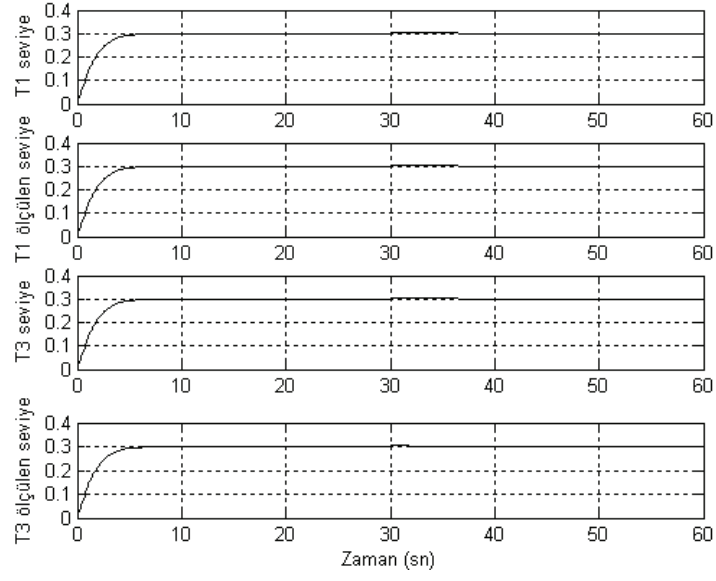
Şekil 5.31: Arıza dayanımlı denetim ile 1 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi

Şekil 5.32’de 3 nolu durum için arıza dayanımlı denetim sonucu gösterilmiştir.



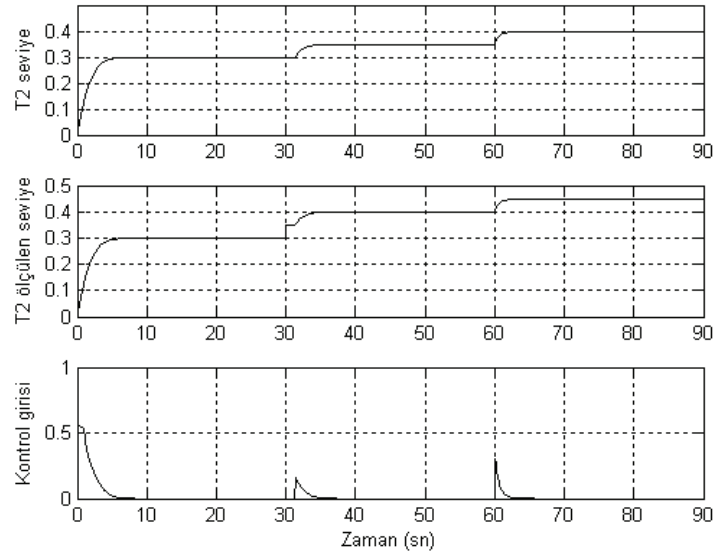
Şekil 5.32: Arıza dayanımlı denetim ile 3 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi

Şekil 5.33, arıza dayanımlı denetim durumunda 3 nolu arızanın tank 1 ve tank 3 seviyelerine etkilerini göstermektedir.



Şekil 5.33: Arıza dayanımlı denetim ile 3 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi

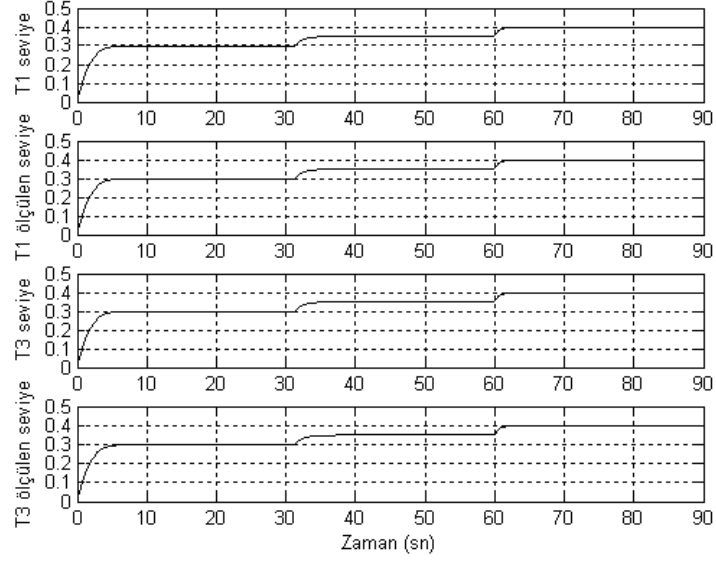
Şekil 5.34'de 7 nolu durum için arıza dayanımlı denetim sonucu gösterilmiştir. 7 nolu durum da 30-90 sn aralığında 0.05'lik bir toplamsal arıza etkin hale getirilmiştir. Arıza tespit edildikten ve tanıldıktan sonra tank sisteminde arızanın etkisini daha rahat inceleyebilmek açısından referans seviye değeri 0.3'den 0.4'e yükseltilmiştir. 30 sn'lik süre için nominal denetleyici ile çalıştırılarak arıza etkisi gözlenmiştir.



Şekil 5.34: Arıza dayanımlı denetim ile 7 nolu durumun tank 2 seviyesine etkisi

Şekil 5.34'den de görüldüğü gibi istenilen seviye değeri 0.4 m.'ye ulaşamamıştır. Daha sonra 60. sn'den itibaren bu duruma uygun denetleyici yani BMD\_4 devreye

girerek sistemi arzu edilen seviye değerine getirmiştir. Şekil 5.35, arıza dayanımlı denetim ile 7 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisini göstermektedir.



Şekil 5.35: Arıza dayanımlı denetim ile 7 nolu durumun tank 1 ve tank 3 seviyesine etkisi

Şekil 5.30, Şekil 5.32 ve Şekil 5.34 de gösterilen arıza dayanımlı denetimde arızalara uygun denetleyiciler kullanılarak elde edilmiş olan karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hata değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4: Arıza dayanımlı tank sistemi denetimin arızalara göstermiş olduğu karesel hatalar toplamı ve kalıcı hal hata değerleri

Durum No	Karesel hatalar toplamı	Kalıcı hal hatası
1	9.9655e-006	-9.0000e-004
3	2.4683e-006	-4.0000e-004
7	3.6498e-005	0.0016

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de görüldüğü gibi 1,3 ve 7 nolu durumlar için uygun denetleyiciler sisteme alındığında karesel hata toplamı ve kalıcı hal hata değerleri düşmektedir. Sistem, arızalara rağmen kabuledilebilir başarımda çalışmasını sürdürmektedir.



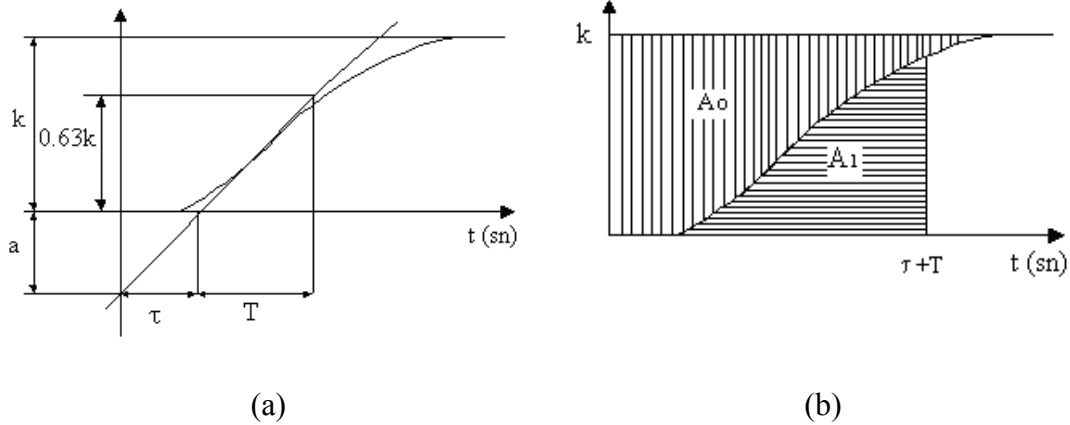
## 5.2 Sıcaklık Sistemi Tanımı

Endüstride yaygın olarak kullanılan birinci derece artı zaman gecikmeli (FOPDT), sistemler de sistem tanıma için kullanılan yöntemlerden Ziegler-Nichols Basamak Cevabı Yöntemi ve Röle Yöntemi açıklanmıştır. Bu çalışmada kullanılan fırın FOPDT bir sistemdir ve sistemin genel transfer fonksiyonu Denklem 5.8 de verilmiştir.

$$G(s) = \frac{Ke^{-s\tau}}{Ts + 1} \quad (5.8)$$

Burada K sistemin kazancı, T sistemin zaman sabiti ve  $\tau$  ise sistemin zaman gecikmesini ifade eder.

Ziegler-Nichols basamak cevabı yönteminde Şekil 5.36'da görüldüğü gibi sadece iki parametre kullanılır (a ve  $\tau$ ). Burada a maksimum eğimi,  $\tau$  ölü zamanı ifade etmektedir. k sistemin set değerini göstermektedir. Sistem çıkışının set değeri k'nın %63'üne geldiği süre, T zaman sabiti olarak gösterilir [64].



Şekil 5.36: a)Ziegler-Nichols basamak cevabı yönteminde kullanılan sistem çıkışı parametrelerinin bulunması. b)  $\tau$  ve T'nin belirlenmesi için kullanılan alan yöntemi.

$k$ ,  $\tau$  ve T parametreleri Şekil 5.36-a'da görüldüğü gibi grafiksel olarak belirlenebilir. Aynı zamanda alan temeline dayalı kullanılacak yöntemler de mevcuttur. Bu yöntemlerden biri Şekil 5.36-b'de verilmiştir. Burada, önce  $A_0$  alanı belirlenir.

Denklem 5.9 kullanılarak, basamak cevabının altındaki  $\tau+T$ 'ye kadar olan  $A_1$  alanı belirlenir. Denklem 5.10 kullanılarak da  $T$  belirlenir.

$$\tau + T = \frac{A_0}{k} \quad (5.9)$$

$$T = \frac{e A_1}{k} \quad (5.10)$$

Bu kısımda, önceden hazırlanmış fırının modelinin çıkartılması için gerekli olan  $a$ ,  $T$  ve  $\tau$  parametrelerinin belirlenebilmesi için Ziegler- Nichols Basamak Cevabı Alan hesabı yöntemi kullanılmıştır. Ziegler-Nichols Basamak Cevabı Alan Yöntemi kullanılarak elde edilen fırın parametreleri Denklem 5.11'de verilmiştir [64].

$$\tau = 64.1427 \text{ sn} \quad T = 1494.7 \text{ sn} \quad a = 4.5473 \quad (5.11)$$

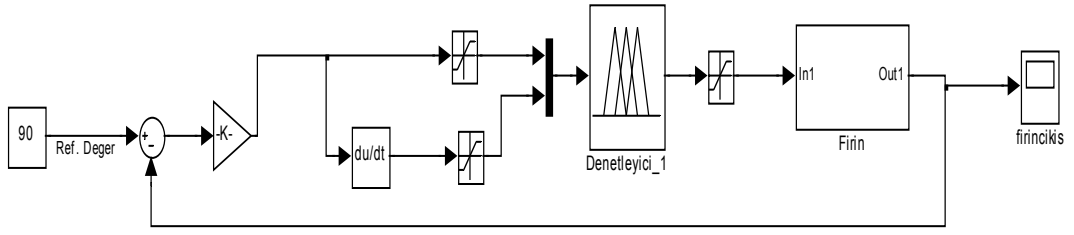
$T$ ,  $k$ ,  $\tau$  kullanılarak elde edilen fırının transfer fonksiyonu Denklem 5.12'deki gibi elde edilir. PID denetleyici kullanımı söz konusu olduğunda, maksimum eğim olan  $a$  değeri parametreleri belirlemede kullanılabilir.

$$G(s) = \frac{106}{1495s + 1} e^{-64.14s} \quad (5.12)$$

Benzetimlerde, fırının Ziegler-Nichols Basamak Cevabı Alan Yönteminden yararlanılarak elde edilen modeli kullanılmıştır.

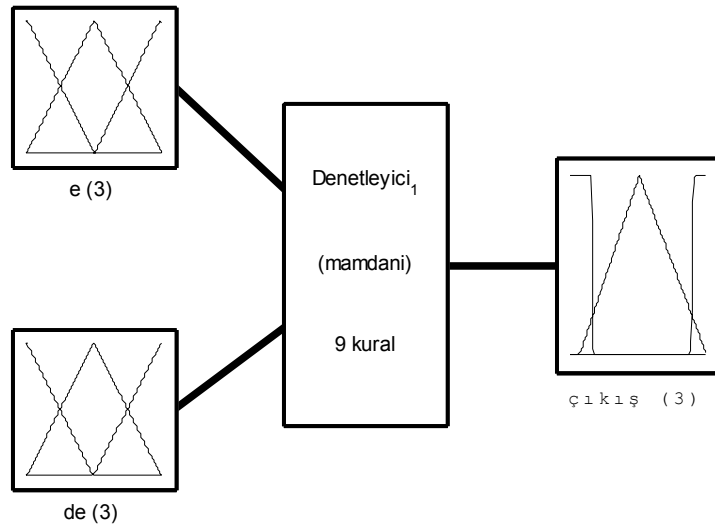
### 5.2.1 Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetimi benzetim sonuçları

Fırının Matlab-Simulink modeli Şekil A.6'da görülmektedir. Fırının sıcaklık denetimi BMD kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.37'de denetim yapısı gösterilmiştir. Şekil 5.37'den de görüldüğü gibi hata 1/10 değeri ile çarpılmıştır. Denetleyici çıkışı 0-2 aralığında sınırlandırılmıştır.



Şekil 5.37: Sıcaklık sisteminin BMD ile denetimi

Sıcaklık sistemi için nominal denetleyicinin (BMD\_1) yapısı Şekil 5.38’de verilmiştir. Hata (e), hata değişimi (de) ve çıkış üzer üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır.



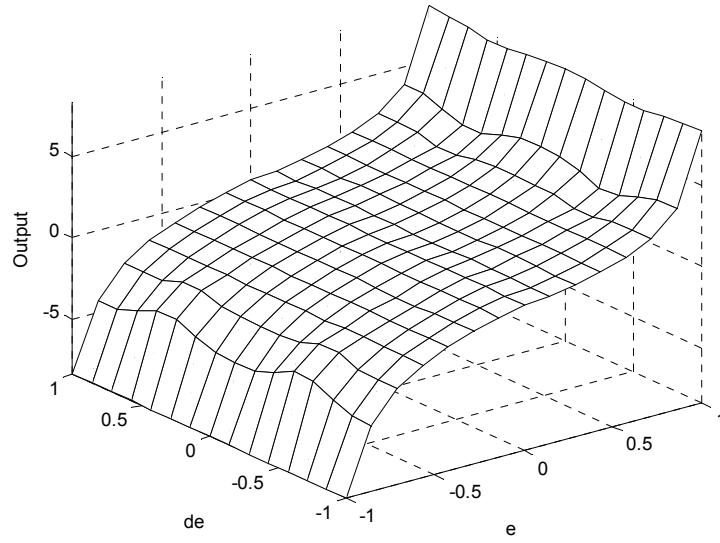
Şekil 5.38: Sıcaklık sistemi için BMD yapısı

Nominal denetleyici için oluşturulan kural tablosu Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5: Kural Tablosu

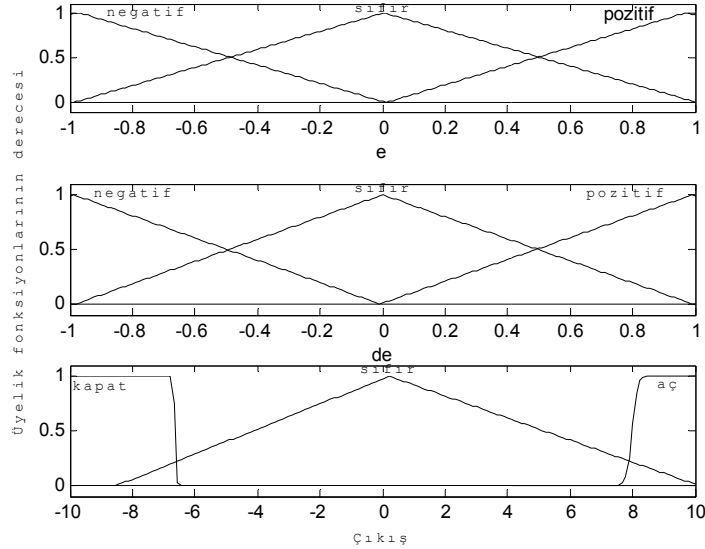
hata	Hata değişimi		
	Pozitif	Sıfır	Negatif
Pozitif	aç	aç	aç
Sıfır	sıfır	sıfır	sıfır
Negatif	kapat	kapat	kapat

Nominal denetleyicinin üç boyutlu görünümü Şekil 5.39’da verilmiştir.



Şekil 5.39: BMD'nin üç boyutlu görünümü

Nominal denetleyici için üyelik fonksiyonlarının derecesi Şekil 5.40'da gösterilmiştir. Burada negatif, sıfır ve pozitif, aç, kapat, sıfır bulanık kümenin etiketleridir. Nominal BMD için e'nin üyelik fonksiyonları, de'nin üyelik fonksiyonları [-1,1] aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise [-10,10] aralığında tanımlanmıştır.



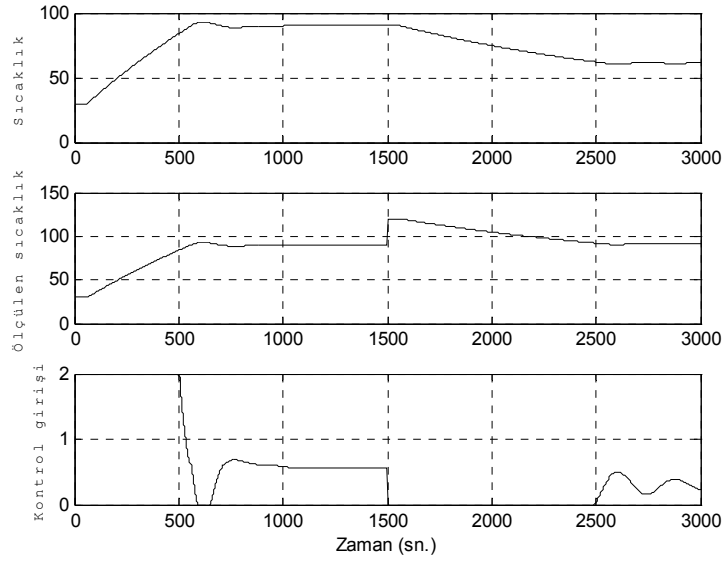
Şekil 5.40: Hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonlarının grafiği

Sıcaklık sistemi için algılayıcıya uygulanan arıza durumları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6: Arıza durumları ve numaraları

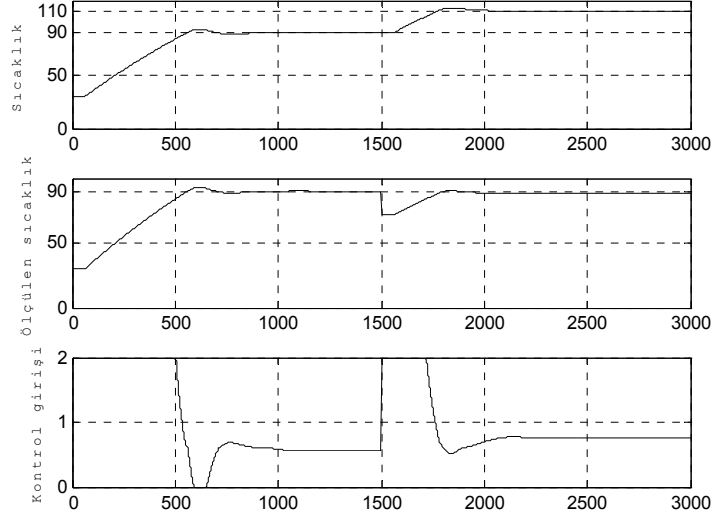
Durum No	Arıza Durumları
0	Normal çalışma koşulu
1	Toplamsal arıza (+30)
2	Çarpımsal arıza (x0.8)
3	Toplamsal arıza (-10)
4	20 sn bozucu etkisi
5	Çarpımsal arıza (x1.2)

Algılayıcıya uygulanan arızaların Matlab-Simulink modelleri Şekil A.17, Şekil A.18, Şekil A.19, Şekil A.20 ve Şekil A.21’de verilmiştir. Tablo 5.6’daki algılayıcı arızalarının etkileri sırasıyla aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Şekil 5.41, 1 nolu durum için fırın sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık değerlerini uygulanan kontrol girişi ile birlikte göstermektedir.



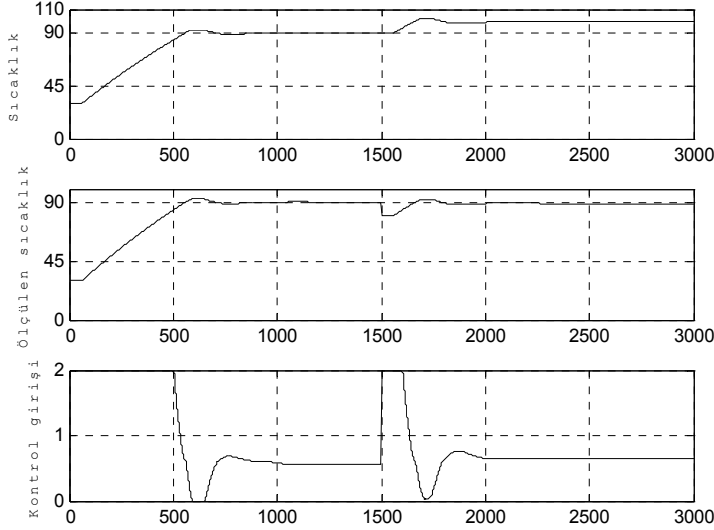
Şekil 5.41: 1 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

Şekil 5.42, 2 nolu durum için fırın sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık değerlerini uygulanan kontrol girişi ile birlikte göstermektedir.



