

**PROFIBUS-DP AĞ TABANLI BİNA OTOMASYONU**

**Cemal YILMAZ**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007  
ANKARA**

Cemal YILMAZ tarafından hazırlanan PROFIBUS-DP AĞ TABANLI BİNA OTOMASYONU adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Osman GÜRDAL

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İsmail COŞKUN.....

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY.....

Üye : Doç. Dr. Osman GÜRDAL.....

Üye : Doç. Dr. M. Ali AKÇAYOL.....


Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇALIŞ.....

Tarih : .26../.01../.2007....

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Cemal YILMAZ

**PROFIBUS-DP AĞ TABANLI BİNA OTOMASYONU**  
(Doktora Tezi)

**Cemal YILMAZ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**Ocak 2007**

**ÖZET**

Bu çalışmada, Profibus-DP ağ tabanlı özgün bir bina otomasyonu tasarımı sunulmuştur. Bina otomasyonu altında güvenlik sistemleri tasarımı, güç ve dinamik aydınlatma denetimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, denetim, kurulum, maliyet, güvenilirlik, tasarım esnekliği avantajlarının yanı sıra geleneksel ve zeki sistemlerin birleştirildiği yeni bir yaklaşım getirmektedir. Profibus-DP ağ tabanlı olarak tasarlanan sistemde hem geleneksel denetim hem de bulanık denetim algoritmalarının uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bina ve endüstriyel otomasyon uygulamaları üzerinde ağ gecikmesi incelenerek sistem üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Tasarlanan gerçek zamanlı sistemler, geleneksel sistemlere göre yüksek kontrol edilebilirlik avantajı sağlamıştır. Profibus-DP tabanlı tasarım ile ağ yapısı ve donanımlardan kaynaklanan olumsuz etkiler, özellikle ağ gecikmesi azaltılmıştır. Yapılan deneysel analizler sonucunda ağ gecikmesinin sabit kalmadığı ve sistemin çalışma performansını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

**Bilim Kodu** : 703.3.012  
**Anahtar Kelimeler** : Profibus-DP, Bina otomasyonu, Ağ kontrol sistemleri, Ağ gecikmesi, Bulanık mantık denetimi  
**Sayfa Adedi** : 139  
**Tez Yöneticisi** : Doç. Dr. Osman GÜRDAL

**PROFIBUS-DP NETWORK BASED BUILDING AUTOMATION  
(Ph.D. Thesis)**

**Cemal YILMAZ**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**January 2007**

**ABSTRACT**

In this study, Profibus-DP network based a novel building automation design is presented. In building automation, security systems design, power and dynamic lighting control were implemented. The designed system brings out a new approach embedding both traditional and intelligent systems in addition to its control, mounting, cost, reliability and design flexibility. Traditional and fuzzy control algorithms were implemented in designed system. In the study, network-induced delay is examined for the building and industrial automation applications and its effects on system were looked over. The designed real time systems provided high controllability advantages compared to traditional systems. With Profibus-DP based design, problems due to network structure and hardware, especially network-induced delay was decreased. It is observed with experimental analysis that network-induced delay is not constant and has inferior effects on system's operating performance.

**Science Code : 703.3.012**  
**Key Words : Profibus-DP, Building automation, Networked control systems, Network-induced delay, Fuzzy logic control**  
**Page Number : 139**  
**Adviser : Assoc. Prof. Dr. Osman GÜRDAL**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Osman GÜRDAL'a, tez izleme süresince gösterdikleri anlayış ve katkılarından dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. İsmail COŞKUN ve Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇALIŞ'a, çalışmanın şekillenmesinde kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. Çetin ELMAS'a, ayrıca değerli fikir ve çalışmalarını ile destek veren Aslan KAHRAMAN ve Aşkın BEKTAŞ'a, tüm çalışma arkadaşlarıma, özellikle Dr. Ramazan BAYINDIR ve Dr. Nihat ÖZTÜRK'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmamı yoğun iş temposu nedeni ile çok fazla birlikte olamadığım, gülücükleri ile bana güç veren oğullarım Yavuz Selim ve Ahmet Çağrı'ya ithaf ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. AĞ KONTROL SİSTEMİ .....	7
2.1. Ağ Kontrol Sistemi Genel Yapısı .....	7
2.2. AKS Veri İletimi Analizi.....	10
2.3. Ağ Gecikmesi (Networked Induced Delay).....	14
2.3.1. Ağ gecikmesinin telafi edilmesi .....	17
2.4. Sinyal Zayıflaması .....	20
2.5. AKS Matematiksel Modeli .....	21
3. PROFIBUS.....	25
3.1. Profibus Protokol Mimarisi .....	26
3.2. Profibus Ortam Erişim Protokolü .....	27
3.2.1. Master-master haberleşmesi.....	28
3.2.2. Master-slave haberleşmesi .....	29
3.3. Profibus Veri İletimi .....	32

	<b>Sayfa</b>
3.4. Profibus-DP Haberleşmesi ve Ağ Topolojileri .....	35
3.4.1 Ağ topolojileri.....	36
3.4.2. Profibus-DP ağlarının birbirleri ile haberleşmeleri .....	38
3.4.3. Profibus-DP ve klasik ağ yapılarının karşılaştırılması .....	39
4. BULANIK MANTIK .....	44
4.1. Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonu .....	45
4.2. Bulanık Kümeler Üzerindeki İşlemler .....	46
4.2.1. Birleşim özelliği .....	46
4.2.2. Kesişim (Intersection) özelliği.....	47
4.2.3. Tümleyen (Complement).....	48
4.3. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler .....	49
4.3.1. Bulanıklaştırma .....	49
4.3.2. Bilgi tabanı .....	50
4.3.3. Karar verme birimi.....	51
4.4. Durulaştırma .....	56
4.4.1. En büyük üyelik yöntemi.....	57
4.4.2. Ağırlık merkezi yöntemi.....	58
4.4.3. Ağırlık ortalaması yöntemi.....	59
4.4.4. En büyüklerin ortalaması (Mean-Max) üyelik yöntemi.....	60
4.4. Bulanık Mantık Denetimi Tasarımı .....	61
5. UYGULAMA.....	67
5.1. Sistemin Genel Özellikleri .....	68
5.2. Profibus-DP Ağ Yapısının Kurulması .....	70

	<b>Sayfa</b>
5.2.1. Donanımları adreslendirme .....	71
5.2.2. Programlama.....	72
5.3. Profibus-DP Tabanlı Bina Otomasyonu Tasarımı .....	75
5.4. Profibus-DP Tabanlı Bina Aydınlatma Denetimi.....	78
5.5. Profibus-DP Tabanlı Güvenlik Sistemi Tasarımı .....	86
5.5.1. Yangın algılama sistemi .....	87
5.5.2. Hırsız Algılama Sistemi .....	88
5.6. Profibus-DP Tabanlı Endüstriyel Otomasyon Tasarımı.....	90
5.6.1. DC motor denetimi .....	90
5.6.2. AA motor denetimi.....	92
5.7. Bulanık Mantık Denetimi Yazılımı .....	94
5.7.1. Giriş üyelik fonksiyonlarının oluşturulması .....	95
5.7.2. Çıkış üyelik fonksiyonlarının oluşturulması.....	97
5.7.3. Kural tablosunun oluşturulması .....	98
5.7.4. Bulanık mantık denetimi uygulaması.....	99
6. UYGULAMA SONUÇLARI .....	101
6.1. Donanıma Bağlı Çevrim Süresi Karşılaştırmaları .....	101
6.2. Kullanılan Donanımların Ağ Performansına Etkileri .....	102
6.3. AA Motorun Denetim Analizi .....	103
6.4. Ağ Gecikmesi Analizi .....	108
7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	121
KAYNAKLAR .....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	135

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Bazı otomasyon ağ protokollerinin teknik özellikleri .....	42
Çizelge 4.1. Bulanık mantık kural tablosu .....	64
Çizelge 6.1. Farklı BMD uygulamaların karşılaştırılması.....	101
Çizelge 6.2. Ağ Kablosunda veri zayıflaması .....	103

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ağ kontrol sistemi yapısı ve veri iletimi.....	8
Şekil 2.2. Ağ gecikmesi blok şeması.....	9
Şekil 2.3. İki nokta arasında veri iletimi zaman analizi .....	10
Şekil 2.4. Kaynak noktası zaman analizi.....	11
Şekil 2.5. Ağ ortamı zaman analizi.....	12
Şekil 2.6. Hedef noktası zaman analizi .....	13
Şekil 2.7. Ağ gecikmeli AKS blok şeması.....	14
Şekil 2.8. Ağ kaynaklı gecikme .....	16
Şekil 2.9. Tam-durum geri besleme .....	19
Şekil 2.10. Çıkış geri beslemesi.....	19
Şekil 2.11. Sinyal zayıflamasının modeli.....	21
Şekil 3.1. Profibus protokol mimarisi .....	27
Şekil 3.2. Master-master haberleşmesi.....	29
Şekil 3.3. Master-slave haberleşmesi .....	30
Şekil 3.4. Profibus erişim prosedürü .....	31
Şekil 3.5. Slave-slave veri iletimi.....	32
Şekil 3.6. Segment uzunluğuna bağlı olarak veri iletim hızı değişimi .....	33
Şekil 3.7. Profibus-DP tabanlı sistemin veri iletim prensibi .....	34
Şekil 3.8. Veri yolu çevrim süresi .....	35
Şekil 3.9. Profibus ağ yapıları .....	36
Şekil 3.10. Profibus-DP ağ yapısı .....	37
Şekil 3.11. MPI haberleşme ağı .....	38

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.12. FDL ve Profibus haberleşme ağı .....	39
Şekil 3.13. Profibus ve klasik sistem ağı yapılarının karşılaştırılması .....	40
Şekil 3.14. Ağı uzunluğuna bağlı olarak veri iletim hızı karşılaştırması .....	41
Şekil 4.1. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	46
Şekil 4.2. Bulanık kümelerde birleşme işlemi .....	47
Şekil 4.3. Bulanık kümelerde kesişme işlemi .....	48
Şekil 4.4. Bulanık kümelerde tümlenme işlemi.....	48
Şekil 4.5. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı.....	49
Şekil 4.6. Max- Min çıkarım metodu .....	53
Şekil 4.7. Max-Dot çıkarım metodu .....	54
Şekil 4.8. Tsukamoto çıkarım metodu .....	55
Şekil 4.9. Sugeno çıkarım metodu .....	56
Şekil 4.10. Maksimum üyelik yöntemi .....	58
Şekil 4.11. Ağırlık merkezi yöntemi .....	58
Şekil 4.12 Ağırlık ortalaması yöntemi.....	60
Şekil 4.13. En büyüklerin ortalaması (Mean-Max) üyelik yöntemi.....	61
Şekil 4.14. BMD blok şeması .....	61
Şekil 4.15. Girişlerin ve çıkışın üyelik fonksiyonları .....	63
Şekil 5.1. Profibus-DP ağı yapısı .....	70
Şekil 5.2. Modüllerin adreslendirilmesi.....	71
Şekil 5.3. Slave ünitelerin ağı üzerindeki bilgileri .....	72
Şekil 5.4. CPU 314C-2 DP özellikleri .....	73
Şekil 5.5. Örnek program LAD görüntüsü .....	74

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.6. Örnek program STL görüntüsü.....	74
Şekil 5.7. Profibus-DP tabanlı bina otomasyonu tasarımı .....	77
Şekil 5.8. Floresant lambaların Profibus-DP bağlantısı.....	80
Şekil 5.9. 5 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi .....	82
Şekil 5.10. Aydınlatma denetimi için örnek bir bina tasarımı .....	84
Şekil 5.11. 1.5 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi .....	85
Şekil 5.12. 3 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi .....	85
Şekil 5.13. 7 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi .....	86
Şekil 5.14. 10 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi .....	86
Şekil 5.15. Profibus-DP tabanlı BGS projesi .....	89
Şekil 5.16. Servo motor blok şeması.....	91
Şekil 5.17. Profibus-DP temelli denetim şeması .....	92
Şekil 5.18. Profibus-DP temelli asenkron motor denetim şeması.....	94
Şekil 5.19. FuzzyControl++ V5.0 ekran görüntüsü .....	95
Şekil 5.20. Giriş 1 üyelik fonksiyonu oluşturma .....	96
Şekil 5.21. Giriş 2 üyelik fonksiyonu oluşturma .....	96
Şekil 5.22. Çıkış üyelik fonksiyonu.....	97
Şekil 5.23. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonu grafiği.....	98
Şekil 5.24. Kural tablosunun elde edilmesi .....	99
Şekil 5.25. Bulanık mantık denetiminin uygulanması .....	100
Şekil 6.1. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 500 ms).....	104
Şekil 6.2. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 300 ms).....	105
Şekil 6.3. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 296 ms).....	105

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.4. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 294 ms).....	106
Şekil 6.5. AA motorun hız ve akım eğrisi (1500 d/d).....	107
Şekil 6.6. AA motorun hız ve akım eğrisi (1500 d/d, 202 ms).....	107
Şekil 6.7. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 136 ms).....	108
Şekil 6.8. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 7.724$ ms).....	109
Şekil 6.9. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 5.919$ ms).....	110
Şekil 6.10. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 7.109$ ms).....	110
Şekil 6.11. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 6.669$ ms).....	111
Şekil 6.12. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (34.13 $\mu$ s).....	112
Şekil 6.13. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (707.5 ns).....	112
Şekil 6.14. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (450.0 ns).....	113
Şekil 6.15. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (900.0 ns).....	115
Şekil 6.16. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (1.103 $\mu$ s).....	114
Şekil 6.17. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (1.909 $\mu$ s).....	114
Şekil 6.18. Aynı modülde iki çıkış arasındaki gecikme (23.33 $\mu$ s).....	115
Şekil 6.19. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (6.565 ms).....	116
Şekil 6.20. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.635 ms).....	116
Şekil 6.21. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.029 ms).....	117
Şekil 6.22. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (8.422 ms).....	118
Şekil 6.23. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (9.578 ms).....	118
Şekil 6.24. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (8.249 ms).....	119