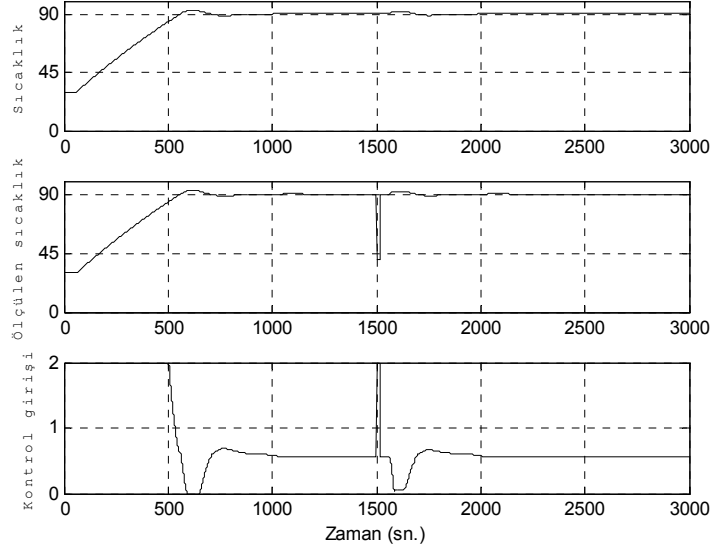
Şekil 5.42: 2 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

Şekil 5.43, 3 nolu durum için fırın sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık değerlerini uygulanan kontrol girişi ile birlikte göstermektedir.



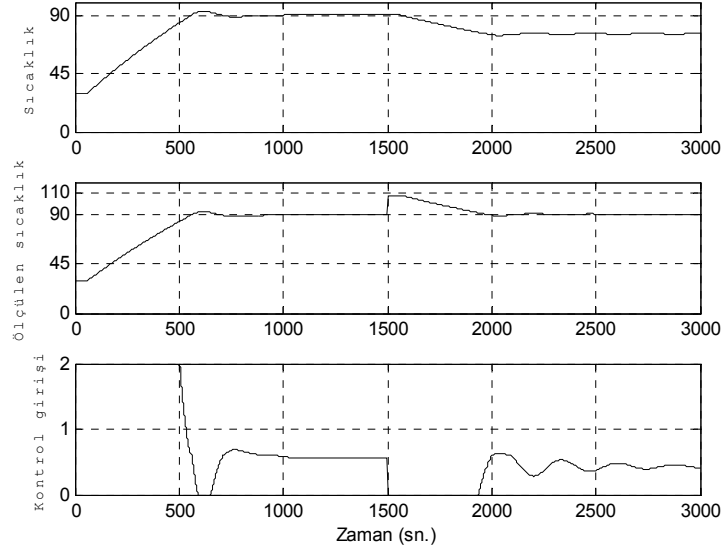
Şekil 5.43: 3 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

Şekil 5.44, 4 nolu durum için fırın sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık değerlerini uygulanan kontrol girişi ile birlikte göstermektedir.



Şekil 5.44: 4 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

Şekil 5.45, 5 nolu durum için fırın sıcaklığı ve ölçülen sıcaklık değerlerini uygulanan kontrol girişi ile birlikte göstermektedir.



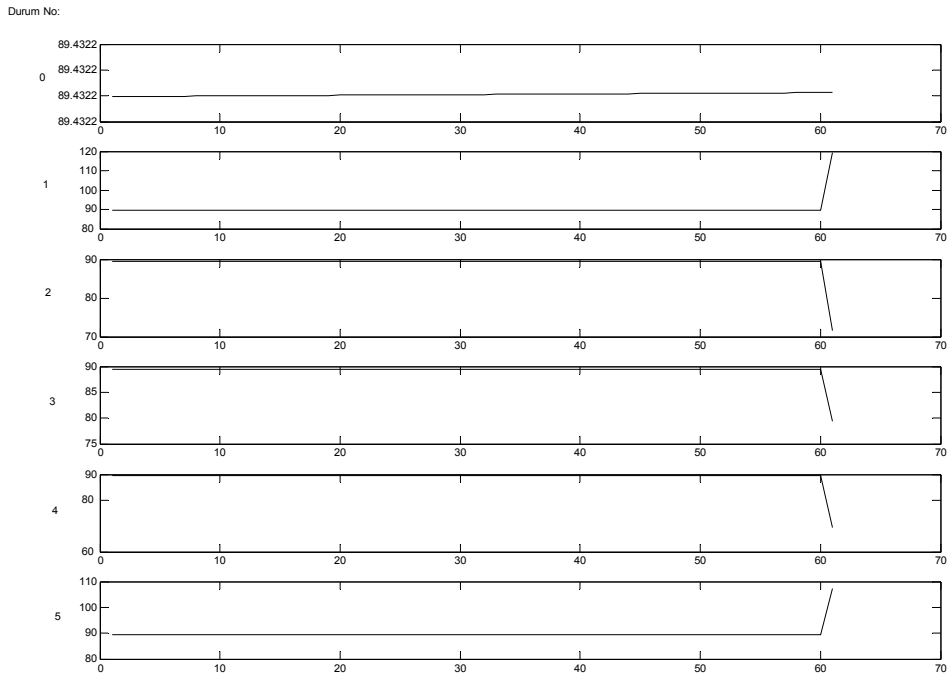
Şekil 5.45: 5 nolu durum için fırın sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

Nominal denetleyicinin arızalara karşı göstermiş olduğu karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hataları ve aşım oranları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Nominal denetleyicinin arızalar karşısındaki kalıcı hal hatası, aşım oranı ve karesel hatalar toplamı değerleri

Durum No	Kalıcı Hal Hatası	Aşım Oranı	Karesel Hatalar Toplamı
1	28.5000	%0.16	464.3593
2	-20.3000	% 2.3600	366.9509
3	-9	%3.1300	77.8999
4	-0.1000	% 2.1100	0.3148
5	14.3000	% 0.4000	163.8772

Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45’de görüldüğü gibi sistemde algılayıcı arızası olması denetimi etkilemektedir. Denetimin arzu edilen şekilde olması için sistemde oluşan arızaların tespit edilip tanıldıktan sonra arızaya uygun denetleyicinin aktif olması gerekir. Bu işlem içinde arıza dayanımlı denetim gerçekleştirilmiştir. Arıza dayanımlı denetimin gerçekleştirilebilmesi için arızanın doğru bir şekilde tespit ve tanılanması gerekmektedir. İlk olarak her bir arızanın sisteme girdikleri zaman dikkate alınarak Pencereleme tekniğinden faydalanarak işaretlerin özellikleri çıkartılmıştır. Her bir arıza için pencerelenmiş işaretler Şekil 5.46’da görülmektedir.

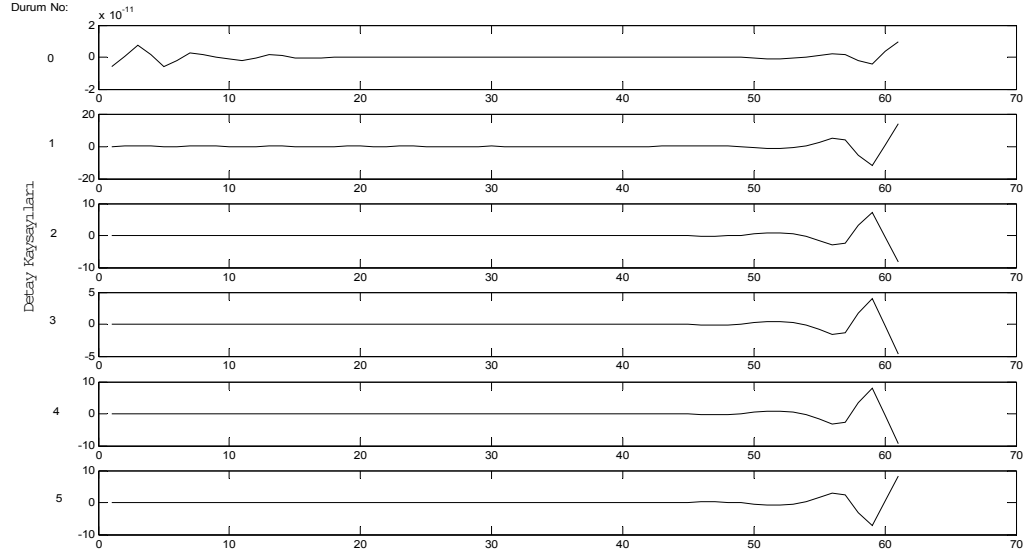


Şekil 5.46: Her bir arıza için pencerelenmiş işaret

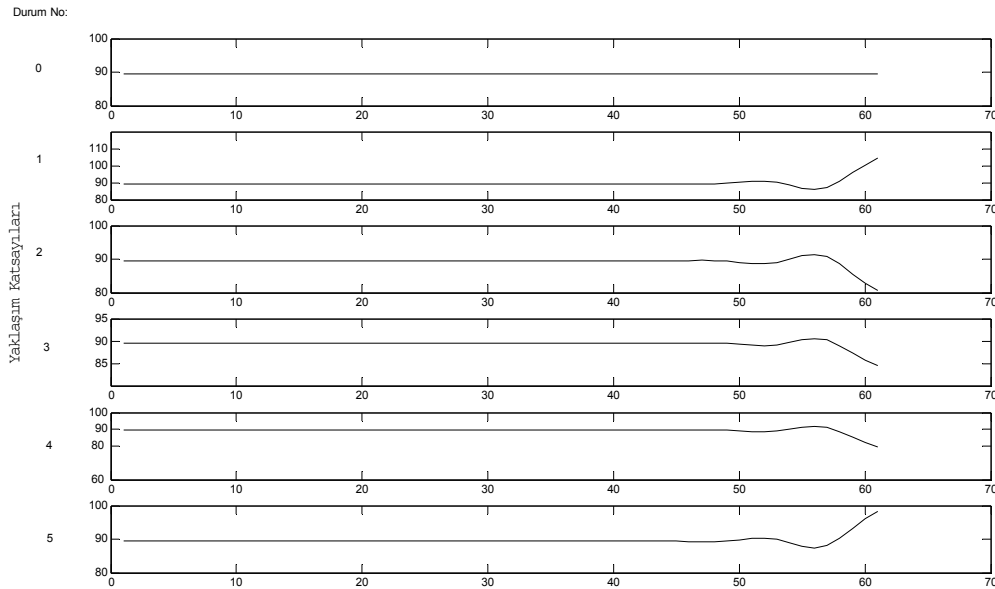
Pencerelenmiş olan işaretlere Ayrık Dalgacık dönüşümü uygulanarak detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmiştir. Dalgacık olarak Daubechies dalgacık



kullanılmıştır. İşaret işleme modülünde Dalgacık Dönüşümü uygulanan pencerelemiş olan işaretin detay ve yaklaşım katsayıları Şekil 5.47 ve Şekil 5.48’de görülmektedir.



Şekil 5.47: Sıcaklık sistemi için her arızanın detay katsayıları

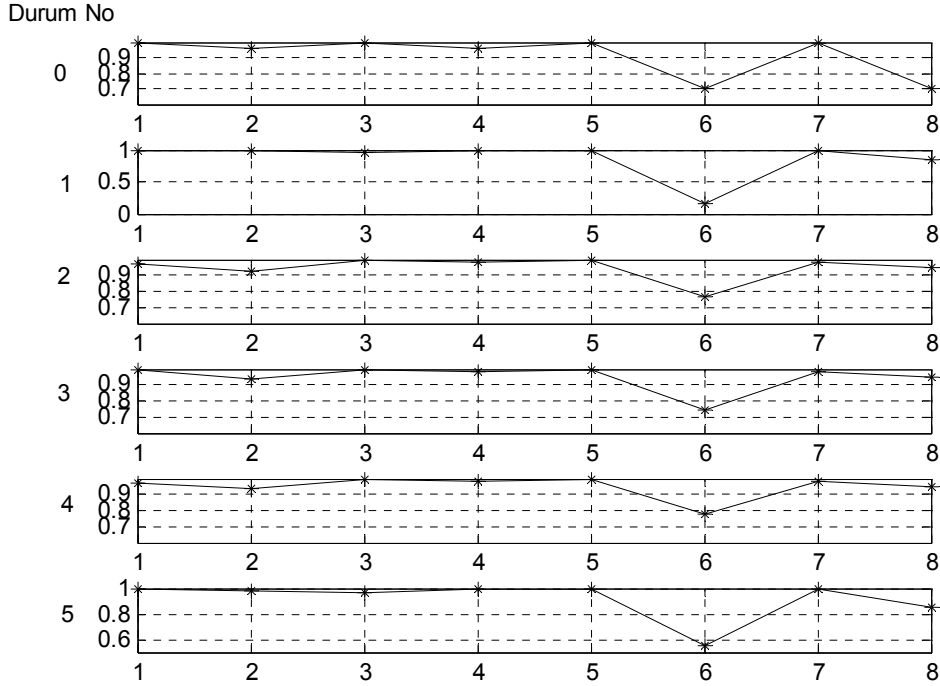


Şekil 5.48: Sıcaklık sistemi için her arızanın yaklaşım katsayıları

İşaret işleme modülünden sonra özellik çıkartım modülüne gelen detay ve yaklaşım katsayılarının istatistiksel özellikleri çıkartılarak her bir arızanın özellik vektörü oluşturulmuştur. Şekil 5.49’da algılayıcı arızalarının özellik vektörleri verilmiştir. Her bir arızanın sisteme olan etkisi incelendikten sonra, arızalara uygun

denetleyiciler sürece dahil edilerek sistemin istenilen sıcaklıkta kalması sağlanmaya çalışılacaktır. Uygulamalarda istenilen fırın sıcaklığı 90 °C olarak alınmıştır. Pencereleme yönteminden yararlanılarak oluşturulan her bir özellik vektörü 8 nokta içermektedir.

- $\ddot{v}_j = \{\ddot{v}_i\}_j \quad i=1, \dots, 8 \quad j=\text{Arıza durum sayısı}$
- $\ddot{v}_1, \ddot{v}_2$  Sıcaklık değerin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
- $\ddot{v}_3, \ddot{v}_4$  Giriş işaretinin detay katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
- $\ddot{v}_5, \ddot{v}_6$  Sıcaklık değerin yaklaşım katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı
- $\ddot{v}_7, \ddot{v}_8$  Giriş işaretinin yaklaşım katsayıları için  $r_1$  ve  $r_2$ değişim oranı



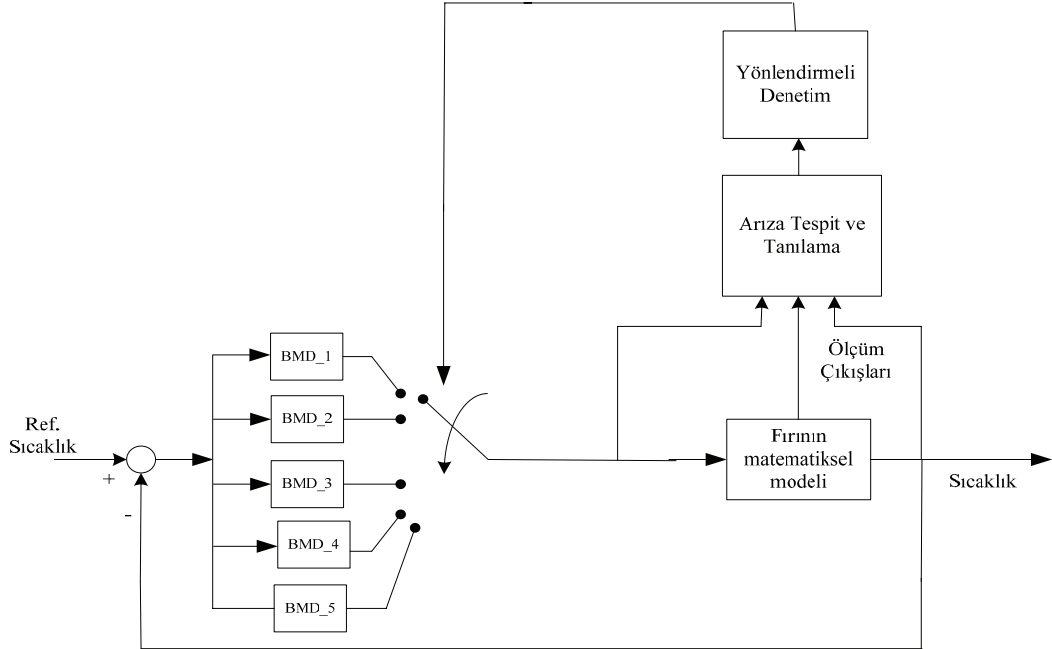
Şekil 5.49: Algılayıcı arızalarının özellik vektörleri

Arızaların özellik vektörleri oluşturulduktan sonra SOM yapay sinir ağı ile sınıflandırılarak özellik tablosu oluşturulmuştur. Arıza durum numaralarına göre sınıflandırma sonucu Şekil 5.50’de gösterilmektedir.

9	5	5	5	5	1	1	1	1	
8	5	5	5	5	1	1	1	1	
7	5	5	5	5	5	1	1	1	
6	3	5	3	3	3	1	5	1	
5	3	3	2	2	2	0	0	0	
4	3	3	2	2	2	3	0	0	
3	2	2	4	2	2	3	0	0	
2	4	4	4	4	4	0	0	0	
1	4	4	4	4	4	0	0	0	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

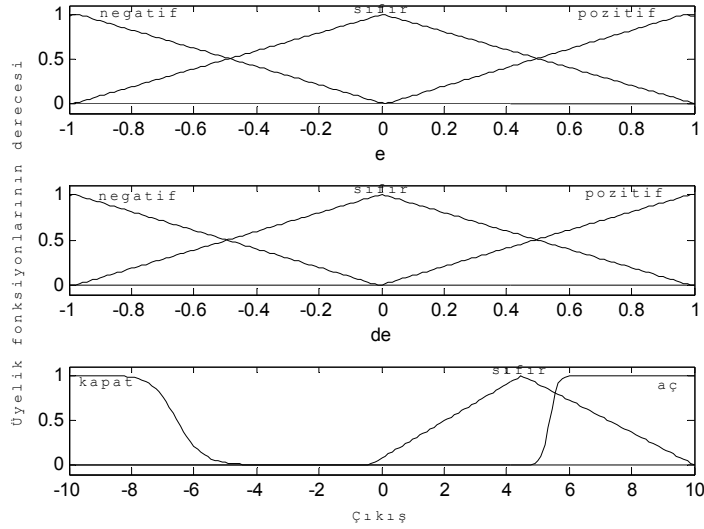
Şekil 5.50: Sıcaklık sistemi için arızaların sınıflandırılması

Şekil 5.51, sıcaklık sistemi için arıza dayanımlı denetim modelini göstermektedir. Şekil A.7’de Fırının matematiksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olan arıza dayanımlı denetimin Matlab-Simulink modeli verilmiştir. Bu yöntem ile sistemde algılayıcı arızası oluşması durumunda uygun denetleyici devreye girerek sistem arzu edilen başarımda çalışmasına devam eder.



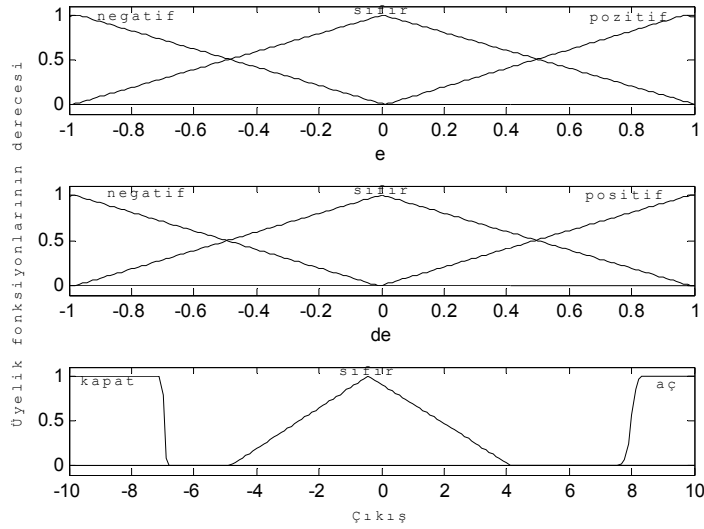
Şekil 5.51: Sıcaklık sistemi için arıza dayanımlı denetim sistem modeli

Arıza durumlarına göre sistemin istenilen başarımda çalışmasının devamı için tasarlanmış BMD'lerin üyelik fonksiyonlarının grafiği aşağıdaki şekillerde verilmiştir. 1 nolu durum için tasarlanan denetleyici BMD\_2' dir. BMD\_2'nin girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.52'de gösterilmiştir. BMD\_2 için e'nin üyelik fonksiyonları, de'nin üyelik fonksiyonları [-1,1] aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise [-10,10] aralığında tanımlanmıştır.



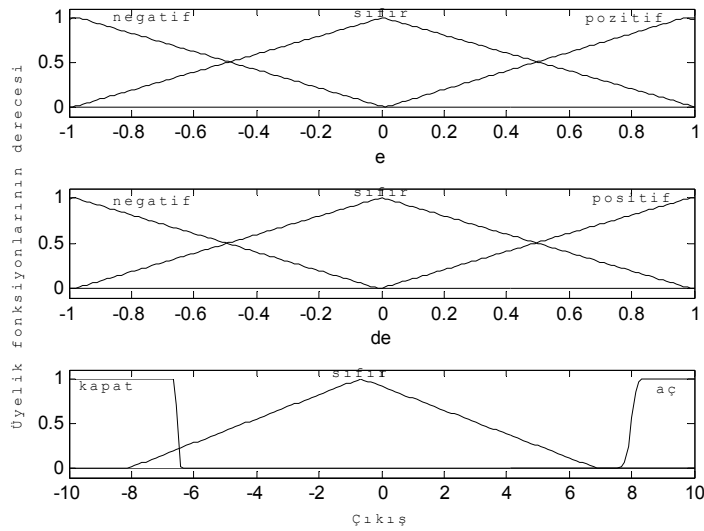
Şekil 5.52: 1 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği

2 nolu durum için tasarlanan denetleyici BMD\_3' dür. BMD\_3'ün girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.53'de gösterilmiştir. BMD\_3 için e'nin üyelik fonksiyonları, de'nin üyelik fonksiyonları [-1,1] aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise [-10,10] aralığında tanımlanmıştır.