**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.1. Tasarlanan sistemin genel görünüşü .....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\tau_{ad}$	Algılayıcı-denetleyici arasındaki gecikme
$\tau_{di}$	Denetleyici- işletici arasındaki gecikme
$L_c$	Anlık durum tahminci kazancı
$A_s, B_s$ ve $C_s$	Ağ kontrol sistemi saha kısmına etkiyen parametrelerin oluşturduğu uygun matrisler
$A_d, B_d, C_d$ ve $D_d$	Ağ kontrol sistemi denetleyici kısmına etkiyen parametrelerin oluşturduğu uygun matrisler
$\cup$	Birleşim
$\cap$	Kesişim
$\mu$	Üyelik değeri
$\in$	Eleman
<b>E</b>	Giriş değişkeni
<b>U</b>	Çıkış değişkeni
$w_j$	Üyelik fonksiyonu
$\mu_z(w_j)$	Üyelik fonksiyonunun değeri
$z_0$	Çıkış değeri
$\Sigma$	Cebirsel toplam
<b>I</b>	Maksimuma ulaşan değer sayısı
<b>e</b>	Giriş değişkenleri durum hatası
$\Delta e$	Hatadaki değişim
$\Delta u$	Bulanık mantık denetimi çıkış değişkeni
$K_e, K_{\Delta e}$ ve $K_{\Delta u}$	Denetleyicinin kazanç katsayıları
<b>u(t)</b>	Kontrol sinyali

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AKS</b>	Ağ Kontrol Sistemleri
<b>ISO</b>	International Standarts Organization, Uluslararası Standartlar Organizasyonu
<b>OSI</b>	Open System Interconnection, Açık Sistem Bağlantıları
<b>Profibus</b>	Saha Veriyolu İşlemcisi (Process Field Bus)
<b>PA</b>	Otomasyon İşlemcisi (Process Automation)
<b>FMS</b>	Fieldbus Message Specification
<b>DP</b>	Decentral Periphery
<b>IEC</b>	Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu International Electrotechnical Commission
<b>FDL</b>	Saha yolu veri bağı (Fieldbus Data Link)
<b>MAC</b>	Ortam Erişim Denetimi (Medium Access Control)
<b>GA</b>	Gönderici İstasyonun Adresi
<b>HA</b>	Hedef İstasyon Adresi
<b>ÖA</b>	Önceki İstasyon Adresi
<b>SA</b>	Sonraki İstasyon Adresi
<b>BA</b>	Bu İstasyon Adresi
<b>M</b>	Master istasyon
<b>S</b>	Slave istasyon
<b>CPU</b>	Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)
<b>DDLML</b>	Doğrudan Veri Bağlantı Haritası (Direct Data Link Mapper)
<b>ET</b>	Elektronik (Electronic Terminator)
<b>OLM</b>	Optik Bağlantı Modülü (Optic Link Module)
<b>MPI</b>	Çok Bağlantılı Arayüz ((Multipoint Interface)
<b>CAN</b>	Alan Ağı Denetleyicisi (Cotroller Area Network)
<b>BMD</b>	Bulanık Mantık Denetimi
<b>PU</b>	Birim Değer (Per Unit)
<b>NB</b>	Negatif Büyük
<b>PB</b>	Pozitif Büyük

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>NO</b>	Negatif Orta
<b>PO</b>	Pozitif Orta
<b>NK</b>	Negatif Küçük
<b>PK</b>	Pozitif Küçük
<b>S</b>	Sıfır
<b>PLC</b>	Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Controller)
<b>DA</b>	Doğru Akım
<b>AA</b>	Alternatif Akım

## 1. GİRİŞ

Günümüzde sanayideki üretimden bina işletim sistemlerine kadar her alanda otomasyona geçilmektedir. Otomasyon; fiziksel yapıyı oluşturan konstrüksiyon içinde çeşitli enstrümanların merkezi bir birim tarafından denetlenmesidir. Otomasyon kurgusu içerisindeki sistemler kendi görevlerini bağımsız (otomatik) olarak yapmakla birlikte merkezi sisteme ağ yolu ile bağlanmaktadır. Bina otomasyonu; güvenlik sistemleri, güç, donanım ve diğer özel amaçlı sistemlerin tamamının merkezi denetimini ifade etmektedir. Bu amaca yönelik çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Klasik ağ yapıları ve denetleyiciler ile bina otomasyonunu gerçekleştirmek mümkün olabildiği gibi, CAN (Controller Area Network, Kontrol Alan Ağı), Modbus, Bluetooth teknolojisi gibi ağ yapıları ve protokolleri de kullanılmaktadır [1,2]. Bu çalışmada ise güvenilirlik, uzaktan kontrol, veri iletimi hızı, gerçek zamanlı iletim, sistem kararlılığı gibi konularda yüksek bir performansa sahip olan Profibus (Process Field Bus)'ın DP (Decentral periphery) mimarisi kullanılmıştır [1].

Binalarda mikroişlemcili donanımların kullanılmasıyla akıllı binalar geliştirilmiştir. Akıllı binaların oluşturulmasında kullanılan önemli bir gelişme de ağ protokollerinin bina içi donanımlar arasındaki haberleşmede kullanılması olmuştur [3-12]. Ancak bu tasarımlarda kullanılan yazılım ve donanıma bağlı olarak özel modüllerin kullanılması zorunludur [11,13]. Bunun yanı sıra algılayıcı teknolojisinin geliştirilmesi, bina otomasyonu kontrol yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar, kullanıcı profiline yönelik kolaylıklar sunan dijital kontrol sistemlerinin kullanıldığı tasarımlar, akıllı bina modellerinde enerji yönetimi ve güvenlik sistemlerinin geliştirilmesi, birbirinden farklı teknolojiye sahip donanımların kullanılması bina otomasyonundaki gelişmeler olarak özetlenebilir [14,18]. Bütün bu gelişmelere karşın, binalarda birbirinden çok farklı yapı ve prensiplere sahip sistemlerin bulunuyor olması (aydınlatma, güç, güvenlik ve diğer donanımlar) karmaşık, güvenilirliği tartışılan,

performansı düşük, kullanılabilirliği zayıf, maliyeti yüksek tasarımları ortaya çıkartmıştır. Bu sorunların dışında bina otomasyonunda ağ tabanlı sistemlerin kullanılması birçok kolaylığı beraberinde getirmesine karşın, ağ kontrol sistemlerinin yapısı gereği ortaya çıkan bir takım problemlere de çözüm bulunmasını gerektirmektedir. Bu problemlerden en önemlisi ağ gecikmesi ve ağ gecikmesi, ağ gecikmesinin neden olduğu veri zayıflaması veya veri kaybıdır.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen problemlere çözüm getirmek amacı ile Profibus-DP ağ tabanlı bina otomasyonu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bina otomasyonu altında güvenlik sistemleri, güç ve dinamik aydınlatma denetimi tasarlanmıştır. Ayrıca Profibus-DP ağ yapısının sahip olduğu yüksek hızlı veri iletimi özelliği ile ağ gecikmesi ve olumsuz etkileri azaltılmaya çalışılmıştır.

Tasarım “Ağ Kontrol Sistemi (AKS)” kurgusu temelinde gerçekleştirilmiştir. AKS ile kompleks sistemlerin denetimi klasik kontrol yöntemlerine göre daha avantajlı olmakla birlikte bu tip sistemler oldukça fazla algılayıcı ve sürücülere (işleticilere) ihtiyaç duymaktadır. AKS’nde algılayıcı, hareketlendirici ve işlemciler ağ boyunca bağlanmaktadır, klasik sistemlerde ise sistemin kurulması ve bakımı noktadan noktaya bağlantı stratejisi nedeni ile oldukça zordur. AKS geri beslemeli kontrol yapısına sahiptir ve geri besleme ağ üzerinden sağlanmaktadır [19].

AKS’ne ait bilgiler (referans girişı, sistem çıkışı, kontrol girişı vb.) tanımlanır ve ağa bağlı kontrol sistemi bileşenlerinin (algılayıcılar, denetleyiciler, hareketlendiriciler vb.) bu bilgileri yine ağ kullanılarak değiştirilir veya değerlendirilir. Aynı ortamı paylaşan ağa bağlı devreler arasındaki veri iletimi sırasında bir gecikme meydana gelir ve bu gecikme ağ kaynaklı gecikme (Network-induced delay) olarak adlandırılır. Ağ kaynaklı gecikme algılayıcı-denetleyici ve denetleyici-hareketlendirici olmak üzere iki ana bölümde ortaya çıkar. Bu gecikme sabit veya değişken değerler alabilir. Ağ kaynaklı gecikme

göz önünde bulundurulmadan tasarlanan kontrol sisteminin performansı ve güvenilirliği düşük olacaktır.

Ağ gecikmesi üzerine yapılan çalışmalarda, 1957'de O. J. M. Smith tek girişli ve tek çıkışlı bir sistem için kontrol programı sunmuştur [20, 21]. Bu program Smith Predictor (Smith Tahmincisi) olarak bilinmektedir. Ancak bu tahmincinin ana problemi sistem içi değişkenler dolayısıyla kararsız bir sistemi kararlı duruma getirmekteki başarısızlığıdır. AKS'nde geri besleme tahminci ile birlikte kullanılmalıdır. Tahminci ile geri besleme verilerinin birbirlerine karşı tutarlılığı tasarımın performansı ve güvenilirliği ile doğrudan ilgilidir. Bu tutarlılığın bire bir olması tam performans ve güvenilirlik demektir. Ancak gerçek uygulamalarda bu durum AKS'nin sipesifik özellikleri ve tahminci tasarımının hatasız olma ihtimalinin düşük olması nedeniyle oldukça zordur.

2000 yılında Lin Xiao, Arash Hassibi ve Jonathan How, rasgele gecikmeli sistem için denetleyici tasarlamışlardır [22]. Bu denetleyici tasarımı kullanışlı olmasına karşın sabit gecikmeli sistemler için uygun değildir.

AKS'nde güvenilirlik hatanın tespiti ve düzeltilmesiyle ilgilidir. Yani güvenilirlik sistemin sağladığı servis kalitesiyle alakalıdır. Ağ kaynaklı gecikme de aslında güvenilirlikle iç içedir ve ağ bileşenleri arasındaki veri iletişiminde ortaya çıkar. Bu durumda sistem bileşenleri ve veri iletim yöntemi birlikte ele alınmalıdır. Bu çalışmada ağ gecikmesinin doğal sonucu olan sinyal zayıflaması basit bir model ile incelenerek AKS üzerindeki etkisi, nedenleri ve telafi önerileri, telafisi mümkün değilse olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik öneriler ortaya konmuştur.

AKS'nin önemli bileşenlerinden birisi de ağ ortamındaki veri iletimini ve denetimini düzenleyen ağ protokolüdür. Bu amaca uygun birçok protokol geliştirilmiştir ve Profibus (Process Field Bus) bu protokollerden biridir.

Profibus, 1987'de Almanya Teknoloji ve Araştırma Bakanlığı'nın isteği üzerine onüç şirket ve altı enstitü ortak bir çalışma grubu oluşturarak ISO (International Standards Organization, Uluslararası Standartlar Organizasyonu)/OSI (Open System Interconnection, Açık Sistem Bağlantıları) referans model tabanlı olarak geliştirilmiştir [23-25].

Profibus haberleşmesi master istasyonlar andaç-geçiş (token-passing) prosedürü kullanırken slave istasyonlarla haberleşmede master-slave prosedürü kullanan hibrid metot temelli bus geçişine sahiptir. Profibus; Profibus-PA (Process Automation), Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification) ve Profibus-DP (Decentral Periphery) gibi endüstriyel bus protokol tiplerini içine almaktadır [23-25].

Profibus-DP bus seviyesinde sistem denetiminde kullanılmaktadır, analog ve sayısal sinyal iletimini desteklemektedir. Profibus-DP uzaktan sistem denetimi için tasarlanmış olup, her biri 244 byte veri giriş-çıkışlı 124 istasyon Profibus'a bağlanabilmekte, haberleşme hızı 100 m'den 1200 m'ye kadar olan mesafeler için 12 Mbit/s'den 9.6 Kbit/s'ye kadar değişmektedir. Profibus modelinde her iletim katmanının görevi kesin olarak tanımlanmıştır ve OSI referans modelinde tanımlanan 7 katmandan 1. 2. ve 7. katmanlar kullanılmaktadır. Profibus-DP'de ise sadece 1. ve 2. katmanlar kullanılmıştır [26]. Profibus haberleşme teknolojisinde RS-485, IEC 1158 iletim teknolojisi ve Fiber Optik iletimi kullanılmaktadır. Ağ bağlantılarında kullanılan donanımlar ağın hızından tipine kadar birçok özelliğini belirleyen faktörler arasında yer alırlar.

Matematiksel modelinin çıkartılması sorun olan sistemlerde klasik denetim metotları yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda uzman bilgisine ve tecrübesine dayalı olan sözel kontrol stratejisini otomatik kontrol stratejisine çevirme işlemini yapan ve sistem modeline ihtiyaç duymayan bulanık mantık denetleyiciler kullanılmaktadır [27]. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok, biraz

az, biraz çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bulanık mantık sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur [28]. Bulanık Mantık ilk defa 1956 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta duyurulmuştur. Lotfi A. Zadeh 1965 yılında yayınlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ilk ciddi çalışmayı ortaya koymuştur [29]. Zadeh insanların kontrol alanında kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı olarak etkili kararlar alabildiklerini ifade etmiştir [30]. Klasik kontrol alanındaki problemler alternatif yöntem olarak bulanık mantık denetiminin hızla tercih edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada tasarlanan çeşitli sistemlerin profibus-DP yoluyla uzaktan bulanık mantık ile denetimi gerçekleştirilmiştir. Bu denetim yönteminin Profibus-DP ağ tabanlı sistemlerde uygulanabilirliği ve klasik denetim yöntemleri ile karşılaştırılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel otomasyon ve bina otomasyonunda güvenilirlik, veri iletim hızı ve senkronizasyon otomasyon performansını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu çalışmada Profibus-DP tabanlı bir ağ yapısı oluşturularak hızlı ve güvenilir olmasının yanı sıra performansı yüksek bir ağ tasarlanmıştır. Profibus-DP hem Profibus yapısının hem de otomasyonda kullanılan veri iletim hızı en yüksek olan protokollerden biridir [31]. Profibus-DP'nin bu özelliği AKS'nin en önemli problemi olan ağ gecikmesini elimine edilebilecek düzeye düşürmemizi sağlayacaktır. Ayrıca haberleşme hızının sistem güvenilirliği ile doğrudan ilgili olduğu da dikkate alınmalıdır. Profibus ağ yapısı tasarıma esneklik kazandırmakla birlikte aynı zamanda kablolama maliyetini de klasik sistemlere göre düşürmektedir.