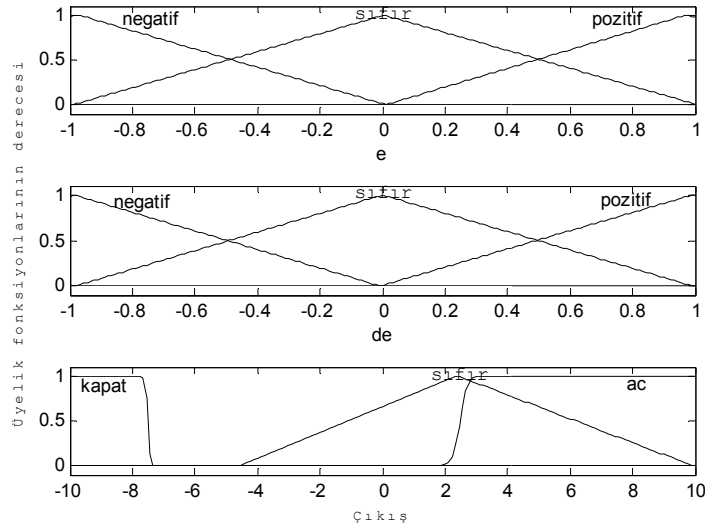
Şekil 5.53: 2 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği

3 nolu durum için tasarlanan denetleyici BMD\_4' dür. BMD\_4'ün girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.54'de gösterilmiştir. BMD\_4 için e'nin üyelik fonksiyonları, de'nin üyelik fonksiyonları [-1,1] aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise [-10,10] aralığında tanımlanmıştır.



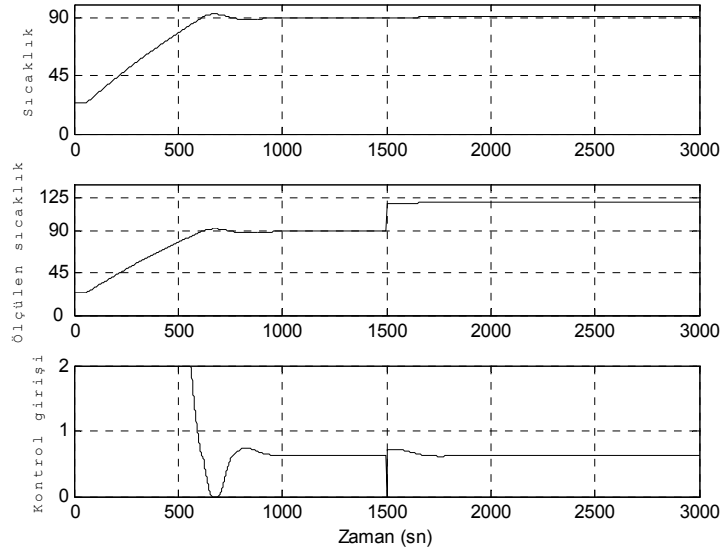
Şekil 5.54: 3 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği

5 nolu durum için tasarlanan denetleyici BMD\_5' dir. BMD\_5'in girişi hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkışın üyelik fonksiyonları Şekil 5.55'de gösterilmiştir. BMD\_5 için e'nin üyelik fonksiyonları, de'nin üyelik fonksiyonları [-1,1] aralığında, çıkışın üyelik fonksiyonu ise [-10,10] aralığında tanımlanmıştır.



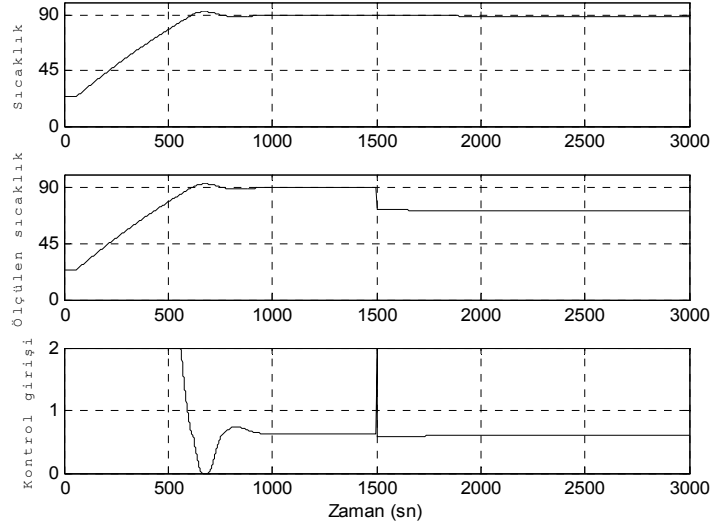
Şekil 5.55: 5 nolu durum için tasarlanan denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının grafiği

Her bir arıza için uygun denetleyicinin tasarımından sonra anahtarlama yöntemi ile istenilen denetleyici seçilir. Sistem 3000 sn. çalıştırılıp, arızalar 1500. sn'den itibaren uygulanmıştır. Arızaya uygun denetleyicinin anahtarlama yöntemi ile devreye girmesi ile sistem arzu edilen başarımda çalışmasına devam eder. Bu sonuçlar aşağıda sırasıyla arıza durumlarına göre verilmiştir. 1 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 5.56'da verilmiştir.



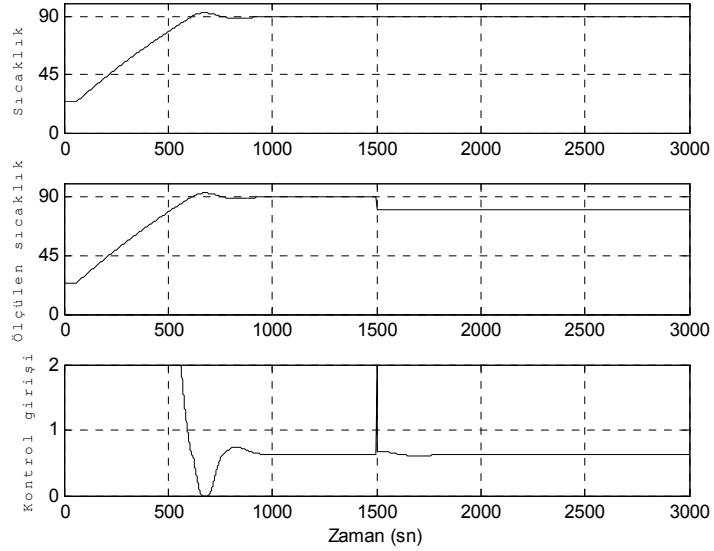
Şekil 5.56: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 1 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 5.57’de verilmiştir.



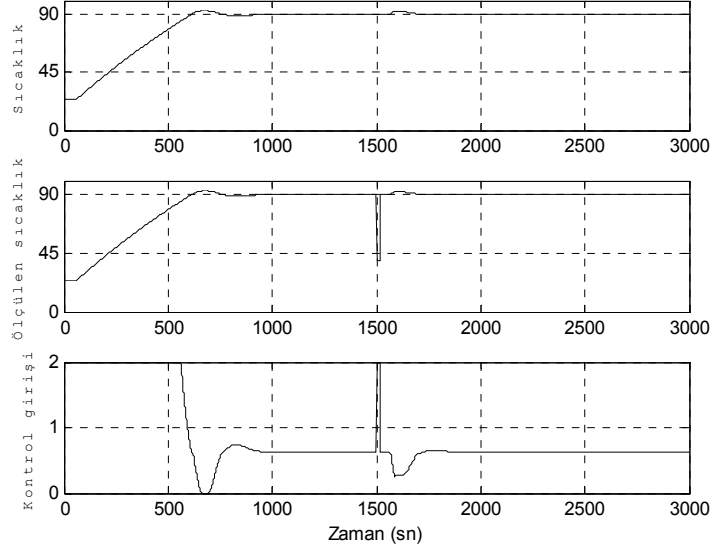
Şekil 5.57: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 5.58’de verilmiştir.



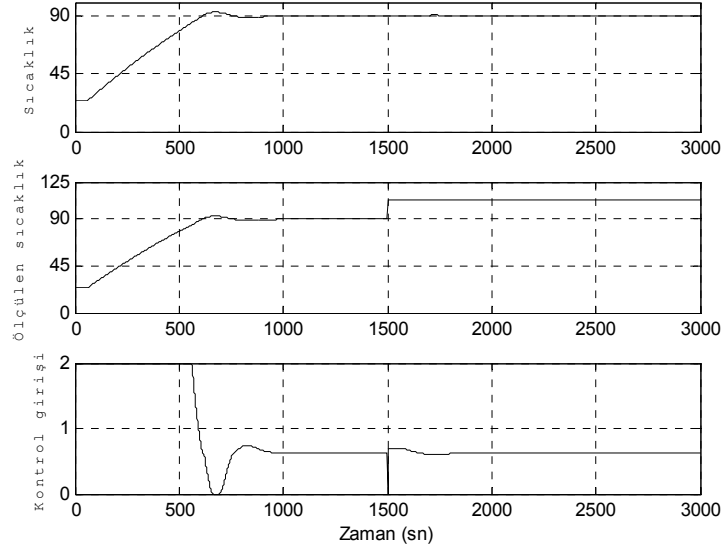
Şekil 5.58: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri

4 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 5.59'da verilmiştir. 4 nolu durum için nominal denetleyici kullanılmıştır. 20 sn sürelik anlık bir algılayıcı arızası arıza tespit ve tanılama amaçlı uygulanmıştır.



Şekil 5.59: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 4 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 5.60'da verilmiştir.



Şekil 5.60: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri



Şekil 5.56, Şekil 5.57, Şekil 5.58, Şekil 5.59 ve Şekil 5.60'dan görüldüğü gibi sistemde algılayıcı arızası olması durumuna rağmen fırın sıcaklığını istenilen değerde tutarak çalışmasını sürdürmüştür.

Arızaların tespit edilip tanınması 1502. sn de gerçekleşmiştir. 4 nolu durum için nominal denetleyici kullanılmıştır. Çünkü algılayıcıda sadece 20 sn sürelik anlık bir bozucu arıza tipi uygulanarak arıza tespit ve tanılama amaçlı incelenmiştir. Arıza dayanımlı denetim ile gerçekleştirilen fırın sistemin benzetim sonuçlarından elde edilen kalıcı hal hatası, aşım oranı ve karesel hatalar toplamı değerleri Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetiminin arızalara göstermiş olduğu kalıcı hal hatası, aşım oranı ve karesel hatalar toplamı değerleri

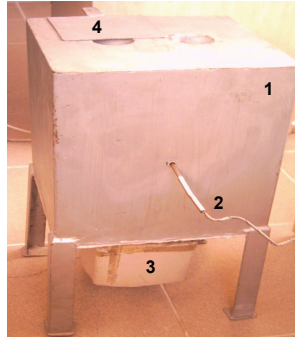
Durum No	Kalıcı Hal Hatası	Aşım Oranı	Karesel Hatalar Toplamı
1	-0.2000	% 0.0111	0.0519
2	1.3	%0.9	1.3782
3	0.2	%0.0557	0.0599
5	0.1	%0.11	0.0321

Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de görüldüğü gibi 1,2,3 ve 5 nolu durumlar için uygun denetleyiciler sisteme alındığında karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hata değerleri ve aşım oranları düşmektedir. Sistem, arızalara rağmen kabuledilebilir başarımda çalışmasını sürdürmektedir.

## 6. ARIZA DAYANIMLI GERÇEKLEME ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

### 6.1 Deney Setinin Tanımı

Deney setinde kullanılan fırının fotoğrafı Şekil 6.1’de görülmektedir. Şekil 6.1’de görülen fırının numaralandırılmış kısımları Tablo 6.1’de verilmiştir. Fırının dış hacmi (25x25x30) cm, iç hacmi (20x20x25) cm, ayaklarının yüksekliği 20 cm’dir. Deney seti iç içe iki hacimden oluşmaktadır. Yalıtım amacıyla dış hacimle iç hacim arasına 2 cm kalınlığında izocam yerleştirilmiştir. Sisteme gerektiğinde bozucu etkinin verilebilmesi için Şekil 6.1’de görüldüğü gibi üst kısma iki delik açılmıştır. Bu delikler istendiğinde kapatılarak sabit bir transfer fonksiyonu elde edilebilir. Ya da açma miktarı değiştirilerek sistemin transfer fonksiyonu değiştirilebilir. Deney setinin alt kısmına ısıtma ve soğutmanın hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için fan takılmıştır. İç alt tabakaya yerleştirilen 800 W’lık rezistansla ısıtma sağlanmıştır. Ön yüzeyin orta kısmında içeriye sıcaklık algılayıcısı (termokupl) sarkıtılarak sıcaklığın ölçülmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.1: Fırın

Tablo 6.1’de fırının birimleri ifade edilmektedir.

Tablo 6.1: Fırının Birimleri

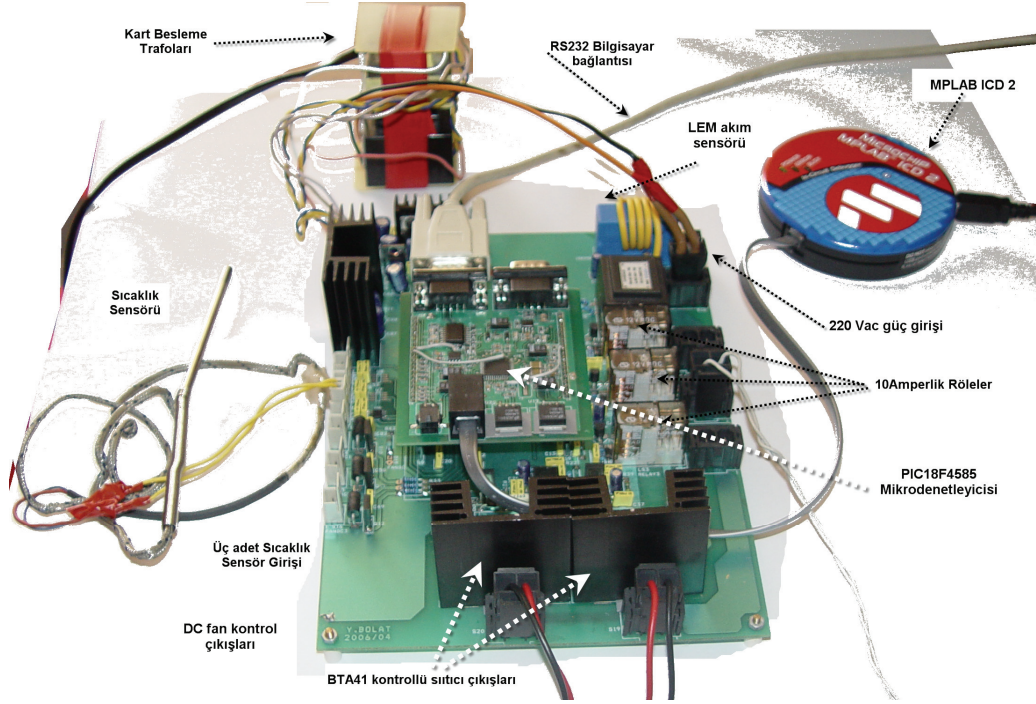
1	Fırın
2	Sıcaklık Sensörü
3	Fan
4	Deney setinin üst kapakları

Hazırlanan denetleyici kart ile fırın bilgisayar üzerinde çalışan MatLab-Simulink yazılım aracılığıyla denetlenebilir. Denetim kartı aşağıda listelenmiş temel donanımsal kabiliyetlere sahiptir.

- Üç adet K tipi ısı sensörü girişi (0-1000 °C),
- İki ayrı ve bağımsız faz denetimli rezistans besleme çıkışı (40+40 Amper-rms),
- Üç ayrı röle çıkışı (10 Amper-rms),
- RS232 çıkışı (56Kbit'e kadar)
- Giriş AA (Alternatif Akım) şebeke gerilimi ve yüksek doğrulukta yük (fırın ısıtıcı) akımları.
- Merkezde 8-bit'lik bir işlemci. (PIC18F4585)

Denetleyici kartı temel iki kısımdan oluşmaktadır. Denetleyici kartının fotoğrafı Şekil 6.2'de verilmiştir [64]. Denetleyici kartını oluşturan iki kısmın temel işlevleri işlemci kartı ve taban kart olarak ele alınmıştır. İşlemci kartı adından da anlaşıldığı gibi üzerinde işlemci bulunan karttır. Bu kart, PIC18F4585 işlemcisi ile esnek tasarımlar oluşturmak amacıyla tasarlanmıştır. Kart üzerinde bir adet PIC18F4585, MAX232 ve RJ11 MPLAB ICD2 bağlantısı bulunmaktadır. İşlemci 10 MIPS hızında çalışmaktadır. Taban kartı, iki ana bölümden oluşur. Birincisi algılayıcı üniteleri diğerleri ise ısıtıcı denetim çıkışlarıdır. Taban kartındaki üniteler aşağıda belirtilmiştir.

Isı okuma entegresi (MAX6675): Bu entegre işlemci ile seri SPI (Serial Peripheral Interface) protokülü ile haberleşir. İşlemci içinde bu donanıma ulaşan ve saniyede yaklaşık on okuma yapan yazılımsal sürücü vardır.



Şekil 6.2: PIC tabanlı denetleyici kartı

Isıtıcı akım girişi sensörü ve birimi: Isıtıcıların akımını okumak için baskı devre üzerinde LEM firmasının LA55-P /SP1 kodlu akım sensörü kullanılmıştır.

Şebeke gerilimi sensörü ve sıfır geçişi: Şebeke geriliminin normal değeri 220V AA ve 50Hz civarında bir karakteristiğe sahiptir. Çalışmanın güvenliği açısından şebeke geriliminin işlemci tarafından izole ve daha düşük seviyede okunması gerekir. Bu nedenle, şebeke gerilimi 220/12V AA olana bir trafodan geçirilmiştir.

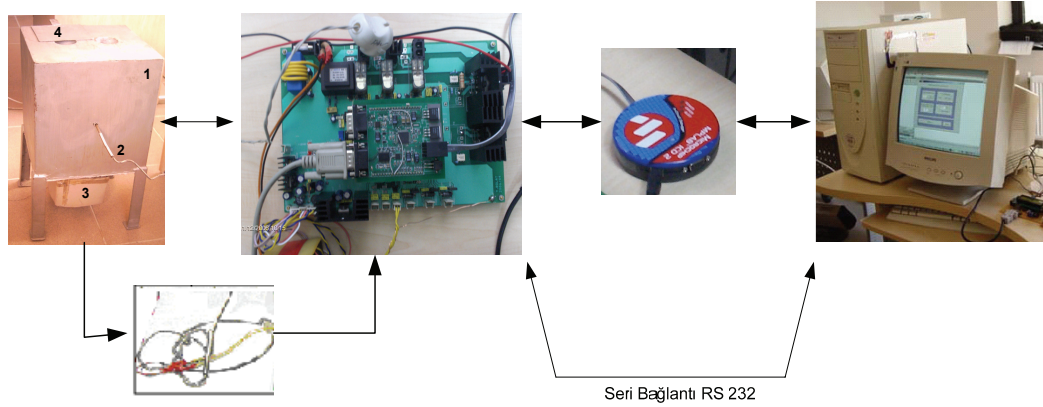
Röle çıkışları: Taban kartı üzerinde üç adet 220V AA/10A üç adet röle bulunmaktadır. Bu röleler istenilen şekilde kullanılabilir. İster ısıtıcıya istenirse fanlara bağlanabilir. Röle üzerinden çekilen akımlar isteğe bağlı olarak akım sensöründen görülebilir.

Triyak denetim çıkışı: Triyak basit olarak iki yönde akım geçirebilen statik anahtardır. Triyak'ın sürülmesi için ihtiyaç duyulan tetikleme akımı ateşleme trafoları ile sağlanmıştır. Triyak sürülerek ısıtıcı üzerinden akım geçmesi sağlanır.

İşlemci kartı, taban kartındaki akım ve sıcaklık algılayıcılarını okuyup yine kendi

giriş ve çıkış kabiliyetine sahip giriş çıkış pinleri aracılığıyla röle ve triyakları (BTA41) denetler. İşlemci, triyakları denetlemek ve ısıtıcıları doğru faz açılarında sürmek için şebeke gerilimi ile eş zamanlı çalışır.

Deneysel çalışma için hazırlanan düzenek Şekil 6.3’de verilmiştir. Bu şekilde, fırının sıcaklığı sıcaklık algılayıcısı tarafından PIC tabanlı karta ulaştırılmaktadır. PIC tabanlı kart da sıcaklık bilgisini uygunlaştırarak Debugger aracılığı ile bilgisayara yani Matlab-Simulink ortamına aktarmaktadır. Okunan bu sıcaklık bilgisi Simulink ortamında değerlendirilerek gerekli denetleyici işareti üretilir ve bu işaret ile Debugger ve PIC tabanlı kart aracılığı ile fırının sıcaklığı denetlenir.