İkinci bölümde otomasyon sistemlerinin altyapısını oluşturan ağ kontrol sistemleri incelenmiş ve matematiksel modeli oluşturulmaya çalışılarak sistem değişkenleri ve davranışları incelenmiştir. Bu aşamada AKS'nde

önemli bir konu olan ağ gecikmesi de ele alınarak azaltılması ya da elimine edilmesi için tasarımın sahip olması gereken özellikleri irdelenmiştir.

Üçüncü bölümde Profibus protokolü ve mimari yapısı incelenmiştir. Bu bölümde Profibus'ın DP modeli ayrıntılı olarak ele alınarak tasarımda tercih edilmesinin nedenleri ortaya konmuştur.

Dördüncü bölümde bulanık mantık denetimi incelenmiştir. Özellikle uzman tecrübesine dayalı kuralların oluşturulması, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları elde edilmesine yönelik yöntemler üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde, Profibus-DP tabanlı ağ yapısının kurulması ve bu ağ yapısı temelinde bina otomasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı sistemler üzerinde ağ gecikmesi incelenerek, uzaktan bulanık mantık denetimi uygulanmıştır.

Altıncı bölümde, gerçekleştirilen uygulamaların deneysel analizleri verilmiştir. Profibus-DP ağ tabanlı sistemlerde ağ gecikmesi AA motor denetimi üzerinde analiz edilmiştir.

Yedinci bölümde, çalışma ile ilgili olarak sonuç değerlendirmesi yapılarak tespitlerde bulunulmuş, uygulamada karşılaşılan durumlarla ilgili olarak çözüm önerileri ve yöntemler sunulmuştur.

## 2. AĞ KONTROL SİSTEMİ

Ağ tabanlı kontrol sistemleri otomasyon sistemlerinin vazgeçilmez unsurlarından biri olmuştur. Bu aşamada öncelikle Ağ Kontrol Sistemleri'nin (AKS) genel özellikleri irdelenmiş ve matematiksel modeli üzerine çalışma yapılmıştır. AKS'nin geliştirilmiş matematiksel modelinin yanı sıra bu sistemlerin problemleri ve çözümleri incelenmiştir.

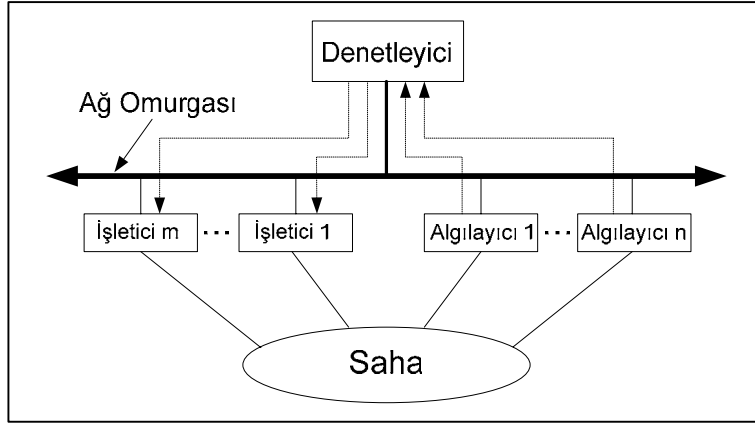
AKS'nin kaçınılmaz problemlerinden biri olan "Ağ Gecikmesi" kısa ve uzun süreli yada sabit ve değişken gecikme olarak incelenerek sistem modellenmelidir. Ağ gecikmesinin doğal sonucu olan sinyal zayıflaması basit bir model ile incelenerek AKS üzerindeki etkisi, nedenleri ve telafi önerileri, telafisi mümkün değilse olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik öneriler ortaya konmuştur.

Ağ kontrol sistemlerinde bulunması gereken önemli bir özellikte geri besleme tasarımı olup sistem sorunlarının tespiti ve giderilmesinde geri beslemenin önemli bir rolü vardır. Geri besleme tasarımı tam durum ve çıkış geri beslemesi olarak ayrı ayrı incelenmiştir. AKS'nde geri besleme tahminci ile birlikte kullanılmalıdır. Bu durum AKS'nde tahminci tasarımının bulunması gerektiğini ortaya koyar. Tahminci ile geri besleme verilerinin birbirlerine karşı tutarlılığı tasarımın performansı ve güvenilirliği ile doğrudan ilgilidir. Bu tutarlılığın bire bir olması tam performans ve güvenilirlik demektir. Ancak gerçek uygulamalarda bu durum AKS'nin karakteristik özellikleri ve tahminci tasarımının hatasız olma ihtimalinin düşük olması nedeniyle oldukça zordur.

### 2.1. Ağ Kontrol Sistemi Genel Yapısı

Bir AKS'nin tanımlayıcı özelliği haberleşmedir. Bu haberleşme; referans girişi, çıkış bilgisi ve kontrol girişi gibi bilgilerin kontrol sistemi bileşenleri

(algılayıcılar, işletim elemanları, denetleyici) arasında iletimi ile gerçekleşir. Şekil 2.1'de bir AKS'nin genel yapısı ve veri akışı görülmektedir [32].



Şekil 2.1. Ağ kontrol sistemi yapısı ve veri iletimi [32]

Bu tip sistemler öncelikli olarak, kablolama ihtiyacının az olması, arıza teşhisinin ve onarımının kolay olması ve sistem tepki hızının yüksek olması gibi avantajlara sahiptir. Bir AKS, haberleşme ağına ilave olarak geri beslemeli kontrol döngüsüyle beraber tasarlanmalıdır [19].

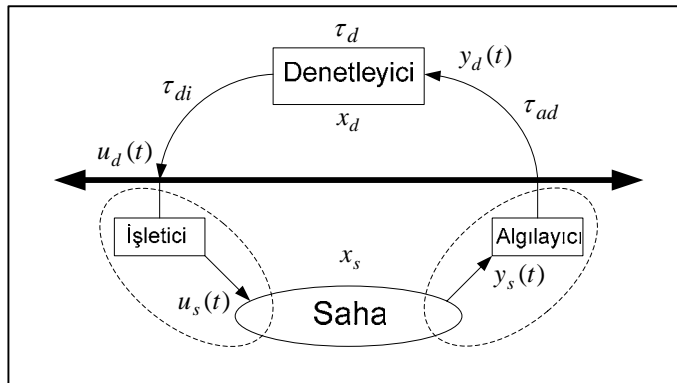
AKS'nde önemli sorunlardan biri ağ omurgasına bağlı birimler arasındaki veri alış verişinde (algılayıcı-denetleyici, denetleyici-işletici) meydana gelen gecikmedir. Bu gecikme sürekli veya değişik zamanlarda meydana gelebilir. Bu gecikmeyi dikkate almadan tasarlanan kontrol sisteminin performansı düşük olacağı gibi sistem güvenilir olma özelliğini de kaybeder. Bazı veri paketleri gecikmeden dolayı zarar görmeye kalmaz veri tamamen de kaybolabilir. Bu durum sinyal zayıflamasının sonucu olup AKS için önemli konulardan biri de sinyal zayıflamasıdır [33-36].

Şekil 2.2'de genel olarak bir AKS'nin ağ gecikmeli modeli görülmektedir. Bu tasarımı dikkate alarak Ağ Kontrol Sistemlerinin geliştirilmiş matematiksel modeli oluşturulabilir. Bu denklemlerin çıkartılmasında AKS'ni; denetlenen

sistem (saha), denetleyici sistem (kontrol) ve bu ikisi arasındaki bağlantıyı gerçekleştiren ağ sistemi olarak ayrı ayrı ele almak sistem analizini kolaylaştıracaktır [37-43].

AKS'de algılayıcı, işletici ve denetleyici arasındaki gecikme, kontrol sistemi tasarımında dikkate alınmadığı takdirde sistemde kararsızlık ve performans düşüşü meydana gelir [44-49]. Sistemde meydana gelen ağ gecikmesi iki gruba ayrılabilir [50-53].

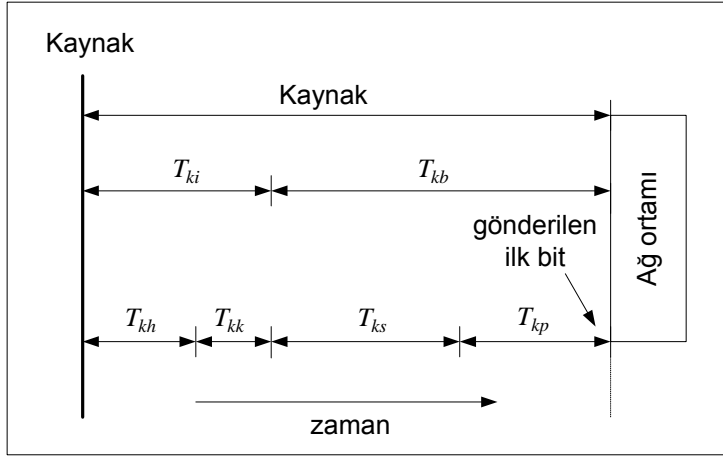
- $\tau_{ad}$  algılayıcı-denetleyici arasındaki gecikme (sensor-to-controller)
- $\tau_{di}$  denetleyici- işletici arasındaki gecikme (controller-to-actuator)



Şekil 2.2. Ağ gecikmesi blok şeması [54]

Algılayıcı-denetleyici gecikmesi ( $\tau_{ad}$ ) ve denetleyici-işletici gecikmesi ( $\tau_{di}$ ), farklı karakteristiklere sahiptir. Algılayıcı çıkışından alınan mesajlara zaman bilgisi eklenirse, bu bilgi ile belirlenen kontrol sinyali değerlendirilmesi sonucunda, algılayıcı-denetleyici gecikmesi belirlenebilir. İşletici, denetleyiciden sonraki kısım olduğu için, denetleyiciden gönderilen sinyalin işleticiye ne kadar sürede ulaşacağı ve gecikmenin ne kadar olacağı tam olarak bilinemez. Bu durum ağ kontrol sistemlerinin çözülmesi gereken ve tasarımlarda dikkate alınarak modellerin ortaya konmasını gerektiren önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.





Şekil 2.4. Kaynak noktası zaman analizi [54]

$$T_{ki} = T_{kh} + T_{kk} \quad (2.1)$$

$T_{ki}$  = Kaynak noktası önileme süresi

$T_{kh}$  = Kaynak noktası hesaplama süresi

$T_{kk}$  = Kaynak noktası kodlayıcı süresi

Verilerin kodlanması, ağ veri formatına göre düzenlenmesi gibi işlemlerin yapıldığı sabit tutulabilecek ya da elimine edilebilecek kadar az olan önileme süresi yazılım ve donanıma bağlı olarak değişmektedir.

$$T_{kb} = T_{ks} + T_{kp} \quad (2.2)$$

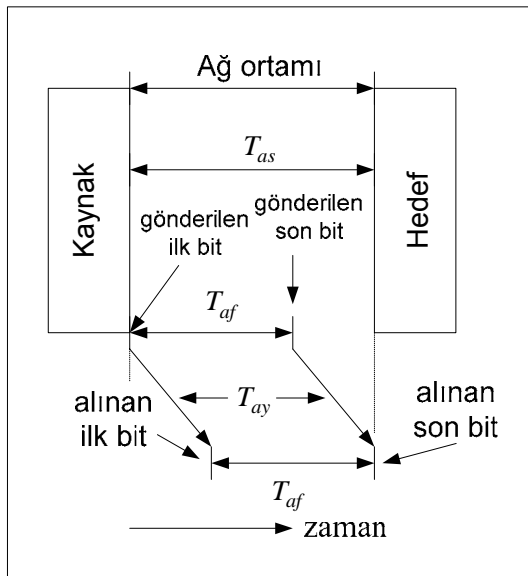
$T_{kb}$  = Kaynak noktası bekleme süresi

$T_{ks}$  = Mesaj sıra bekleme süresi

$T_{kp}$  = Mesaj paketleme (blokaj) süresi

Bu sürenin uzunluğu gönderilen verinin miktarına ve ağ veri trafiğine bağlı olarak değişir. Bu konuda asıl belirleyici unsur kullanılan ağ protokolüdür. Ağ protokolünde yapılan mesaj iletim yöntemi tanımlaması mesajın göndericide ne kadar bekleyeceğini belirleyen önemli bir faktördür.

Şekil 2.5'de verinin ağ yolu üzerindeki iletim esası ve sırası gösterilmiştir. Ağ ortamında verinin iletim hızını, dolayısıyla ağ ortamında harcanan süreyi etkileyen en önemli faktör, kullanılan veri iletim teknolojisidir. Veri iletim teknolojisi, kullanılan kablo (fiber optik, koaksiyel vb) ve iletim protokolü olarak açıklanabilir. Kısaca ağ ortamındaki hız kullanılan kablonun teknik özelliklerine de bağlıdır.