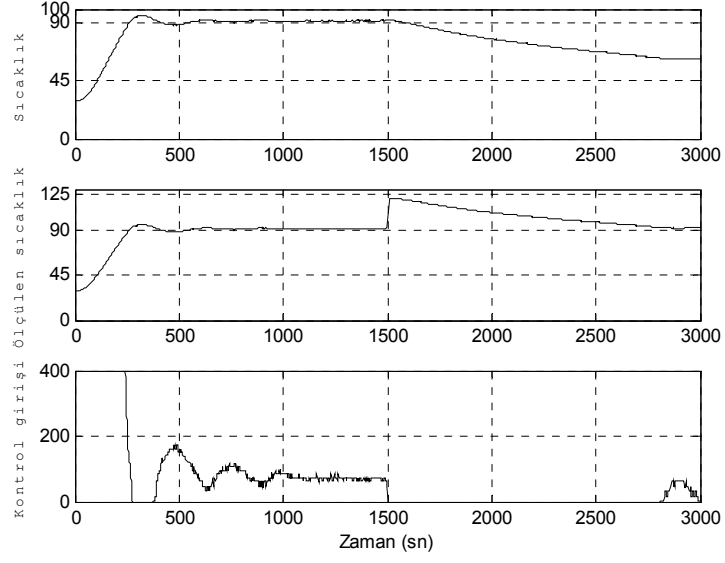


Şekil 6.3: Deneysel çalışma için hazırlanan düzenek.

### 6.1.2 Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi deney sonuçları

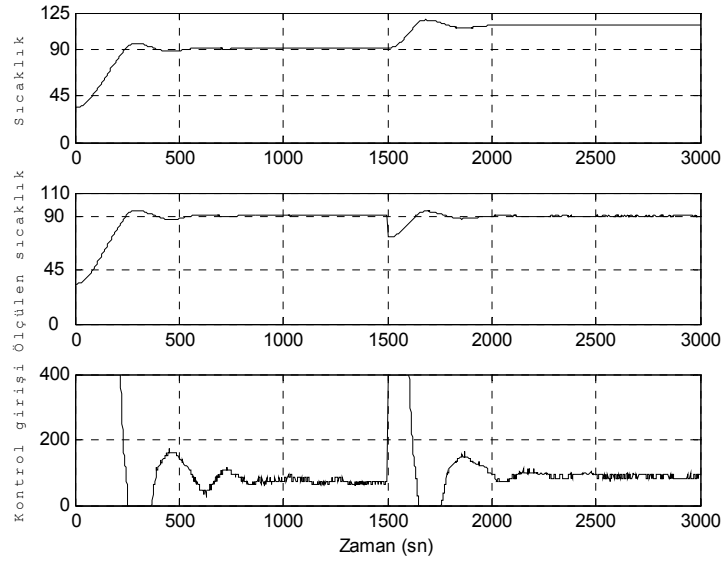
Deneysel çalışma aşamasında her bir arıza durumu için fırın sıcaklığı ve kontrol işareti değişimleri incelenmiştir ve bilgi tabanı oluşturulmuştur. Sıcaklık sisteminin benzetim çalışmasında incelenmiş olan Tablo 5.6’deki arızalar dikkate alınmıştır. Deneysel çalışma 3000 sn olarak çalıştırılıp, 1500. sn de algılayıcı arızaları girilmiştir. Fırının matematiksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olan benzetimde kullanılmış olan denetleyiciler kullanılmıştır. İlk olarak nominal denetleyicinin gerçekleştirme çalışmasındaki arızalara karşı etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirme çalışması için nominal denetleyicinin arızalara karşı olan etkisini incelemek amacıyla oluşturulmuş MatLab-Simulink modeli Şekil A.8’de verilmiştir. Şekil 6.4, 1 nolu durum sonucunda ortaya çıkan fırının sıcaklığı, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi

etkisini göstermektedir.



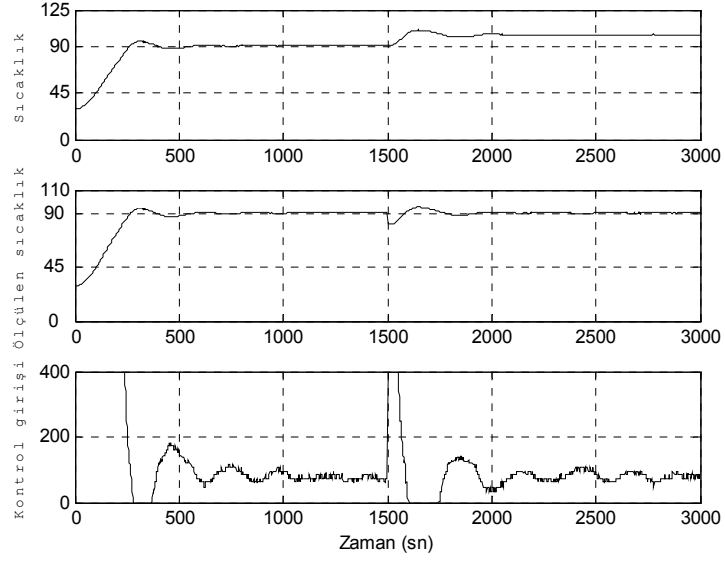
Şekil 6.4: 1 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi

Şekil 6.5, 2 nolu durumun fırın sıcaklığına, ölçülen sıcaklığa ve kontrol girişine etkisini göstermektedir.



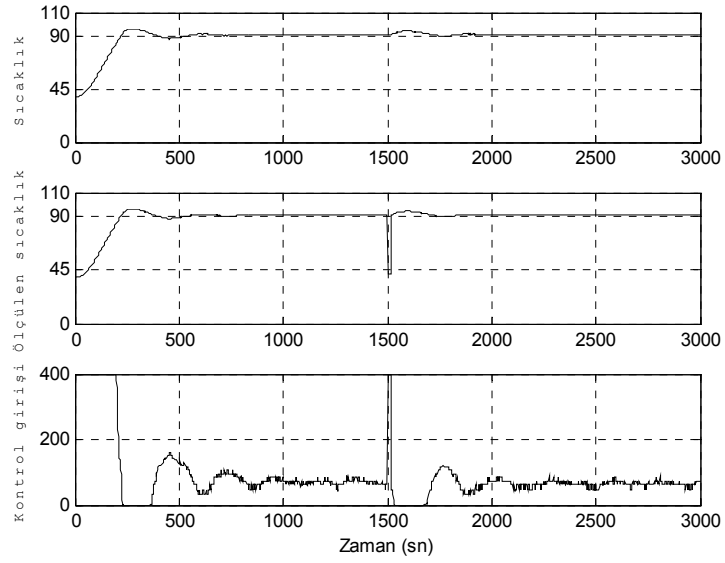
Şekil 6.5: 2 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi

Şekil 6.6, 3 nolu durumun fırın sıcaklığına, ölçülen sıcaklığa ve kontrol girişine etkisini göstermektedir.



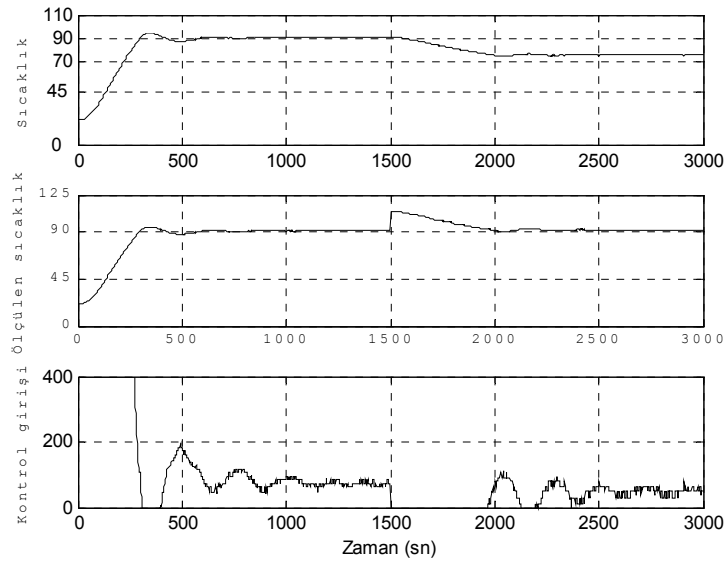
Şekil 6.6: 3 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi

Şekil 6.7, 4 nolu durumun fırın sıcaklığına, ölçülen sıcaklığa ve kontrol girişine etkisini göstermektedir.



Şekil 6.7: 4 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi

Şekil 6.8, 5 nolu durumun fırın sıcaklığı ve kontrol girişine etkisini göstermektedir.



Şekil 6.8: 5 nolu durumun sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişine etkisi

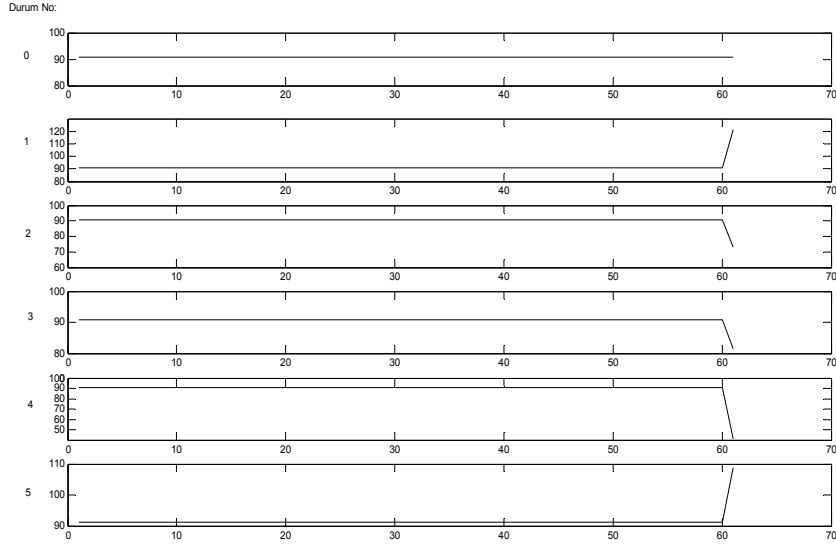
Deney setine uygulanan arıza etkilerine göre nominal denetleyici için karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hataları ve aşım değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: Arıza durumlarına göre nominal denetleyici için karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hataları ve aşım değerleri

Durum No	Kalıcı Hal Hatası	Aşım Oranı	Karesel Hatalar Toplamı
1	27.8000	%-1.61	361.8349
2	-23.2000	% 4.24	509.8411
3	-10.7000	% 4.7	119.2219
4	-1	% 3.85	2.6459
5	13.8000	% -1.18	147.2324

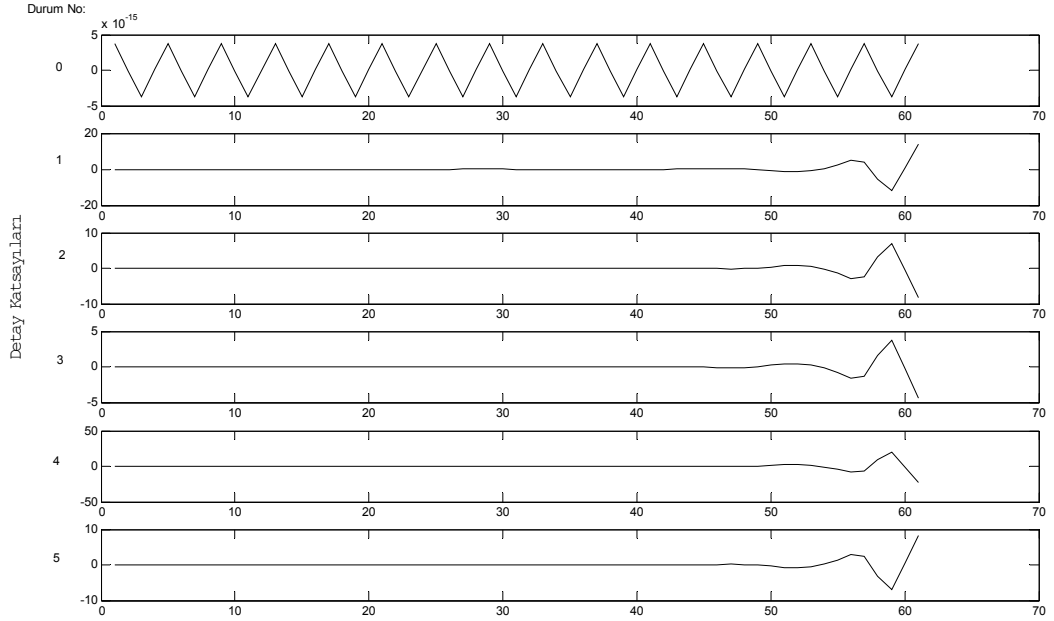
Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’den görüldüğü gibi sistemde algılayıcı arızası olması denetimi etkilemektedir. Denetimin arzu edilen şekilde olması için arıza dayanımlı denetim kullanılmıştır. Arıza dayanımlı denetimde ilk basamak arızanın doğru ve hızlı bir şekilde tespit edilip tanılanmasıdır. Bu aşama içinde birinci adım olarak arızalara ait bilgi tabanı oluşturulması gerekir. Bilgi tabanı arızaların özellik vektörlerini içermektedir. Her bir arızanın sisteme girdikleri zaman dikkate alınarak Pencereleme yönteminden faydalanarak işaretler incelenmiştir. Her bir arıza için pencerelenen işaretler Şekil 6.9’da görülmektedir.



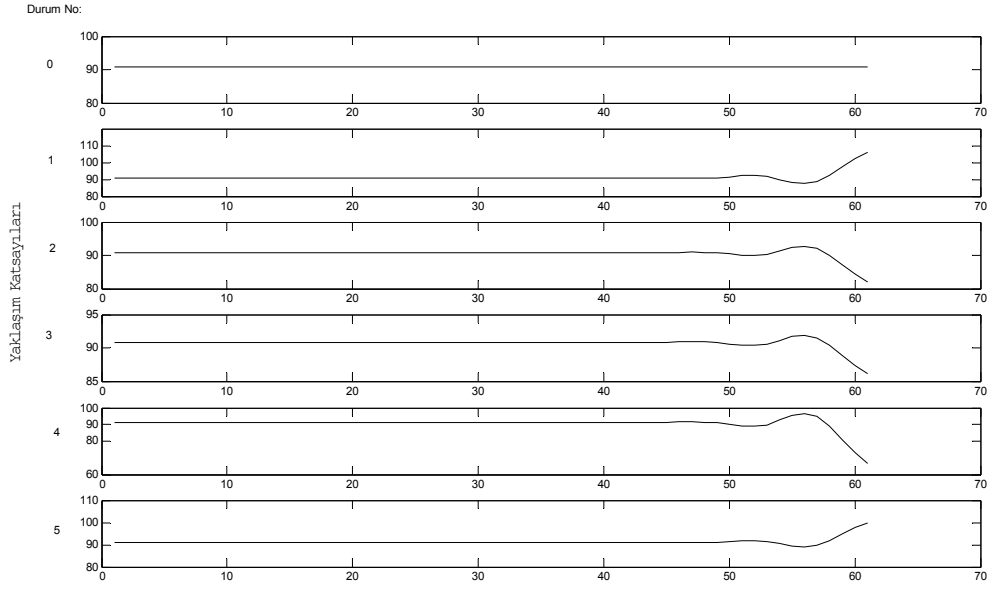


Şekil 6.9: Sıcaklık sisteminin gerçekleşmesinde tüm arızalar için pencerelenmiş işaretler

Pencerelenmiş olan işaretlere Dalgacık Dönüşümü uygulanarak detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmiştir. Dalgacık olarak benzetim çalışmasında kullanılmış olan daubechies dalgacığı kullanılmıştır. Dalgacık dönüşümü sonucunda elde edilen detay ve yaklaşım katsayıları Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de görülmektedir.

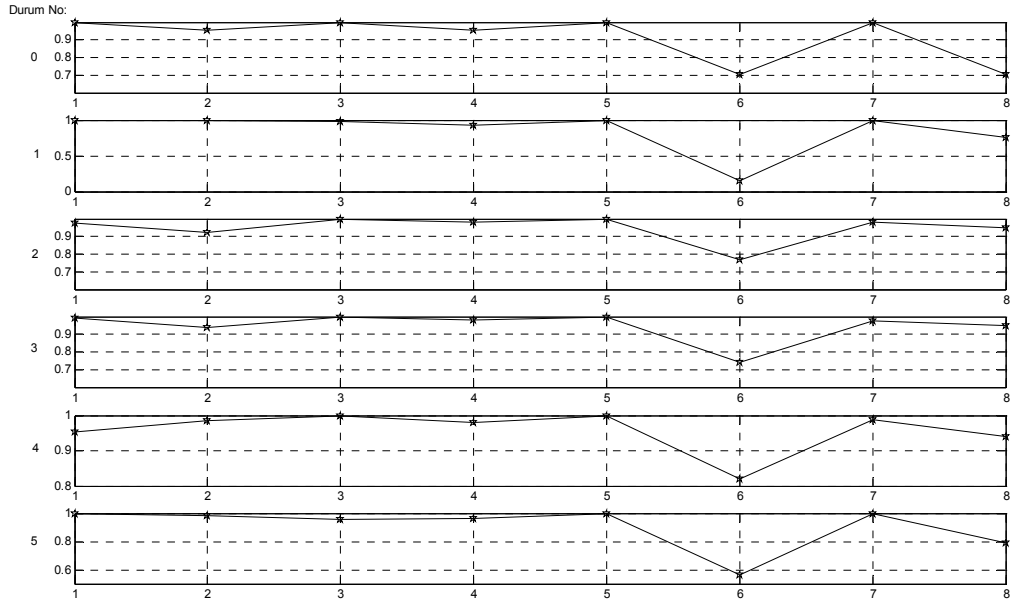


Şekil 6.10: Deney seti için arızaların detay katsayıları



Şekil 6.11: Deney seti için arızaların yaklaşım katsayıları

Arızaların fırına olan etkilerinden faydalanarak özellik vektörü çıkartılmıştır. Şekil 6.12, algılayıcı arızalarının özellik vektörlerini göstermektedir. Özellik vektörü çıkartılırken tank sistemi ve sıcaklık sisteminin benzetiminde kullanılan  $r_1$  ve  $r_2$  formülleri her bir detay, yaklaşım katsayıları için hesaplanmıştır.



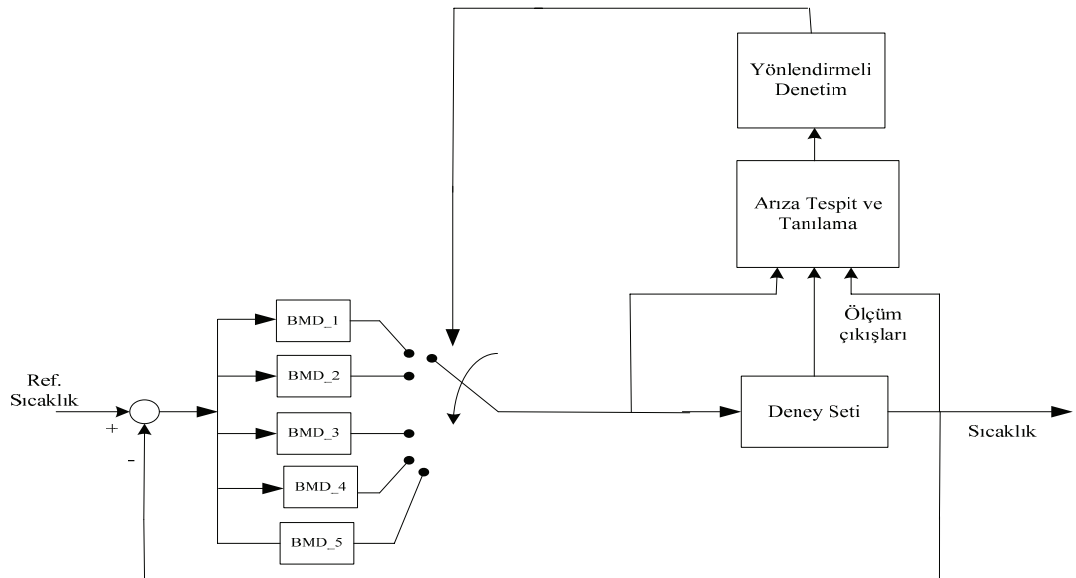
Şekil 6.12: Algılayıcı arızalarının özellik vektörleri

Özellik vektörlerinden faydalanılarak arızaların SOM yapay sinir ağı ile sınıflandırma sonucu Şekil 6.13’de gösterilmektedir.

9	5	5	5	5	5	1	1	1
8	5	5	5	5	3	5	5	1
7	3	3	3	3	3	3	3	5
6	2	2	2	3	3	3	3	3
5	2	2	2	2	3	3	3	3
4	3	2	2	2	2	3	4	4
3	0	3	0	3	4	4	4	4
2	0	0	0	0	4	4	4	4
1								

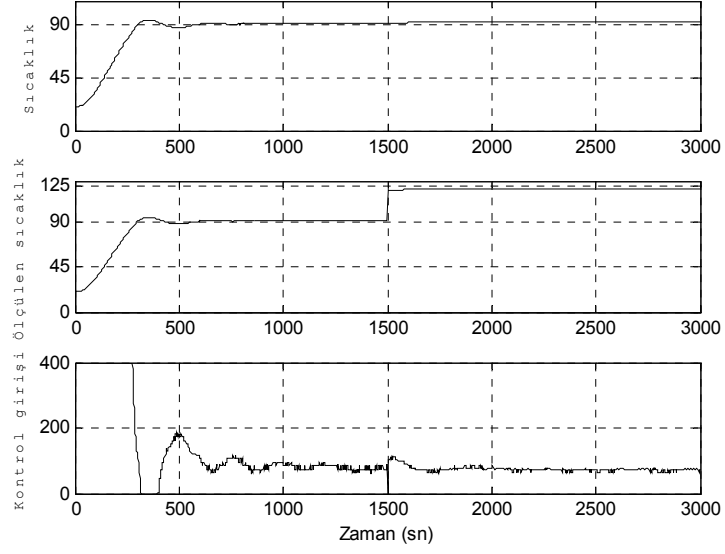
Şekil 6.13: Özellik vektörlerinin sınıflandırılması

Şekil 6.14’de deney seti için arıza dayanımlı denetim yapısı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi deney setinden alınan sıcaklık ölçümleri ve denetim işareti ATT modülüne gönderilir ve sistemdeki arıza durumuna göre yönlendirmeli denetim aracılığıyla uygun denetleyici seçilerek sistem kabul edilebilir başarımda çalışmasına devam eder. BMD’lerin üyelik fonksiyon durumları sıcaklık sisteminin benzetim çalışmasında ayrıntılı olarak verilmiştir.



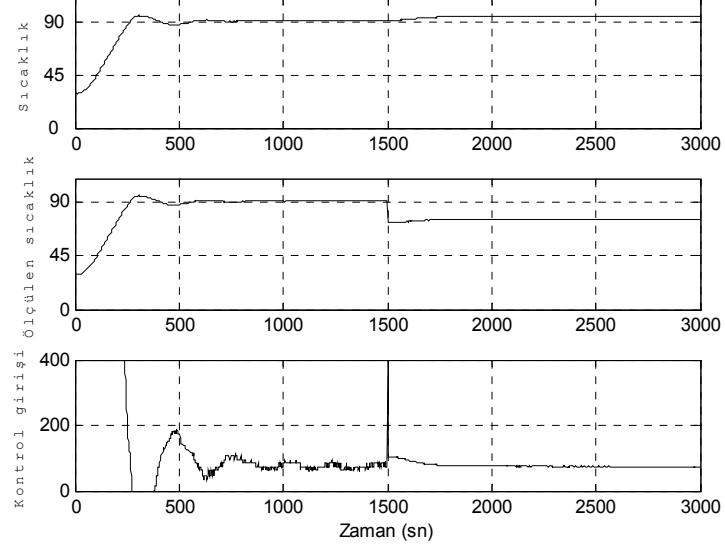
Şekil 6.14: Deney seti için arıza dayanımlı denetim yapısı

Deney seti için oluşturulmuş arıza dayanımlı denetimin MatLab-Simulink modeli Şekil A.9’da verilmiştir. Arızalara göre elde edilmiş sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir. 1 nolu durum için elde edilen sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol giriş değerleri Şekil 6.15’de verilmiştir.



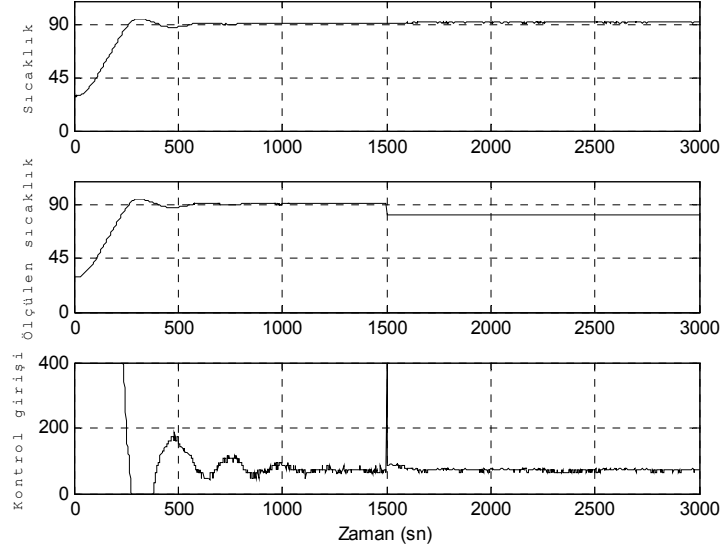
Şekil 6.15: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 1 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 6.16’da verilmiştir.



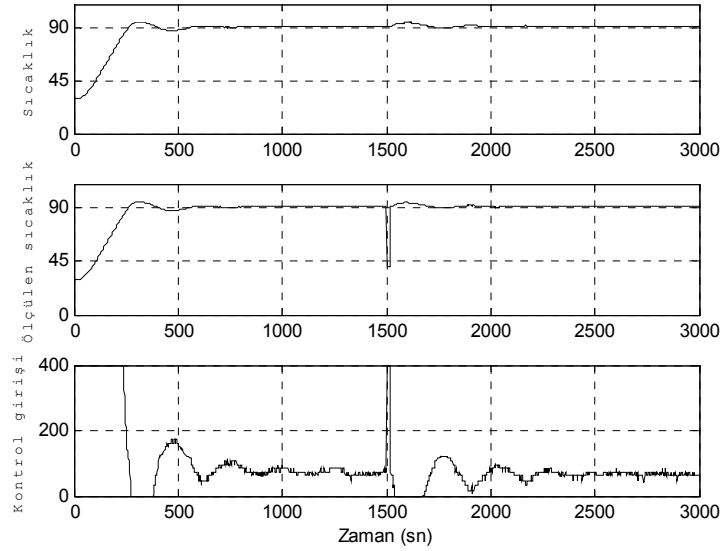
Şekil 6.16: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 2 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 6.17’de verilmiştir.



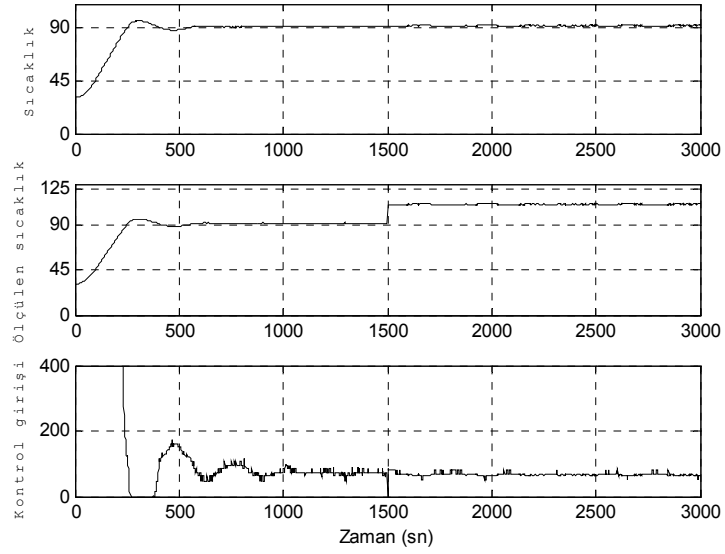
Şekil 6.17: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 3 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

4 nolu durumdan kaynaklanan sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 6.18’de verilmiştir. 4 nolu arıza için nominal denetleyici kullanılmıştır. 20 saniyelik süre için bozucu etkili algılayıcı arızası, arıza tespit ve tanılama amaçlı incelenmiştir.



Şekil 6.18: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 4 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri Şekil 6.19’da verilmiştir.



Şekil 6.19: Arıza dayanımlı denetim sisteminde 5 nolu durum için sıcaklık, ölçülen sıcaklık ve kontrol girişi değerleri

Arızaların tespit edilip tanılanması 1502. sn de gerçekleşmiştir. Arıza dayanımlı denetim ile gerçekleştirilen fırın sistemin uygulama sonuçları için kalıcı hal hataları, aşım oranları, karesel hatalar toplamı değerleri Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.3: Arıza dayanımlı sıcaklık sistemi denetiminin uygulama sonuçları için kalıcı hal hataları, aşım oranları, karesel hatalar toplamı değerleri

Durum No	Kalıcı Hal Hatası	Aşım Oranı	Karesel Hatalar Toplamı
1	-2.1078	% 0.1	4.4502
2	-4.8400	% -0.36	19.0592
3	-1.7000	% 0.3	2.8644
5	-1.6235	% 0.41	2.4080

Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de görüldüğü gibi 1,2,3 ve 5 nolu durumlar için uygun denetleyiciler sisteme alındığında karesel hatalar toplamı, kalıcı hal hata değerleri ve aşım oranları düşmektedir. Sistem, arızalara rağmen kabuledilebilir başarımda çalışmasını sürdürmektedir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Arızalar, beklenilmeyen zamanlarda görülen, sistemin dinamik çalışmasında istenilmeyen değişimler gösteren ve sistem başarımını etkileyen durumlardır. Sistemde arıza oluşumu ciddi hayati sorulara yol açabilir. Örneğin bir hasta, yoğun bakımda hayat destek ünitelerine bağlı yaşarken yada bir uçak inişe geçerken gerekli bilgilerin aktarılmasında ortaya çıkabilecek arızalar hayati öneme sahiptir. Sistemde oluşabilecek arızalar endüstriyel sistemlerinde verimini büyük oranda etkilemektedir. Sürekli çalışması gereken sistemlerde arıza sonucu oluşan malzeme, iş gücü ve ekonomik kayıplar ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Geniş ölçekli sistemlerde güvenlik dahilinde başarımları sağlayabilme, arıza ile nasıl baş edeceğimiz sorusunu getirir.

Bu tezde hayati ve ekonomik öneme sahip, işaret işleme ve yapay zeka yöntemleri kullanılarak arıza dayanımlı denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçlarda benzetim ve gerçekleştirme çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları için benchmark süreç olarak isimlendirilen üçlü tank sistemi ve birinci derece artı zaman gecikmeli sıcaklık sistemi kullanılmıştır. Ziegler-Nichols Basamak Cevabı Alan Yönteminden elde edilen sıcaklık sisteminin modeli kullanılarak benzetim çalışması yapılmıştır. Gerçekleştirme çalışması için kullanılan deney seti, fırının PIC tabanlı kart üzerinden MatLab-Simulink programı ile gerçek zamanlı haberleşmesini sağlayan bir dizedir. Gerçekleştirme çalışmasında kullanılan sıcaklık sisteminde, merkezde 8-bit'lik PIC18F4585 işlemcisi kullanılmıştır. Benzetim ve gerçekleştirme çalışmalarında sistemin denetimi Bulanık Mantık denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Arıza dayanımlı denetim çevrim içi olarak gerçekleştirilmiş olup, aktif arıza dayanımlı denetim oluşturulmuştur. Arıza dayanımlı denetleyici tasarımı temel olarak üç seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviye klasik denetim döngüsünü, ikinci seviye arıza tespit ve tanılama basamağını, üçüncü seviye ise yönlendirmeli denetim sürecini içermektedir.

Birinci seviye; denetleyici, sistem, eyleyici ve algılayıcıdan oluşmaktadır. Klasik denetim basamağını oluşturmaktadır. Denetleyici, eyleyici, sistem ve algılayıcıdan arıza tespit ve tanılama birimine gönderilen işaretler incelenerek sistemde arıza olup olmadığına karar verilir.

İkinci seviye olan arıza tespit ve tanılama birimine gelen işaretler, model tabanlı, yapay zeka modelleme tabanlı, işaret işleme tabanlı, bilgi tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemlerinden biri kullanılarak incelenebilir.

Bu tez çalışmasında işaret işleme ve yapay zeka yöntemleri birleştirilerek arıza tespit ve tanılama gerçekleştirilmiştir. İşaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza tespit ve tanılama yöntemi, işaret işleme modülü, özellik çıkartım modülü, sınıflandırma modülünden oluşmaktadır. İşaret işleme modülünde, Ayrık Dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Ayrık Dalgacık dönüşümü için ortogonal dalgacık türü olan Daubechies dalgacık seçilmiştir. Özellik çıkartım modülünde, pencerelenen işaretin Ayrık Dalgacık dönüşümünden elde edilen detay ve yaklaşım katsayılarından faydalanarak istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. İstatistiksel hesaplamada Varyansın Değişim Oranı ve Değişim Oranının En Fazla Mutlak Değeri kullanılmıştır. Sınıflandırma modülünde ise SOM yapay sinir ağı kullanılarak örüntü tablosu oluşturulmuştur.

Üçüncü seviye olan yönlendirmeli denetim ise, arıza tespit ve tanılama basamağından gelen bilgi doğrultusunda sistemde arıza var olması koşulunda arızayı uygunlaştırmak için denetleyici kütüphanesinden uygun denetleyici seçerek anahtarlamalı denetim yardımıyla etkin hale getirir. Denetleyici kütüphanesi Bulanık Mantık denetleyicilerden oluşmaktadır.

Tez çalışması için gerçekleştirilen arıza dayanımlı denetleyici tasarımı çevrim içi ve çevrim dışı olmak üzere iki ana modülden oluşmaktadır. Çevrim dışı modülde sistemde oluşabilecek arızalar belirlenerek bilgi tabanı oluşturulur ve arızalara uygun denetleyiciler tasarlanır, çevrim içi modül ise sistemi çevrim içi olarak denetleyerek sistemde arıza oluşması durumunda bile başarımını düşürmeden çalışmasını sağlar.



Benzetim ve gerçekleme çalışmalarında algılayıcı arızaları uygulanarak işaret işleme ve yapay zeka tabanlı arıza dayanımlı denetleyici tasarımının başarımını incelenmiştir. Sistemde oluşabilecek algılayıcı arızalarına örnek olarak, algılayıcı işaretinin kaybı, algılayıcının sürüklenmesi, çıkışının tıkanması, algılayıcı çıkışının düzensiz olması gibi durumlar göz önüne alınmıştır. Kalıcı hal hataları, aşım oranları, karesel hatalar toplamı incelendiğinde sistemde arıza oluşması durumunda dahi sistemin başarımını koruyarak çalışmasına devam ettiği görülmektedir.

Sonuç olarak, bu tez çalışması uygulamada getirdiği yeni ve kullanışlı olanakların yanı sıra endüstriyel süreçlerdeki bakım teknolojilerinin gelişimi bakımından da yeni olanaklar sağlayacaktır. Böylece sistemlerde arızalardan dolayı oluşabilecek kesintinin önlenmesiyle ekonomiklik sağlanırken, askeri, havacılık ve uzay teknolojileri bakımından da yüksek güvenirlik sağlanmış olacaktır. Arızalar yaşlanma, yıpranma sistemin bakım ve yapımındaki insan hatalarından dolayı da gerçekleşebilir. Bu nedenle, arıza dayanımlı denetim, denetim sistemlerinin gelişiminde standart bir modül olarak dahil edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Bogh, S.,A., “Fault tolerant control systems – a development method and real life case study”, Phd Thesis, *Department of control engineering, Aalborg University*, 1-63, Denmark, (1997).
- [2] Bajpai, G., “Reconfigurable control of aircraft undergoing sensor and actuator failures”, Doctor of Philosophy, *Drexel university*, 1-33, (2001).
- [3] Clements, N.S., “Fault Tolerant Control of Complex Dynamical Systems”, Doctor of Philosophy , *Georgia Institute of Technology*, 1-37, (2003).
- [4] Blanke M., Marcel, S., Wu, E.,N., “Concepts and methods in fault tolerant control”, *Proceedings of the american control conference*, 2606-2620,( 2001).
- [5] Yu, D.,L.,Chang, T.,K., Yu, D.,W., “Fault tolerant control of multivariable process using auto-tuning PID controller”, *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 35, no. 1, 32-43, (2005).
- [6] Zhang, Y.,M., Jiang, J., “Active fault tolerant control system against partial actuator failures”, *IEE proc. Control theory, apply*. Vol. 149, No:1, 95-104,( 2002).
- [7] Wu, E.,N., “Reliability of fault tolerant control systems:Part II”, *Proceedings of the 40th IEEE conference on decision and control*, 1466-1471, (2001).
- [8] Zamanabadi, R.,I., “Lecture notes – Practical approach to reliability, safety, and active fault tolerance”, , Department of control engineering, *Aalborg University*, Denmark, 4-37, (2000).
- [9] Clemens, P.L., 2002,  
<http://www.sverdrup.com/safety/fta.pdf#search=%22fault%20tree%20analysis%22>  
(Ziyaret tarihi:Ağustos 2006).
- [10] Noura, H., Sauter, D, Hamelin, F., Theilliol, D., “Fault tolerant control in dynamic systems: application to a winding machine”. *IEEE control system magazine*, 33-49, (2000).
- [11] Qing Zhao, [www.ee.ualberta.ca/~qingzhao/u\\_talk/sld015.htm](http://www.ee.ualberta.ca/~qingzhao/u_talk/sld015.htm) (Ziyaret tarihi: 2006 )
- [12] Bakarić, V., Vukić Z., Antonić, R., “Scope and application of reconfigurable control”, *Proc. 11th Meditarrenaeen Conference on Control and Automation MED'03*, Rhodes, Greece, (2003).

- [13] Kanev, S., “Robust fault tolerant control”, , Ph.D. thesis, *University of Twente* , The Netherlands, 1-20, (2004).
- [14] Zhang, G., Yang, Y.-L., Wang, Z.-Q., “Adaptive Fault Tolerant Control System Design for Nonlinear Systems With Actuator Failures”, *Proceedings of the fourth international conference on machine learning and cybernetics*, Guangzhou, 409-505, (2005).
- [15] Zhang Y.;Wang F.;Hesketh T., Clements D. J.;Eaton R., “Fault accommodation for nonlinear systems using fuzzy adaptive sliding control”, *International Journal of Systems Science*, Volume 36, Number 4, 215-220, (2005.)
- [16] JIANG,J.,2003. <http://www.ece.lsu.edu/mcu/lawss/presentations/JinJiang.pdf>.  
(Ziyaret tarihi: Aralık 2006).
- [17] Blanke, M., Zamanabadi, R.,I., Bögh, S.A., Luanu, C.P., “Fault tolerant control systems- a holistic view”, *Control eng. Prac.* Vol.5, no. 5, 693-702, (1997).
- [18] Niemann, H., Stoustrup, J.,. “Passive fault tolerant control of a double inverted pendulum – a case study”, *Control engineering practice* 13, 1047-1059, (2004).
- [19] Yen, G.G., Liang, W.,H., “Intelligent fault tolerant control using artificial neural Networks”, *IEEE* , 266- 271, (2000).
- [20] Diao, Y., Passino, K.,M., “Fault tolerant stable adaptive fuzzy/neural control for a turbine engine”. *Submitted to IEEE transactions on control systems technology*, 1-17, (2000).
- [21] Puig, V., Quevedo, J., “Fault tolerant PID controllers using a passive robust fault diagnosis approach”, *Control engineering practice* 9, 1221-1234, (2001).
- [22] Yen, G.G., Ho, L.,W., “On-line multiple model based fault diagnosis and accommodation”, *International symposium on intelligent control*, Mexico, 73-78, (2001).
- [23] Wu, N.,E., “Reliability of fault tolerant control systems . part I”, *Conference on Decision and control*, 1460-1465, USA, (2001).
- [24] Polycarpou, M., Zhang, X., Xu, R., Yang, Y., Kwan, C., “A neural network based approach to adaptive fault tolerant flight control”, *International symposium on intelligent control*, Taiwan, 61-66, (2004).
- [25] Chen, H., Shao, Z., “Fault tolerant control for switched reluctance machine system”, *The 30 th Annual conference of the IEEE industrial electronics society*, 2526-2529,(2004).
- [26] Capiluppi, M., Paoli, A., “Hierarchical design of distributed fault tolerant control systems”. *Preprint submitted to joint 2005 international symposium on intelligent control & 13 th mediterranean conference on control and automation*, (2005).

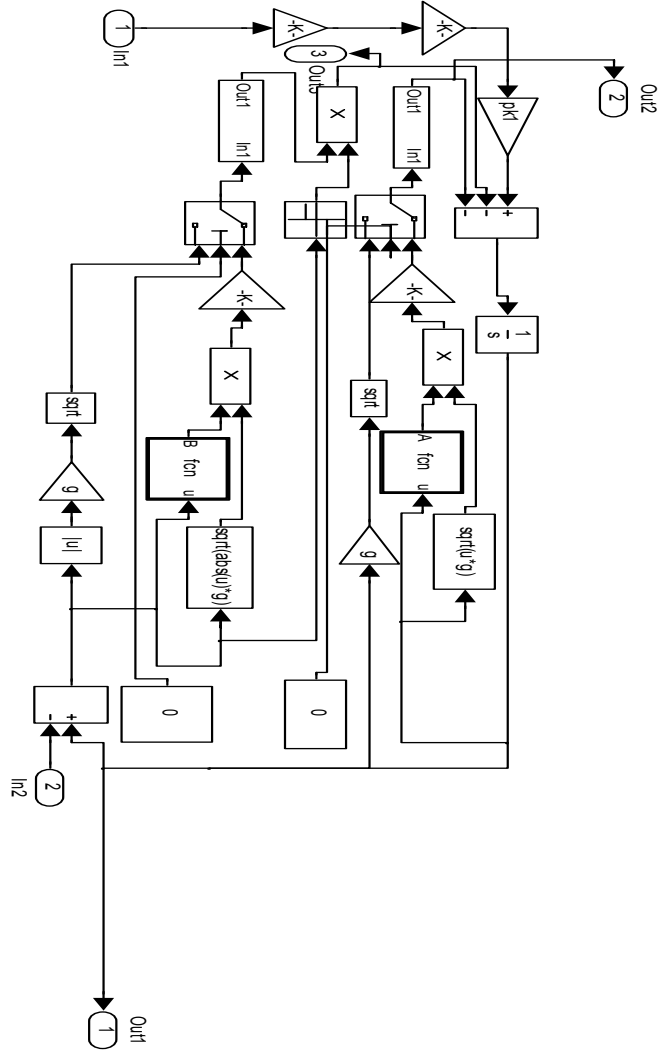
- [27] Izumikawa, Y., Yubai, K., Hirai, J., “Fault tolerant control system of flexible arm for sensor fault by using reaction force observer”, *IEEE, Asme transactions on mechatronics*, 10(4) ,391-396, (2005).
- [28] 190 Jiang , J., Zhang, Y.,M. “Accepting performance degradation in fault tolerant control system design”, *IEEE transactions on control systems technology*, 14 (2), 284-292, (2006).
- [29] Pashilkar, A.A., Sundararajan, N., Saratchandran, P., “A fault-tolerant neural aided controller for aircraft auto-landing”, *Aerospace Science and Technology* 10 , 49–61, (2006).
- [30] Mhaskar, P., Gani, A., Christofides, P.,D., “Fault-tolerant control of nonlinear processes:Performance-based reconfiguration and robustness”, *Int. J. Robust Nonlinear Control* 16, 91–111, (2006).
- [31] Edwards, C., Tan, C. P., “Sensor fault tolerant control using sliding mode observers”, *Control Engineering Practice* 14, 897–908, (2006).
- [32] Silvestri, G.; Verona, F.B.; Innocenti, M.; Napolitano, M., “Fault detection using neural Networks”, *IEEE International Conference* on Volume 6, Issue , 27, 3796 - 3799, (1994).
- [33] Saberi, A., Stoorvogel, A.,A., Peddapulaiah, S., Niemann, H., “Fundamental problems in fault detection and identification” , *International journal of robust and nonlinear control* 10,1209-1236, (2000).
- [34] Nakkabi, Y., Kabbaj, N., Dahhou, B., Roux, G., Aguilar-Martin, J., “A combined analytical and knowledge based method for fault detection and isolation”, *IEEE Conference on Emergin Technologies and Factory Automation*, Lisbonne (Portugal), vol.2, 161- 164, (2003).
- [35] Mendocça, L.F., Sousa, J., M., Sa Da Costa, J., M., G., “Fuzzy model –based fault detection and isolation”, *IEEE*, 768-774, (2003).
- [36] Simani S, Fantuzzi C, Beghelli S., “Diagnosis techniques for sensor faults of industrial processes”, *IEEE transactions on control systems technology* 8 (5), 848-855, (2000).
- [37] Diao, Y., Passino, K.,M., “Fault Diagnosis for a Turbine Engine”, *Control Engineering practice* 12, pp. 1151-1165, (2004).
- [38] Tan, C. P., Habib, M. K., “Implementation of a sensor fault reconstruction scheme on an inverted pendulum”, *IEEE 5th Asian Control Conference*, Volume: 3,pp. 1423- 1428, (2004).
- [39] Hallouzi, R., Verdult, V., Babuska, R., Verhaegen, M., “Fault Detection and Identification of Actuator Faults Using Linear Parameter Varying Models”, *Preprints of the IFAC World Congress*, Prague, Czech Republic, (2005).