Şekil 2.5. Ağ ortamı zaman analizi [54]

$$T_{as} = T_{af} + T_{ay} \quad (2.3)$$

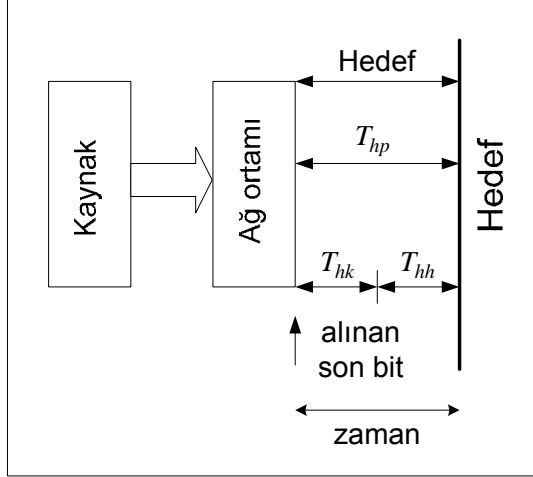
$T_{as}$  = Ağ ortamında iletim süresi

$T_{ay}$  = Ağ ortamında yayılım süresi

$T_{af}$  = Ağ ortamı mesaj yapılandırma (frame) süresi

Mesajın boyutu, veri yoğunluğu, iki nokta arasındaki mesafe (iletim hattı uzunluğu) gibi faktörler iletim süresini belirleyen ana konulardır.

Şekil 2.6'da hedef noktada harcanan süre içerisinde gerçekleşen işlemler görülmektedir.



Şekil 2.6. Hedef noktası zaman analizi [54]

$$T_{hp} = T_{hk} + T_{hh} \quad (2.4)$$

$T_{hp}$  = Hedef adreste posta işlemi süresi

$T_{hk}$  = Hedef noktası kod çözücü süresi

$T_{hh}$  = Hedef adreste hesaplama süresi

Mesaj kodlarının çözülmesi ve verinin ağ formatından fiziksel katman formatına dönüştürülmesi bu süre içerisinde gerçekleşen işlemlerdir. Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'dan aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$T_g = T_h - T_k \quad (2.5)$$

$$T_g = T_{ki} + T_{kb} + T_{as} + T_{hp} \quad (2.6)$$

$T_g = (T_{kh} + T_{kk}) + (T_{ks} + T_{kp}) + (T_{ay} + T_{af}) + (T_{hk} + T_{hh})$  son şekli elde edilir.

Burada;

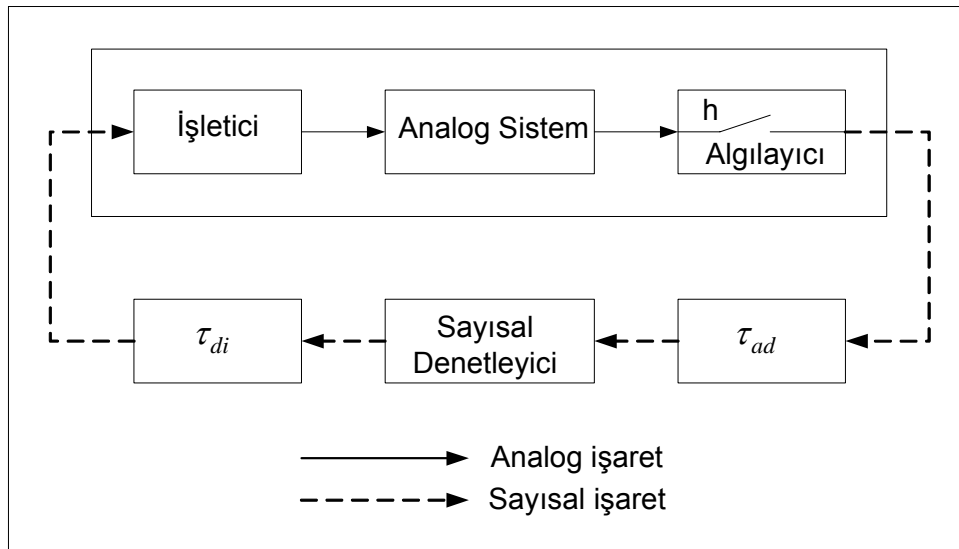
$T_k$  = Kaynak adreste veri iletimi başlangıç zamanı

$T_h$  = Hedef noktada veri alımı bitiş zamanı

$T_g$  = İki nokta arasındaki veri iletiminde meydana gelen toplam gecikme süresi olarak tanımlanmaktadır.

### 2.3. Ağ Gecikmesi (Networked Induced Delay)

AKS'de algılayıcı, işletici ve denetleyici arasındaki veri iletimi sırasında meydana gelen ağ gecikmesi dikkate alınarak AKS tasarımının blok şeması, sayısal denetleyici ve analog sistemle birlikte görülmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Ağ gecikmeli AKS blok şeması [19]

Ağ gecikmesi ile birlikte AKS modeli üç aşamadan oluşmaktadır [61].

- Algılayıcı örnekleme (clock-driven sensor), Sistem çıkışından periyodik olarak algılayıcı sinyalleri örneklenir.
- Denetleyici hesabı (event-driven controller), Algılayıcıdan veriler gelir gelmez harici kesme olayı (event-interrupt) devreye girer ve denetleyici kontrol sinyali hesaplanır.

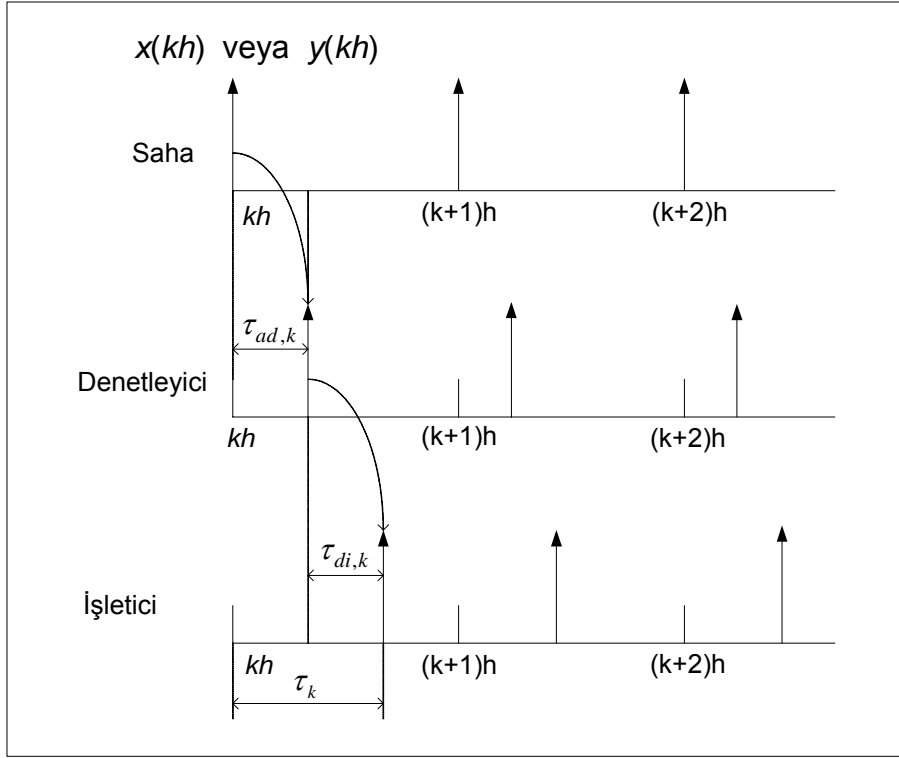
- İşletici kısmı (event-driven actuator), Veriler kullanılabilir hale geldiğinde (algılayıcı verileri) sistem girişine gönderilen veriler değiştirilir.