- [40] Zhang, G., Yang, Y.-L., Wang, Z.-Q., “Adaptive Fault Tolerant Control System Design for Nonlinear Systems With Actuator Failures”, *Proceedings of the fourth international conference on machine learning and cybernetics*, Guangzhou, 499-505,(2005).
- [41] Heredia, G., Ollero, A., Mahtani, R., Bejar, M., Remuß, V., Musial, M., “Detection of Sensor Faults in Autonomous Helicopters”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Spain, 2229-2234, (2005).
- [42] Sauter, D., 2006. [http://kepo.hut.fi/files/2006\\_Sauter\\_Course\\_Description.pdf](http://kepo.hut.fi/files/2006_Sauter_Course_Description.pdf).  
(Ziyaret tarihi:Aralık 2006 )
- [43] Ridenour, J., “Observer Based Fault Detection and Isolation”. Advancing Technology through Collaboration, *ESRDC Research Project Report: EE 496*. 1-26, (2004).
- [44] Zhihan X., “Design of Knowledge-based Fault Detection and Identification for Dynamical Systems”, Master of Science, *University of Alberta*, 1-53,(2002).
- [45] Angeli, C. Chatzinikolaou, A., “On-line Fault Detection Techniques for Technical Systems: A Survey”, *International Journal of Computer Science & Applications*, Vol.1, no.1, 12-30, (2004).
- [46] Huang, Y.-C., “A New Intelligent Approach to Fault Detection of Electric Power Transformers”, *TAAI 2002 Conference Proceedings*, (2002).
- [47] Dash, S., Venkatasubramanian, V., “Challenges in the Industrial Applications of Fault Diagnostic Systems”, *Comput Chem Eng* 24(2-7), *in the Proceedings of the conference on Process Systems Engineering*, 785-791, (2000).
- [48] Bolat, D.,E., “Kesintisiz Güç Kaynakları için Sayısal Tabanlı Evirici Denetimi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 59-79, (2005).
- [49] Reza,A.M., “Wavelet Charateristics”. *White Paper, Spire Lab., UWM*, (1999).
- [50] Daubechies,I., “The Wavelet Transform, Time Frequency Localization and Signal Analysis”, *IEEE transaction on information theory*, Vol. 36,No.5, 961-1005, (1990).
- [51] Watson, G.H., “Introduction to Wavelet Analysis”. *RTO SCI Lecture series on application of Mathematical Signal Processing Techniques to Mission Systems*, Köln, Germany, (1999).
- [52] Sweldens,W., “Wavelets: What Next?”, *Proceedings of the IEEE*, vol.84, no.4, 680-685, (1996).
- [53] Cumming,I.,20 September 2001.[http://www.ece.ubc.ca/elec\\_591](http://www.ece.ubc.ca/elec_591), (Ziyaret tarihi: 2003).

- [54] Polıkar,R.,12Ocak2001.  
<http://engineering.rowan.edu/epolıkar/WAVELETS/WTtutorial.html>
- [55] Horgan, G.,W., “Using wavelets for data smoothing: a simulation results”, *Journal of applied statistics*, 26:8, 923-932, (1999).
- [56] Elmas, Ç., “Yapay sinir ağları”, *Seçkin Yayınevi*, 161-168, (2003).
- [57] Elmas, Ç., “Bulanık Mantık Denetleyiciler”, *Seçkin Yayıncılık*, 86-100, (2003)
- [58] Güllü, M. K., “Bulanık Görüntü Stabilizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 24-32,(2003).
- [59] Karuei, I., Meskin, N., Aghdam, A.,G., “Multi-Layer Switching Control”, *American Control Conference USA*, 4772-4777, (2005).
- [60] Zhang, M., Tarn, T.-J., “A switching control strategy for nonlinear dynamic systems”, *International conference on Robotics and Automation*, Taiwan, 1476-1481, (2003).
- [61] Leith, D., Shorten, R., Leithead, W., Mason, O., “Issue in the design of switched linear control systems: A benchmark study”, *Int. J. Adapt. Control Signal Process* 17 (2), 103-118, (2003).
- [62] Laubwald, E., [www.control-systems-principles.co.uk](http://www.control-systems-principles.co.uk) , (**Ziyaret tarihi: Ocak 2006**).
- [63] Henry, D., Zolghadri, A., “Norm-based design of robust FDI schemes for uncertain systems under feedback control: Comparison of two approaches”, *Control engineering practice* 14, 1081-1097, (2006).
- [64] Bolat, Y., , “Matlab-SIMULINK + PIC Tabanlı Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı ve Gerçek Zamanlı Sıcaklık Kontrolü Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-43, (2006).

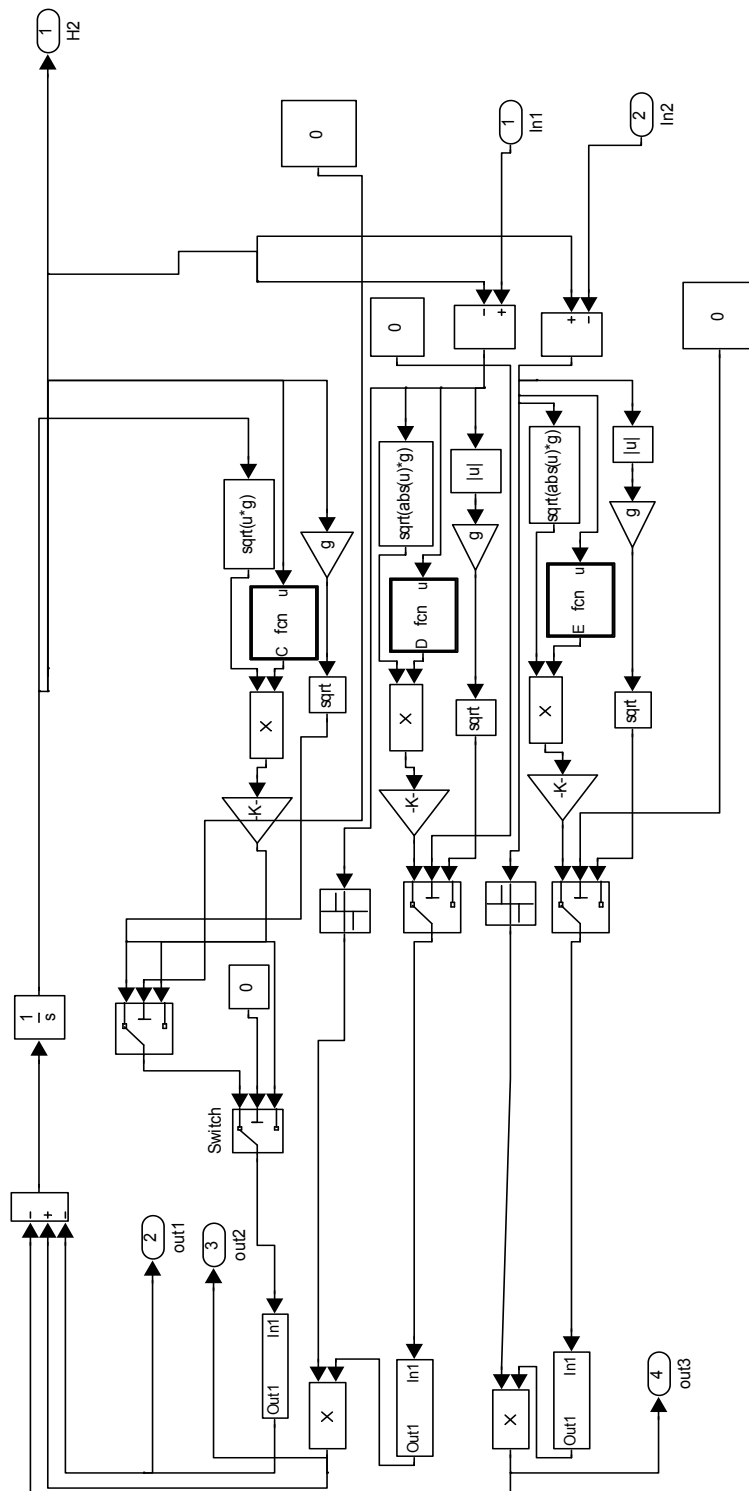
## Ek A. MATLAB - SIMULINK ŞEMALARI

Tank 1' in Simulink modeli Şekil A.1'de verilmiştir.



Şekil A. 1 Tank 1 MatLab-Simulink modeli

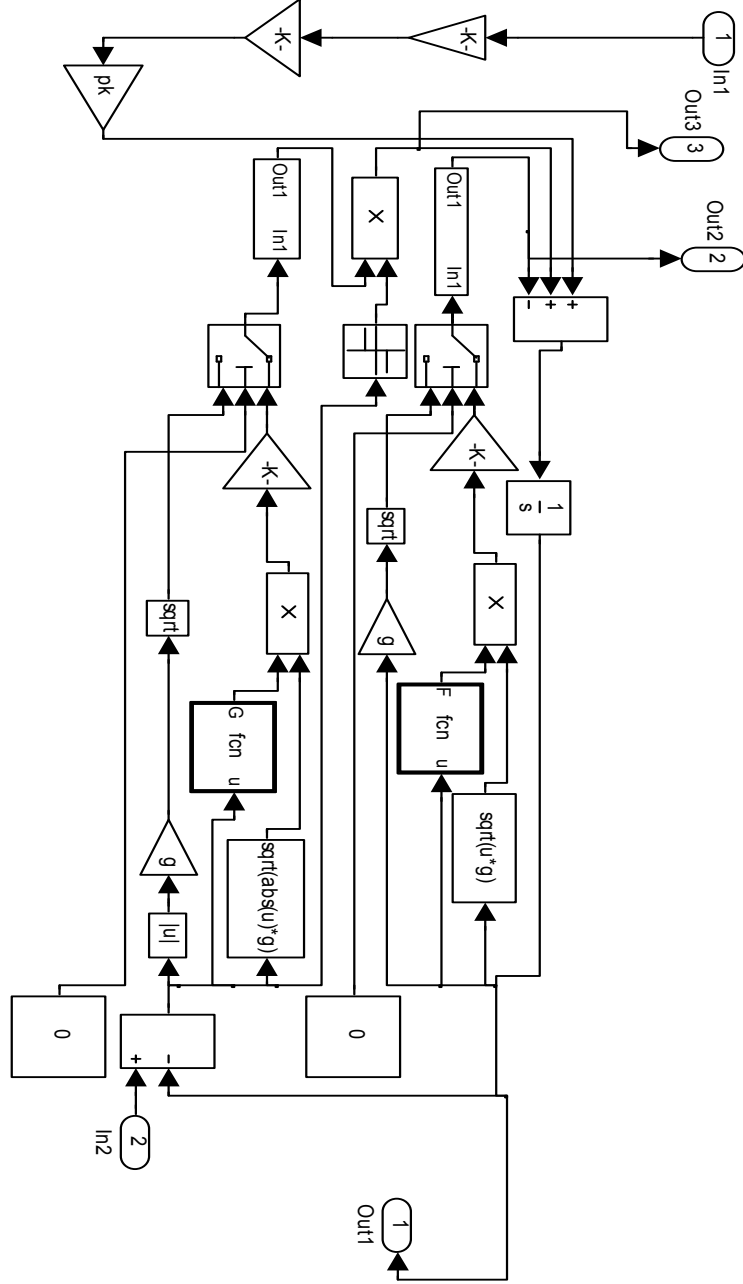
Tank 2'nin simulink modeli Şekil A.2'de verilmiştir.



Şekil A.2 Tank 2 MatLab-Simulink modeli

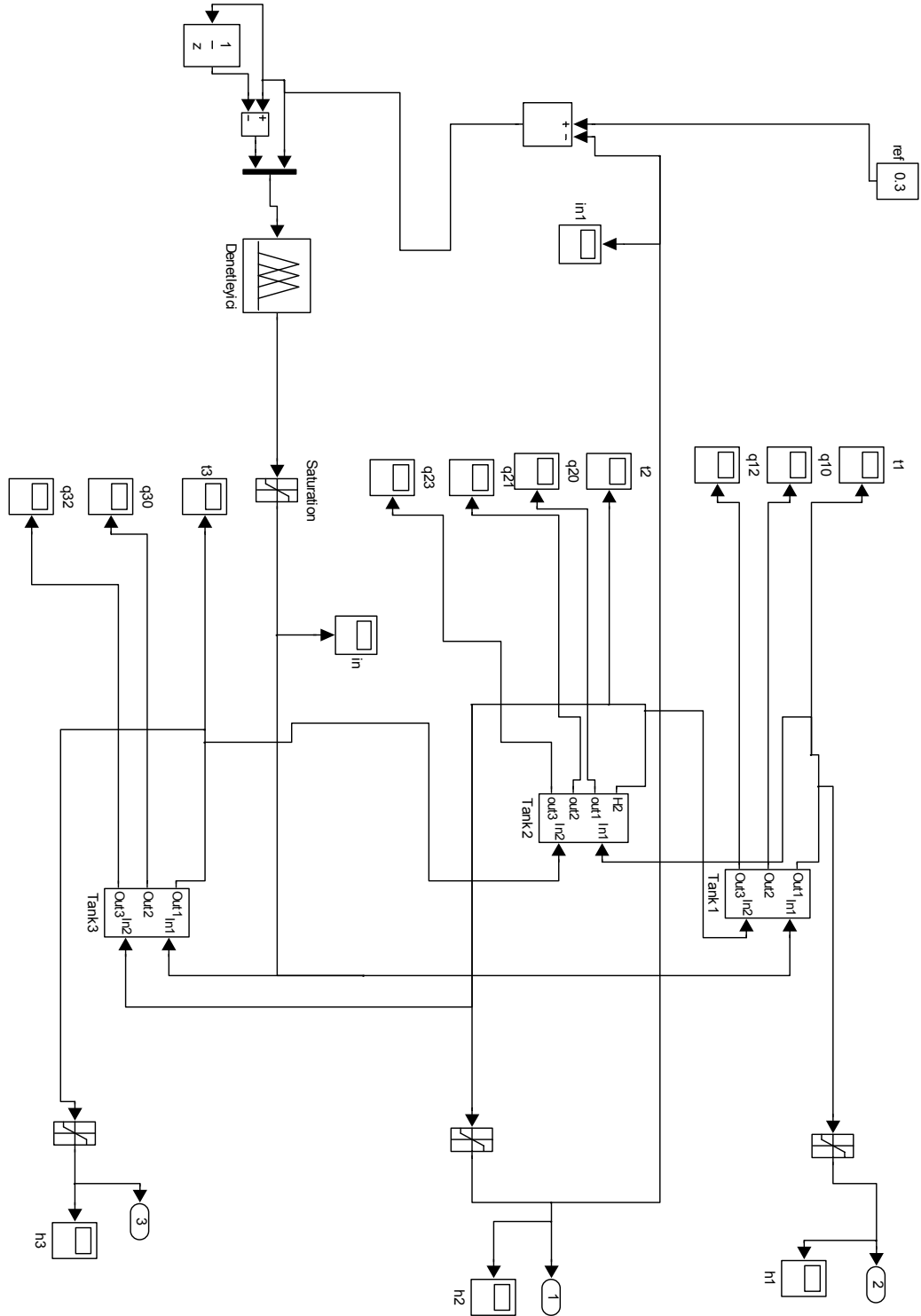


Tank 3'ün simulink modeli Şekil A.3'de verilmiştir.



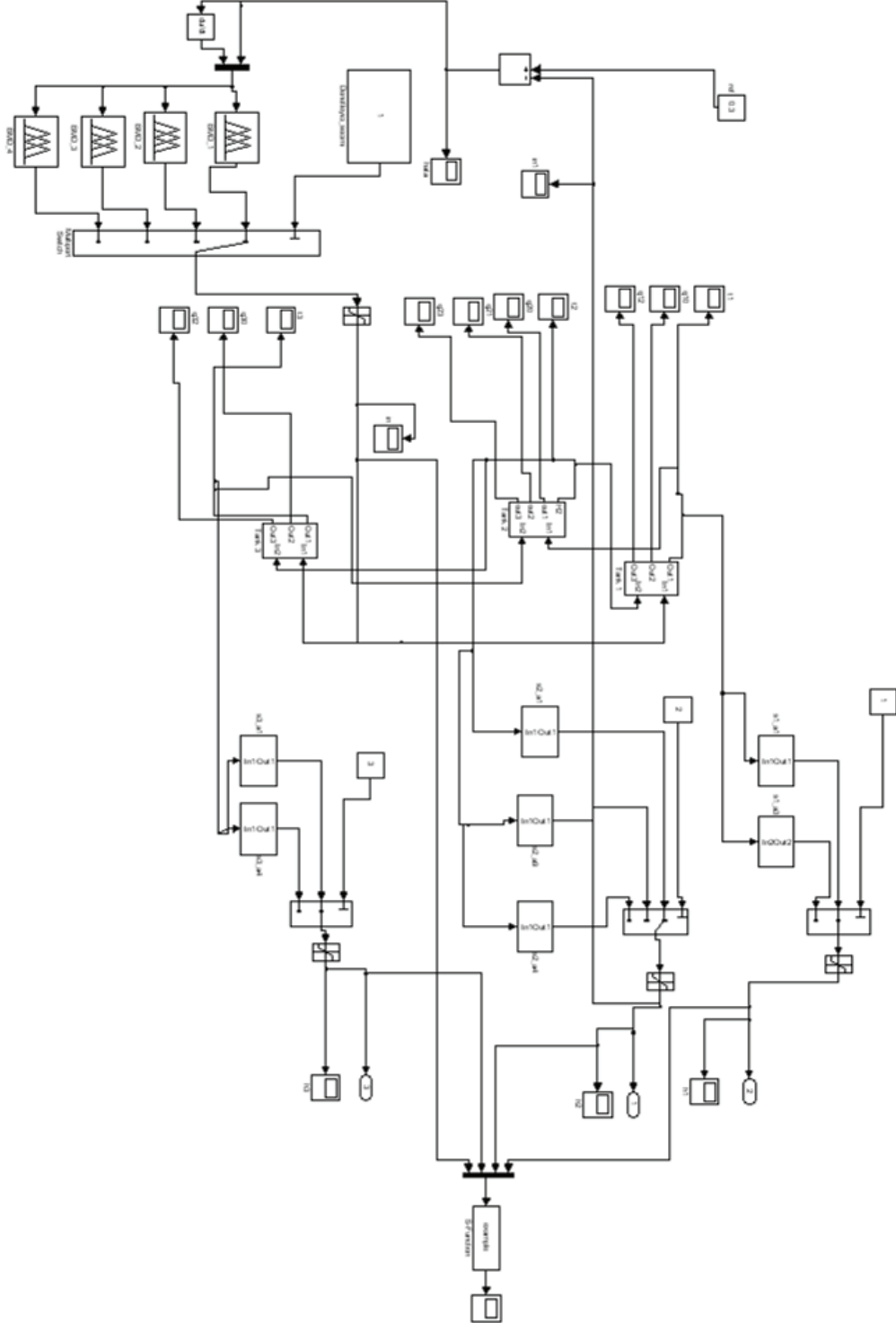
Şekil A.3 Tank 3 MatLab-Simulink modeli

BMD kullanılarak gerçekleştirilen tank sistemin MatLab-Simulink modeli Şekil A.4’de verilmiştir.



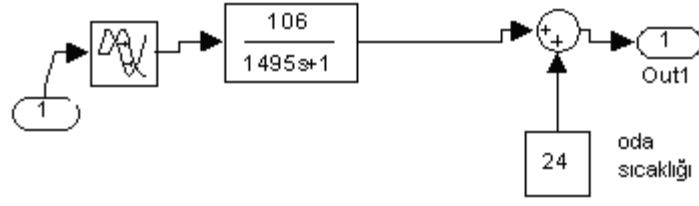
Şekil A.4 BMD kullanılarak gerçekleştirilen üçlü tank sisteminin MatLab-Simulink modeli

Şekil A.5’de tank sisteminin arıza dayanımlı denetim MatLab-Simulink modeli gösterilmektedir.



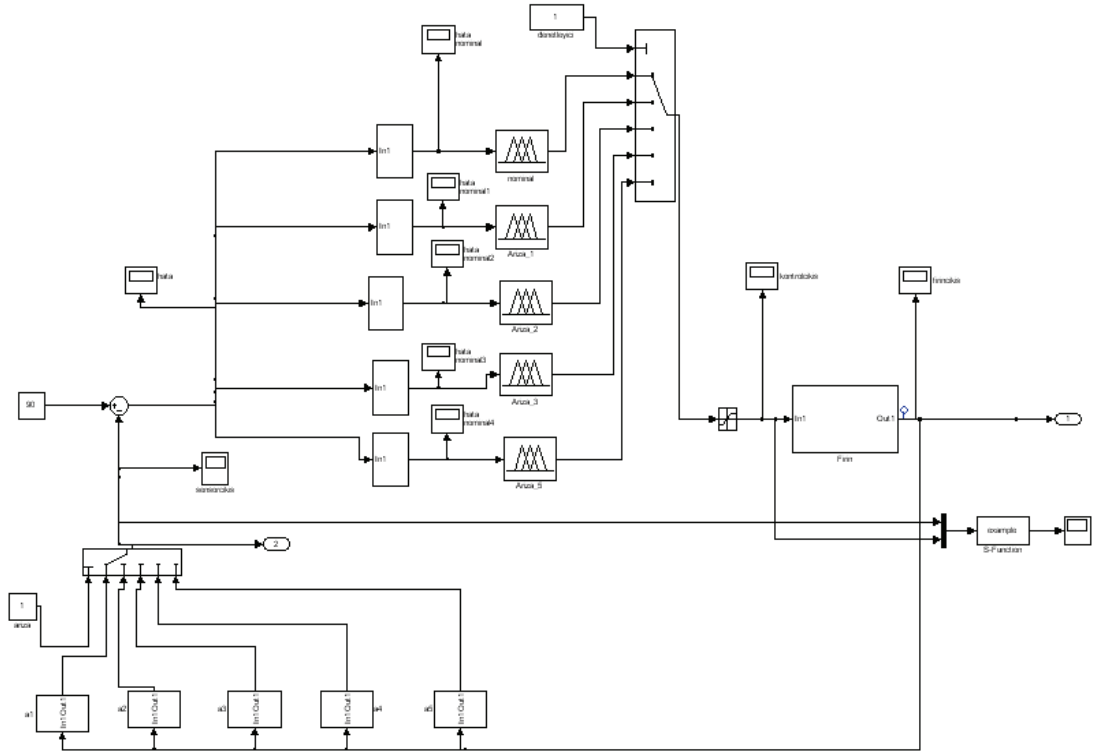
Şekil A.5 Tank sisteminin arıza dayanımlı denetim MatLab-Simulink modeli

Şekil A.6’da fırının MatLab-Simulink modeli görülmektedir.



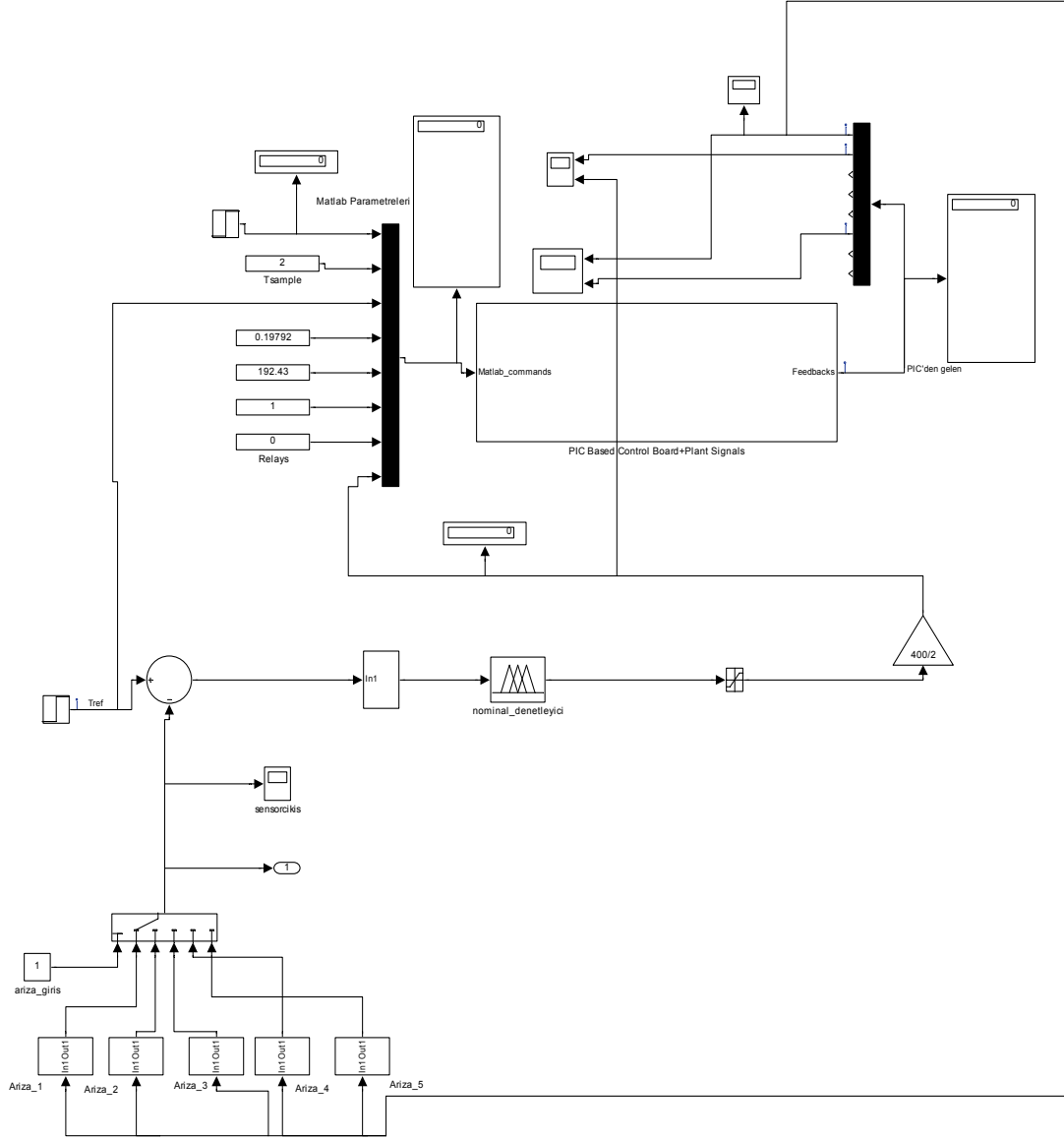
Şekil A.6 Fırının MatLab-Simulink modeli

Fırının matematiksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olan arıza dayanımlı denetimin Matlab-Simulink modeli Şekil A.7’de gösterilmiştir.



Şekil A. 7 Fırının matematiksel modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş olan arıza dayanımlı denetimin MatLab-Simulink modeli

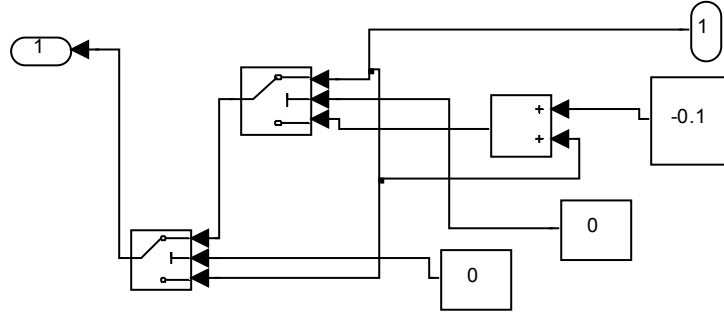
Şekil A.8, gerçekleştirme çalışmasında kullanılan nominal denetleyici etkilerinin incelendiği MatLab-Simulink modelini göstermektedir.



Şekil A.8 Deney seti için nominal denetleyici etkilerinin incelendiği MatLab-Simulink modeli

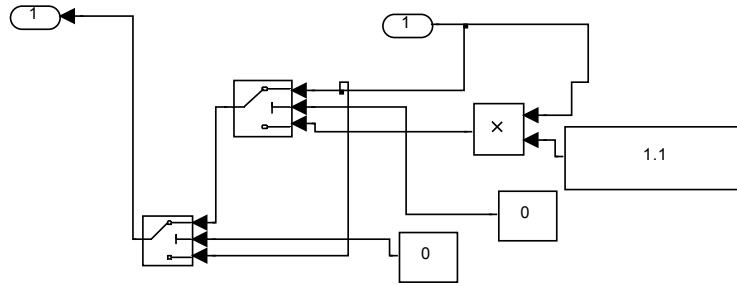


Şekil A.10, Şekil A.11, Şekil A.12, Şekil A.13, Şekil A.14, Şekil A.15, Şekil A.16 sırasıyla tank sistemine uygulanan algılayıcı arızalarının MatLab-Simulink modelini göstermektedir.



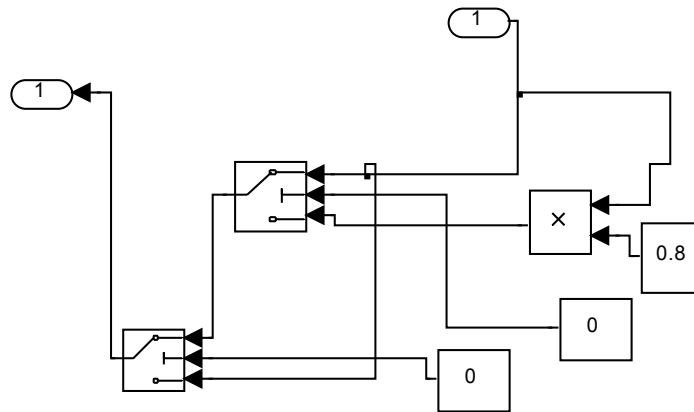
Durum No : 1

Şekil A. 10 Tank 2 algılayıcısı için toplamsal arıza



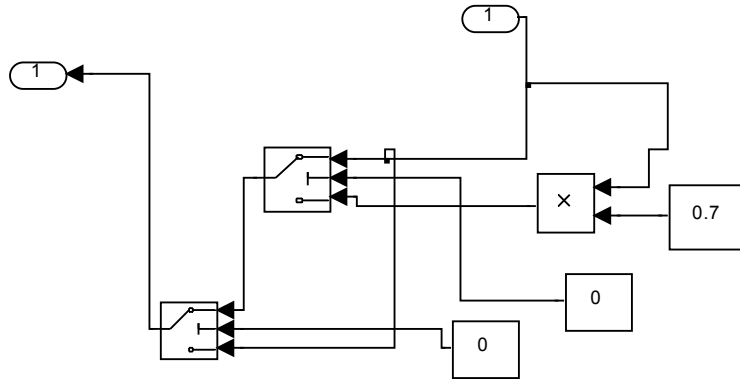
Durum No: 2

Şekil A.11 Tank 3 algılayıcısı için çarpımsal arıza



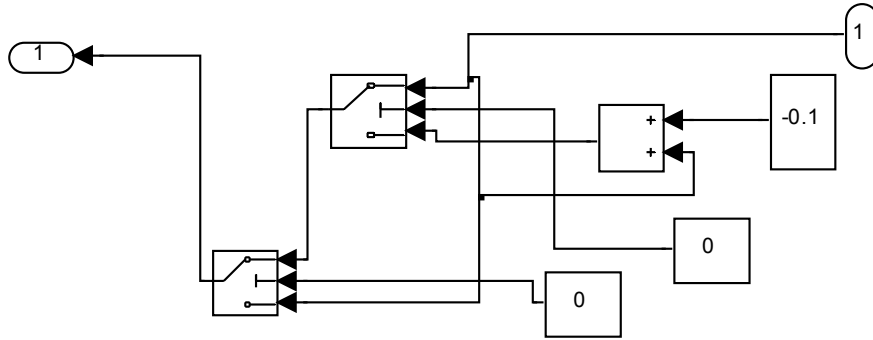
Durum No:3

Şekil A. 12 Tank 2 algılayıcı arızası için çarpımsal arıza



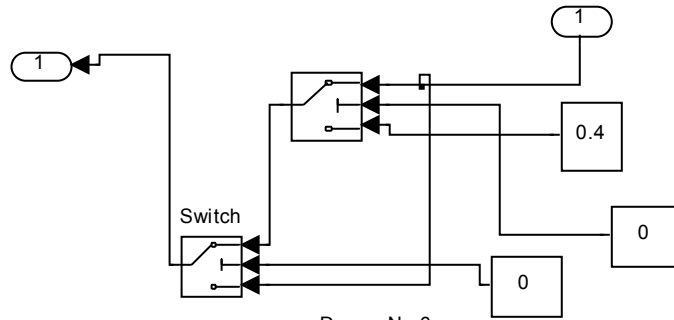
Durum No: 4

Şekil A. 13 Tank 1 algılayıcısı için çarpımsal arıza



Durum No : 5

Şekil A.14 Tank 3 algılayıcısı için toplamsal arıza

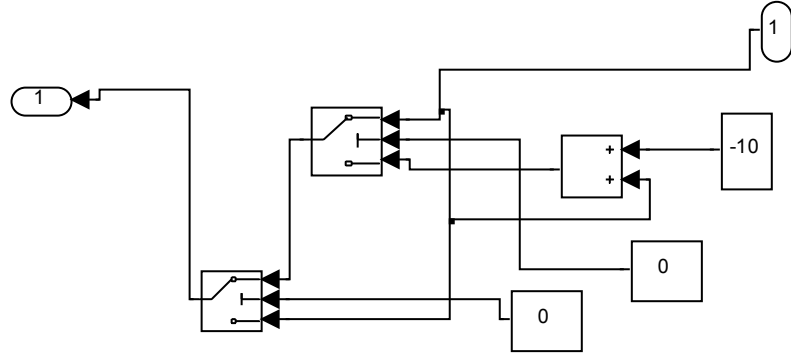


Durum No:6

Şekil A.15 Tank 1 algılayıcısı için tıkama arızası

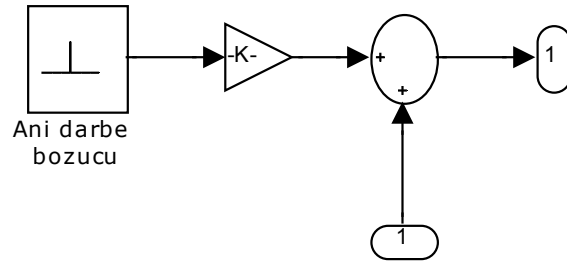






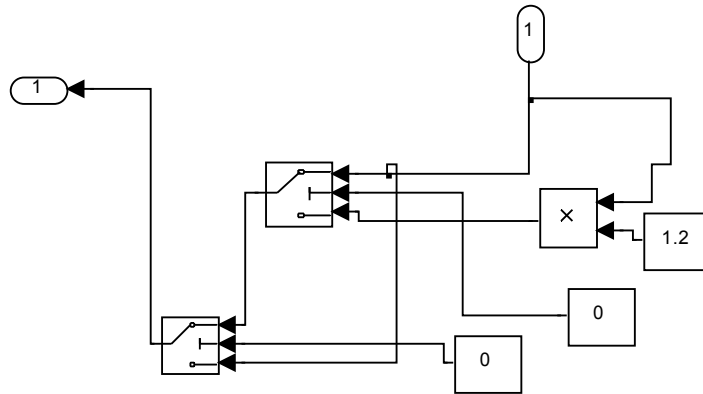
Durum No:3

Şekil A.19 Toplamsal arıza



Durum No:4

Şekil A.20 Bozucu tipinde arıza



Durum No:5

Şekil A.21 Çarpımsal arıza

## Ek B. PROGRAM LİSTESİ

### %Üçlü Tank Sistemi

#### Ana fonksiyon

```
clear all
global tmps1;global tmps2;global tmps3;global tmpin1;global ariza_tipi;
global myvar1;global myvar2;global myvar3;global myvar4;global z;global ff;
global startpoint;global sss;global aaaa;global ariza_tipi;global pp;global acv;global
olc;global tmps2;tmps1=[];tmps2=[];tmps3=[];tmpin1=[];global art;global arizalar;global
ariza_sonuc;global p;global zam;global yedek;global tmps1;global tmps3;
pp=1;aaaa=[];sss=0;arizalar=[];ariza_sonuc=[];art=2;olc=[];acv=[];
r1=3.586e9; r2=6.375e9;r3=3.586e9;r12=116.364e3;r23=r12;s1=8.107*10^-3;
s2=4.560*10^-3;s3=8.107*10^-3;g=9.81;pk=1/s3;
pk1=1/s1;K1=1000/r1;K2=1000/r2;K3=1000/r3;K12=1000/r12;K23=1000/r23;
A=K1/s1;B=K12/s1;C=K2/s2;D=K12/s2;E=K23/s2;F=K3/s3;G=K23/s3;baslangic=235;
```

#### %Bilgi tabanı oluşturulması

```
p_genis=60;adim=1;dalgacik='db8';oz_genis=20;
s_genis=5;dwtmode('zpd'); seviye=6;
ryakseviye=2;rdetseviye=2;ozellik_no=8;
```

#### %Ariza 1

```
load n1;
n11=h1(:,2);
load n2;
n12=h2(:,2);
load n3;
n13=h3(:,2);
```

#### %Ariza 2

```
load s1_a1_1;
s1a11=h1(:,2);
load s1_a1_2;
s1a12=h2(:,2);
```

```
load s1_a1_3;  
s1a13=h3(:,2);
```

```
%Ariza 3
```

```
load s1_a3_1;  
s1a31=h1(:,2);  
load s1_a3_2;  
s1a32=h2(:,2);  
load s1_a3_3;  
s1a33=h3(:,2);
```

```
%Ariza 4
```

```
load s2_a1_1;  
s2a11=h1(:,2);  
load s2_a1_2;  
s2a12=h2(:,2);  
load s2_a1_3;  
s2a13=h3(:,2);
```

```
%Ariza 5
```

```
load s3_a1_1;  
s3a11=h1(:,2);  
load s3_a1_2;  
s3a12=h2(:,2);  
load s3_a1_3;  
s3a13=h3(:,2);
```

```
%Ariza 6
```

```
load s3_a4_1;  
s3a41=h1(:,2);  
load s3_a4_2;  
s3a42=h2(:,2);  
load s3_a4_3;  
s3a43=h3(:,2);
```

```
%Ariza 7
```

```
load s2_a4_1;  
s2a41=h1(:,2);
```

```

load s2_a4_2;
s2a42=h2(:,2);
load s2_a4_3;
s2a43=h3(:,2);

%Ariza 8
load s2_a9_1;
s2a91=h1(:,2);
load s2_a9_2;
s2a92=h2(:,2);
load s2_a9_3;
s2a93=h3(:,2);

uz=length(s2a41);
uz=uz-(baslangic+p_genis);
while baslangic+p_genis <= uz%(250+60)
    for i=1:ozellik_no

        if i == 1
            load nin;
            tmpin1=in(:,2);
            tmpls1=n11; tmpls2=n12; tmpls3=n13;
        end
        if i == 2
            load s1_a1_in;
            tmpin1=in(:,2);

            tmpls1=s1a11; tmpls2=s1a12; tmpls3=s1a13;
        end
        if i == 3
            load s1_a3_in;
            tmpin1=in(:,2);
            tmpls1=s1a31; tmpls2=s1a32; tmpls3=s1a33;
        end
        if i == 4
            load s2_a1_in;
            tmpin1=in(:,2);
            tmpls1=s2a11; tmpls2=s2a12; tmpls3=s2a13; %tmpin1=U1;
        end
    end
end

```

```

end

if i == 5
load s2_a9_in;
tmpin1=in(:,2);
tmpls1=s2a91; tmpls2=s2a92; tmpls3=s2a93; %tmpin1=U1;
end
if i ==6
    load s2_a4_in;
    tmpin1=in(:,2);
    tmpls1=s2a41; tmpls2=s2a42; tmpls3=s2a43;
end

if i == 7
    load s3_a1_in;
    tmpin1=in(:,2);
    tmpls1=s3a11; tmpls2=s3a12; tmpls3=s3a13;
end
if i == 8
    load s3_a4_in;
    tmpin1=in(:,2);
    tmpls1=s3a41; tmpls2=s3a42; tmpls3=s3a43;
end
isrt1(i,:)=tmpls1(baslangic:1:baslangic+p_genis);
isrt2(i,:)=tmpls2(baslangic:1:baslangic+p_genis);
isrt3(i,:)=tmpls3(baslangic:1:baslangic+p_genis);
isrtin(i,:)=tmpin1(baslangic:1:baslangic+p_genis);
[C01,L01] = wavedec(isrt1(i,:),seviye,dalgacik);
detay1(i,:) = wrcoef('d',C01,L01,dalgacik,rdetseviye);
yaklasim1(i,:) = wrcoef('a',C01,L01,dalgacik,ryakseviye);
[C02,L02] = wavedec(isrt2(i,:),seviye,dalgacik);
detay2(i,:) = wrcoef('d',C02,L02,dalgacik,rdetseviye);
yaklasim2(i,:) = wrcoef('a',C02,L02,dalgacik,ryakseviye);
[C03,L03] = wavedec(isrt3(i,:),seviye,dalgacik);
detay3(i,:) = wrcoef('d',C03,L03,dalgacik,rdetseviye);
yaklasim3(i,:) = wrcoef('a',C03,L03,dalgacik,ryakseviye);
[C04,L04] = wavedec(isrtin(i,:),seviye,dalgacik);
detayin1(i,:) = wrcoef('d',C04,L04,dalgacik,rdetseviye);

```

```

    yaklasimin1(i,:) = wrcoef('a',C04,L04,dalgacik,ryakseviye);
end
oz_baslama=p_genis-oz_genis;
for i=1:1:ozellik_no % her durum icin bir penceredeki hesaplama
    ld(1,:)=detay1(i,:); ld(2,:)=detay2(i,:); ld(3,:)=detay3(i,:); ld(4,:)=detayin1(i,:);
    la(1,:)=yaklasim1(i,:);    la(2,:)=yaklasim2(i,:);    la(3,:)=yaklasim3(i,:);
la(4,:)=yaklasimin1(i,:);
    for j=1:2:7
        jj=(j+1)/2;
        aa=cov(ld(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
        bb=cov(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
        ozellik(i,j)=aa-bb;
        ozellik(i,j)=ozellik(i,j)/(bb+eps);
        aa=max(abs(ld(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
        bb=max(abs(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
        ozellik(i,j+1)=aa-bb;
        ozellik(i,j+1)=ozellik(i,j+1)/(bb+eps);
    end
    for j=9:2:15
        jj=(j-7)/2;
        la(jj,:)=la(jj,:)-mean(la(jj,:));
        aa=cov(la(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
        bb=cov(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
        ozellik(i,j)=aa-bb;
        ozellik(i,j)=ozellik(i,j)/(bb+eps);
        aa=max(abs(la(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
        bb=max(abs(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
        ozellik(i,j+1)=aa-bb;
        ozellik(i,j+1)=ozellik(i,j+1)/(bb+eps);
    end
end
if baslangic ==242
    ozellik_data=ozellik;
    ozellik_vek=sigmoid(ozellik_data,ozellik_no,baslangic)
    save oz242
end
pause(0.1);
baslangic=baslangic+adim;

```

```

end
save ov100906

%Sigmoid fonksiyon
function ozellik_vek=sigmoid(ozellik_data,ozellik_no,baslangic)
fett=abs(ozellik_data)
for j=1:ozellik_no
    for i=1:length(fett)
        ozellik_vek(j,i)=(1-exp(-.5*fett(j,i)))/((1+exp(-.5*fett(j,i)))+eps)
    end
end
end

% SOM YSA ile Sınıflandırma
oz_vek_ysa=[];k=1;
oz_vek=ozellik_vek';
ozellik_no=8;
for j=1:ozellik_no
    oz_vek_ysa=[oz_vek_ysa oz_vek(:,j)];
end
net = newsom(minmax(oz_vek_ysa),[10 10]); net.trainParam.goal = 0.0001
net.iw{1,1};
net.trainParam.epochs =8500;
[NET,tr,Y] = train(net,oz_vek_ysa)
s=1;
for i=1:ozellik_no
    a = sim(NET,oz_vek(:,i))
    ind(s,k)=vec2ind(a)
s=s+1;
end
k=k+1
save ysa NET
save egt
load ysa NET
agirlik_vek=NET.iw{1,1}; %100*16
oz_vek_ysa;
m=[];mm=[];
ozellik_no=8;
ag=10;

```



```

ag_alan=ag^2;
for k=1:ozellik_no
    mm=[];
    for i=1:ag_alan
        h=(sse(oz_vek_ysa(:,k)-agirlik_vek(i,:)));
        mm=[mm;h];
    end
    m(:,k)=mm; %100*11
end
ind=[];
for i=1:ag_alan
[a b]=min(m(i,:));
ind=[ind;b];
end
ysa_kume=[];
a=1;
for d=1:ag
    s=1;
for i=1:ag
    ysa_kume(s,d)=ind(a);
    s=s+1;
    a=a+1;
end
end
ysa_kume_1=[];
ysa_kume_1=ysa_kume;
ysa_kume_1=[ysa_kume_1 zeros(ag,1)];
ysa_kume_1=[ysa_kume_1;zeros(1,(ag+1))]; %cizim icin
figure
pcolor(ysa_kume_1)
save egtm_2_100906
save tablo ysa_kume

```

### **%Arıza Dayanımlı Denetim**

```

global tmps1;global tmps2;global tmps3;global tmpin1;global ariza_tipi;global baslangic;
global myvar1;global myvar2;global myvar3;global myvar4;global z;global ff;global adim;
global ariza_tipi;global tmps2;

```

```

global pp;global acv;global olc;global art;global arizalar;global ariza_sonuc;global p;global
zam;global yedek;global tmps1;global tmps3;
p_genis=60;adim=1;dalgacik='db8';s_genis=5;dwtmode('zpd');
seviye=6;ryakseviye=2; rdetseviye=2;
tmps1=[tmps1 myvar1];tmps2=[tmps2 myvar2]; tmps3=[tmps3 myvar3]; tmpin1=[tmpin1
myvar4];
p=length(tmps1)
zam=get_param('tespit', 'SimulationTime')
    if p>295
        i=1;
        isrt1(i,:)=tmps1(baslangic:1:baslangic+p_genis);
        isrt2(i,:)=tmps2(baslangic:1:baslangic+p_genis);
        isrt3(i,:)=tmps3(baslangic:1:baslangic+p_genis);
        isrtin(i,:)=tmpin1(baslangic:1:baslangic+p_genis);

        [C01,L01] = wavedec(isrt1(i,:),seviye,dalgacik);
        detay1(i,:) = wrcoef('d',C01,L01,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasim1(i,:) = wrcoef('a',C01,L01,dalgacik,ryakseviye);
        [C02,L02] = wavedec(isrt2(i,:),seviye,dalgacik);
        detay2(i,:) = wrcoef('d',C02,L02,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasim2(i,:) = wrcoef('a',C02,L02,dalgacik,ryakseviye);
        [C03,L03] = wavedec(isrt3(i,:),seviye,dalgacik);
        detay3(i,:) = wrcoef('d',C03,L03,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasim3(i,:) = wrcoef('a',C03,L03,dalgacik,ryakseviye);
        [C04,L04] = wavedec(isrtin(i,:),seviye,dalgacik);
        detayin1(i,:) = wrcoef('d',C04,L04,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasimin1(i,:) = wrcoef('a',C04,L04,dalgacik,ryakseviye);
        oz_baslama=p_genis-oz_genis;
        % her durum icin bir penceredeki hesaplama
        ld(1,:)=detay1(i,:); ld(2,:)=detay2(i,:); ld(3,:)=detay3(i,:); ld(4,:)=detayin1(i,:);
        la(1,:)=yaklasim1(i,:);          la(2,:)=yaklasim2(i,:);          la(3,:)=yaklasim3(i,:);
        la(4,:)=yaklasimin1(i,:);
        for j=1:2:7
            jj=(j+1)/2;
            aa=cov(ld(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
            bb=cov(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
            ov(i,j)=aa-bb;
            ov(i,j)=ov(i,j)/(bb+eps);
        end
    end

```

```

aa=max(abs(ld(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
bb=max(abs(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
ov(i,j+1)=aa-bb;
ov(i,j+1)=ov(i,j+1)/(bb+eps);
end
for j=9:2:15
jj=(j-7)/2;
la(jj,:)=la(jj,:)-mean(la(jj,:));
aa=cov(la(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
bb=cov(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
ov(i,j)=aa-bb;
ov(i,j)=ov(i,j)/(bb+eps);
aa=max(abs(la(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
bb=max(abs(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
ov(i,j+1)=aa-bb;
ov(i,j+1)=ov(i,j+1)/(bb+eps);
end
fett=abs(ov);
for j=1:1
for i=1:length(fett)
bul(j,i)=(1-exp(-.5*fett(j,i)))/((1+exp(-.5*fett(j,i)))+eps);
end
end
end
load ysa NET
a = sim(NET,bul'); %tanılanması gereken özellik vektörü geliyor 16x1 lik matris
tani=vec2ind(a);
load tablo ysa_kume
ariza_tipi=ysa_kume(tani);
if ariza_tipi==1 %normal durumla kiyaslayip normal calisma durumuysa devam edecek
calismaya
baslangic=baslangic+adim
end
%Yönlendirmeli denetim bölümü
if ariza_tipi==4
p=0; baslangic=235
tmpls1=[]; tmpls2=[]; tmpls3=[]; tmpin1=[];
disp('ariza var')
ariza_tipi

```

```

set_param('tespit/denetleyici', 'value', '2')
end
if ariza_tipi==5
p=0; baslangic=235
tmpls1=[]; tmpls2=[]; tmpls3=[]; tmpin1=[];
disp('ariza var')
ariza_tipi
set_param('tespit/ref', 'value', '0.4')
end
if ariza_tipi==6
p=0; baslangic=235
tmpls1=[]; tmpls2=[]; tmpls3=[]; tmpin1=[];
disp('ariza var')
ariza_tipi
set_param('tespit/denetleyici', 'value', '3')
end
if zam>=60
set_param('tespit/denetleyici', 'value', '4')
p=0; baslangic=235
tmpls1=[]; tmpls2=[]; tmpls3=[]; tmpin1=[];
end
%sisitemde olusan arizaların tespit-tanılanma anları ve arıza tipleri
olc=[olc ariza_tipi];
if length(olc)>2
if olc(art)~=olc(art-1) & olc(art)~=1

arizalar=[arizalar olc(art)]
tmpls1=[]; tmpls2=[]; tmpls3=[]; tmpin1=[]; pp=pp+1
baslangic=235; acv=[]; ll=length(arizalar)
if ll==1
ariza_sonuc=[ariza_sonuc [arizalar(ll);zam]]
else if ll>1 & arizalar(ll)~=arizalar(ll-1)
ariza_sonuc=[ariza_sonuc [arizalar(ll);zam]]
end
end
end
art=art+1;
end

```

**%Çevrim içi çalışabilmesi için gerekli s-fonksiyon**

```
function [sys,x0,str,ts]=cevrimici(t,x,u,flag)
```

```
global pp;
```

```
switch flag,
```

```
case 0
```

```
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes;
```

```
case 3
```

```
    sys=mdlOutputs(t,x,u);
```

```
case { 1, 2, 4, 9 }
```

```
    sys=[];
```

```
otherwise
```

```
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
```

```
end
```

```
function [sys,x0,str,ts] = mdlInitializeSizes()
```

```
sizes = simsizes;
```

```
sizes.NumContStates = 0;
```

```
sizes.NumDiscStates = 0;
```

```
sizes.NumOutputs = -1;
```

```
sizes.NumInputs = -1;
```

```
sizes.DirFeedthrough = 1;
```

```
sizes.NumSampleTimes = 1;
```

```
sys = simsizes(sizes);
```

```
str = [];
```

```
x0 = [];
```

```
ts = [.1 0];
```

```
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
```

```
sys = [];
```

```
assignin('base','myvar1',u(1));
```

```
assignin('base','myvar2',u(2));
```

```
assignin('base','myvar3',u(3));
```

```
assignin('base','myvar4',u(4))
```

## **%Sıcaklık Sistemi**

### **Ana program**

```
global tmps1;global tmpin1;global ariza_tipi;global baslangic;global myvar1;global  
myvar2;global myvar3;global myvar4;global z;global ff;global adim;global sss;global  
ariza_tipi;global pp;global acv;global olc;global art;global arizalar;global ariza_sonuc;global  
p;global zam;  
p_genis=60;adim=1;baslangic=1400;oz_genis=20;art=2;olc=[];acv=[];
```

### **%Bilgi tabanı oluşturulması**

```
baslangic=24870;art=2;olc=[];acv=[];p_genis=60;adim=1;dalgacik='db6';  
oz_genis=20;s_genis=5;dwtmode('zpd');seviye=6;  
ryakseviye=2;rdetseviye=2;ozellik_no=6;
```

### **%normal durum**

```
load normal_tem;  
tem1=sensorcikis(:,2);
```

### **%Arıza 1**

```
load s1_a1_tem;  
s1a1=sensorcikis(:,2);
```

### **%Arıza 2**

```
load s1_a2_tem;  
s1a2=sensorcikis(:,2);
```

### **%Arıza 3**

```
load s1_a3_tem;  
s1a3=sensorcikis(:,2);
```

### **%Arıza 4**

```
load s1_a6_tem;  
s1a6=sensorcikis(:,2);
```

### **%Arıza 5**

```
load s1_a4n20_tem  
s1a4=sensorcikis(:,2);
```

```

len=length(s1a3);
len=len-(p_genis+baslangic);
while baslangic+p_genis <= 25200
    for i=1:ozellik_no

        if i == 1
            load normal_in;
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=tem1;
        end

        if i == 2
            load a1_in;
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=s1a1;
        end

        if i == 3
            load a2_in;
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=s1a2;
        end

        if i == 4
            load a3_in ;
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=s1a3;
        end

        if i == 5
            %load a410_in;
            load a4n20_in
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=s1a4;
        end

        if i == 6
            load a6_in;
            tmpin1=kcikis(:,2);
            tmps1=s1a6;
        end
    end
end

```

```

end

isrt1(i,:)=tmps1(baslangic:1:baslangic+p_genis)';
isrtin(i,:)=tmpin1(baslangic:1:baslangic+p_genis)';
[C01,L01] = wavedec(isrt1(i,:),seviye,dalgacik);
detay1(i,:) = wrcoef('d',C01,L01,dalgacik,rdetseviye);
yaklasim1(i,:) = wrcoef('a',C01,L01,dalgacik,ryakseviye);
[C04,L04] = wavedec(isrtin(i,:),seviye,dalgacik);
detayin1(i,:) = wrcoef('d',C04,L04,dalgacik,rdetseviye);
yaklasimin1(i,:) = wrcoef('a',C04,L04,dalgacik,ryakseviye);
end
oz_baslama=p_genis-oz_genis;
for i=1:1:ozellik_no % her durum icin bir penceredeki hesaplama
ld(1,:)=detay1(i,:);
ld(2,:)=detayin1(i,:);
la(1,:)=yaklasim1(i,:);
la(2,:)=yaklasimin1(i,:);
for j=1:2:3
jj=(j+1)/2;
aa=cov(ld(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
bb=cov(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
ozellik(i,j)=aa-bb;
ozellik(i,j)=ozellik(i,j)/(bb+eps);
aa=max(abs(ld(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
bb=max(abs(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
ozellik(i,j+1)=aa-bb;
ozellik(i,j+1)=ozellik(i,j+1)/(bb+eps);
end
for j=5:2:7
jj=(j-3)/2;
la(jj,:)=la(jj,:)-mean(la(jj,:));
aa=cov(la(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
bb=cov(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
ozellik(i,j)=aa-bb;
ozellik(i,j)=ozellik(i,j)/(bb+eps);
aa=max(abs(la(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
bb=max(abs(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
ozellik(i,j+1)=aa-bb;

```



```

        ozellik(i,j+1)=ozellik(i,j+1)/(bb+eps);
    end
end
if baslangic ==24941
    ozellik_data=ozellik;
    ozellik_vek=sigmoid(ozellik_data,ozellik_no,baslangic)
    save oz1
end

```

```

    baslangic=baslangic+adim;
end
save ov100906

```

### **% SOM YSA ile Sınıflandırma**

```

k=1;
%ozellik vektörü
%load oz1
oz_vek_ysa=[];oz_vek=ozellik_vek';ozellik_no=6;
for j=1:ozellik_no %feano
    oz_vek_ysa=[oz_vek_ysa oz_vek(:,j)];
end
net = newsom(minmax(oz_vek_ysa),[8 8]);
net.trainParam.goal = 0.0001
net.iw{1,1};
net.trainParam.epochs =8000;
[NET,tr,Y] = train(net,oz_vek_ysa);
s=1;
for i=1:ozellik_no
    a = sim(NET,oz_vek(:,i))
    ind(s,k)=vec2ind(a)
    s=s+1;
end
k=k+1
save ysa NET
save egt
%Sınıflandırma sonucu
load ysa NET
agirlik_vek=NET.iw{1,1}; %100*16

```

```

oz_vek_ysa;
m=[];mm=[];
ozellik_no=6;
ag=8;
ag_alan=ag^2;
for k=1:ozellik_no
    mm=[];
    for i=1:ag_alan
        h=(sse(oz_vek_ysa(:,k)-agirlik_vek(i,:)));
        mm=[mm;h];
    end
    m(:,k)=mm; %100*11
end

%simflandırma
ind=[];
for i=1:ag_alan
[a b]=min(m(i,:));
ind=[ind;b];
end

%10*10 luk matris yapıyor
ysa_kume=[];
a=1;
for d=1:ag
    s=1;
for i=1:ag
    ysa_kume(s,d)=ind(a);
    s=s+1;
    a=a+1;
end
end
ysa_kume_1=[];
ysa_kume_1=ysa_kume;
ysa_kume_1=[ysa_kume_1 zeros(ag,1)];
ysa_kume_1=[ysa_kume_1;zeros(1,(ag+1))]; %cizim icin
figure
pcolor(ysa_kume_1)

```

## %Arıza Dayanımlı Denetim

```
global tmps1;global tmpin1;global ariza_tipi;global baslangic;
global myvar1;global myvar2;global myvar3;global myvar4;global z;global ff;global
adim;global sss;global ariza_tipi;global pp;global acv;global olc;global art;global
arizalar;global ariza_sonuc;global p;global zam;
p_genis=60;adim=1;dalgacik='db6';oz_genis=20;s_genis=5;dwtmode('zpd');
seviye=6;ryakseviye=2; rdetseviye=2; sss=sss+1;
tmps1=[tmps1 myvar1];tmpin1=[tmpin1 myvar2];p=length(tmps1) ;
zam=get_param('uyg_icinsim', 'SimulationTime');
    if p>1460
        i=1;
        isrt1(i,:)=tmps1(baslangic:1:baslangic+p_genis)';
        isrtin(i,:)=tmpin1(baslangic:1:baslangic+p_genis)';
        [C01,L01] = wavedec(isrt1(i,:),seviye,dalgacik);
        detay1(i,:) = wrcoef('d',C01,L01,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasim1(i,:) = wrcoef('a',C01,L01,dalgacik,ryakseviye);
        [C04,L04] = wavedec(isrtin(i,:),seviye,dalgacik);
        detayin1(i,:) = wrcoef('d',C04,L04,dalgacik,rdetseviye);
        yaklasimin1(i,:) = wrcoef('a',C04,L04,dalgacik,ryakseviye);
        oz_baslama=p_genis-oz_genis;
        ld(1,:)=detay1(i,:);
        ld(2,:)=detayin1(i,:);
        la(1,:)=yaklasim1(i,:);
        la(2,:)=yaklasimin1(i,:);
        for j=1:2:3
            jj=(j+1)/2;
            aa=cov(ld(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
            bb=cov(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
            ov(i,j)=aa-bb;
            ov(i,j)=ov(i,j)/(bb+eps);
            aa=max(abs(ld(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
            bb=max(abs(ld(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
            ov(i,j+1)=aa-bb;
            ov(i,j+1)=ov(i,j+1)/(bb+eps);
        end
        for j=5:2:7
            jj=(j-3)/2;
```

```

    la(jj,:)=la(jj,:)-mean(la(jj,:));
    aa=cov(la(jj,oz_baslama:1:oz_baslama+oz_genis+1));
    bb=cov(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:oz_baslama+oz_genis+1-s_genis));
    ov(i,j)=aa-bb;
    ov(i,j)=ov(i,j)/(bb+eps);
    aa=max(abs(la(jj,p_genis-s_genis:1:p_genis)));
    bb=max(abs(la(jj,oz_baslama-s_genis:1:p_genis-s_genis-1)));
    ov(i,j+1)=aa-bb;
    ov(i,j+1)=ov(i,j+1)/(bb+eps);
end
fett=abs(ov);
for j=1:l
    for i=1:length(fett)
        bul(j,i)=(1-exp(-.5*fett(j,i)))/((1+exp(-.5*fett(j,i)))+eps);
    end
end
load ysa NET;
a = sim(NET,bul');
tani=vec2ind(a);
load tablo ysa_kume;
ariza_tipi=ysa_kume(tani);
if ariza_tipi==1
    baslangic=baslangic+adim;
end

```

### **%Yönlendirmeli denetim bölümü**

```

if ariza_tipi==2
    p=0; baslangic=1400;
    tmpls1=[]; tmpin1=[];
    set_param('uyg_icinsim/denetleyici', 'value', '2');
end

if ariza_tipi==3
    p=0; baslangic=1400;
    tmpls1=[]; tmpin1=[];
    set_param('uyg_icinsim/denetleyici', 'value', '3');
end

```

```
if ariza_tipi==6
    p=0; baslangic=1400;
    tmpls1=[]; tmpin1=[];
    set_param('uyg_icinsim/denetleyici', 'value', '5');
end
if ariza_tipi==4
    p=0; baslangic=1400;
    tmpls1=[]; tmpin1=[];
    set_param('uyg_icinsim/denetleyici', 'value', '4');
end
if ariza_tipi==5
    p=0; baslangic=1400;
    tmpls1=[]; tmpin1=[];
    set_param('uyg_icinsim/denetleyici', 'value', '1');
end
end
```

## KİŞİSEL YAYINLAR

1. Postalciöğlu, S., Erkan, K., Doğru Bolat E., “Application of Discrete Wavelet Transform to Fault Detection”, *Proceedings of the 10th WSEAS Int.Conf. on SYSTEMS*, pp: 149-153, Athens, Greece, July 10-12 2006
2. Postalciöğlu, S., Erkan, K., Doğru Bolat E., “Discrete Wavelet Analysis Based Fault Detection”, *WSEAS Transactions on Systems*, Issue 10, Volume 5,pp. 2391-2397,2006.
3. Postalciöğlu, S., Erkan, K., “Intelligent Online Sensor Fault Detection and Identification”. *Proceedings of the International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, pp.124-128, 2007, İstanbul, Türkiye.
4. Postalciöğlu, S., Erkan, K., Doğru Bolat E.,” Implementation of Intelligent Active Fault Tolerant Control System”, *KES 2007, Lecture notes in Artificial Intelligence*. (kabul edildi)
5. Postalciöğlu, S., Erkan, K., Doğru Bolat E, “Intelligent Sensor Fault Detection and Identification for Temperature Control”, *WSEAS Conference on COMPUTERS 07*, 2007. (kabul edildi)
6. Postalciöğlu, S., Erkan, K., “Arıza Tespit ve Tanılama Alanı Açısından Arıza Çeşitleri”, *Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu*, 2007. (kabul edildi)

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta öğrenimini İzmir’de tamamladı. Lise öğrenimini İzmir Mithatpaşa Anadolu Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nde yaptı. 1997 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü Elektronik Öğretmenliği Programı’ndan 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde başladığı yüksek lisans eğitimini 2004’de tamamladı. Aynı yıl yine Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde doktora öğrenimine başladı. Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.