Ağ Kontrol Sistemlerinde denetleyici ile saha elemanları (algılayıcı, işletici, motor vb.) arasındaki ağ bağlantısı iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

- Doğrudan bağlantı
- Paylaşımlı-ağ yoluyla bağlantı

Doğrudan bağlantı yönteminde saha elemanları ile kontrol merkezi ağ üzerinden doğrudan birbirlerine bağlanmaktadır. Paylaşımlı-ağ yoluyla bağlantıda ise merkezi kontrol istasyonu ağ üzerinden yerel kontrol istasyonları ile haberleşirler ve yerel kontrol istasyonları da aldığı sinyalleri kendisine bağlı saha elemanlarına gönderir. Her iki yöntemde de kendine özgü avantajları vardır.

Doğrudan bağlantı yönteminde sistem bileşenleri arasında iletişim performansı daha yüksektir. Çünkü veriler bileşenlere doğrudan iletilmektedir. Diğer yöntemde ise denetleyici ile saha elemanları arasında yerel denetleme istasyonları vardır. Her iki yöntemde de denetleyici ile saha elemanları arasında bir ağ vardır ve bu ağ yapısının da etkisiyle denetleyici ile saha elemanları arasında bir gecikme meydana gelir (Şekil 2.8). Meydana gelen bu gecikme denetleyici görev basamakları ile aynı çeşitliliği gösterir. Denetleyici görev basamakları, algılayıcı bilgilerinin okunması, kontrol sinyalinin hesaplanması ve kontrol sinyalinin işleticilere gönderilmesi olarak özetlenebilir [62-69].



Şekil 2.8. Ağ kaynaklı gecikme [19]

Denetleyici görev basamaklarına bağlı olarak meydana gelen algılayıcı-denetleyici ve denetleyici-işletici gecikmeleri iki ana grupta değerlendirilmektedir.

- Bir örnekleme periyodundan daha kısa süreli gecikme
- Uzun süreli gecikme

#### Kısa süreli gecikme

Sabit örnekleme alınan bir sistemde, her bir örneklemede meydana gelen gecikme ( $\tau_k$ ), bir örnekleme periyodundan ( $h$ ) daha kısa ise bu gecikme kısa süreli gecikme olarak değerlendirilir.

Sistem analizi basitleştirildiğinde, ( $k = 0, 1, 2, \dots$  için  $\tau_k = \tau$ ) eğer gecikme sabit ise sistem sabit zamanlıdır. Kısaca sistemdeki gecikme sabit tutulabilirse ağ protokollerinin statik tasarımı da kolaylaşır. Sistem basitleştirildikten sonra sistemin gecikmeyi ne kadar telafi edebileceği incelenmelidir.

Denetleyiciye gönderilen mesajların algılayıcı çıkış zamanları bilinirse, algılayıcı-denetleyici arasında meydana gelen gecikme tahmin edilerek telafi edilebilir. Geleneksel bir-adım (one-step) tahmini ile  $y((k-1)h)$ 'ın değerine bağlı olarak  $x(kh)$  sinyalini tahmin ederek bir örnekleme periyodundan daha az gecikmeler telafi edilebilir.

### Uzun süreli gecikme

Bir örnekleme periyodundan 0, 1 veya 1'den fazla kontrol örneği alınabilir ( $0 < \tau_k < kh$ ,  $k > 1$ ), sistemde meydana gelen gecikme bir örnekleme periyodundan daha uzun süreli olabilir. Bu gecikme uzun süreli gecikme olarak değerlendirilir. Özel olarak,  $k$ 'nın bütün değerleri için  $(k-1)h < \tau_k < kh$  ve  $k > 1$  için her örnekleme periyodundan bir kontrol örneği alınır.

#### **2.3.1. Ağ gecikmesinin telafi edilmesi**

Algılayıcı-denetleyici gecikmesi ( $\tau_{ad}$ ), denetleyici-işletici gecikmesi ( $\tau_{di}$ ), farklı karakteristiklere sahiptir. Algılayıcı çıkışından alınan mesajlara zaman bilgisi eklenirse, bu bilgi ile belirlenen kontrol sinyali değerlendirilmesi sonucunda algılayıcı-denetleyici gecikmesi belirlenebilir. Böylece kontrol hesaplamaları gecikmesiz duruma göre tahmini olarak yeniden yapılandırılabilir.

Denetleyici-işletici (hareketlendirici) gecikmesi ve bu gecikmenin değerlendirilmesi farklıdır. İşletici denetleyiciden sonraki kısım olduğu için,

denetleyiciden giden sinyalin işleticiye ne kadar sürede ulaşacağı ve gecikmenin ne kadar olacağı tam olarak bilinemez.

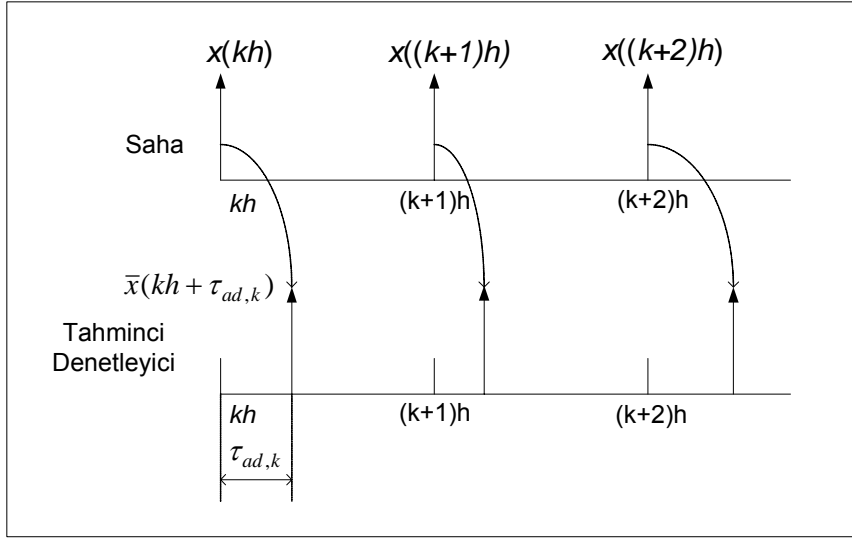
AKS'nde öncelikle iki durum incelenmelidir. Bunlardan birincisi sistemin kısmi durum ölçümlerinin kullanılarak tam durum tahminin yapılması diğeri ise doğru bir tahmin ile gecikmenin telafi edilmesidir.

Sistemin durum tahmininde  $x(kh + \tau_{ad,k})$ , algılayıcı-denetleyici gecikmesi ( $\tau_{ad,k}$ ) ve  $kh$  algılayıcı ölçümleri temel alınmalıdır. Bu noktada tekli paket (single-packet) iletimi ve bir örnekleme periyodundan daha az gecikme ( $\tau_{ad} < h$ ) dikkate alınmalıdır.

Tahmincinin görevi sadece gecikmeyi ( $\tau_{ad}$ ) telafi etmektir. Tam durum geri beslemeyle beraber kontrol sinyali zamanı hesaplanarak daha doğru bir sistem oluşturulabilir.

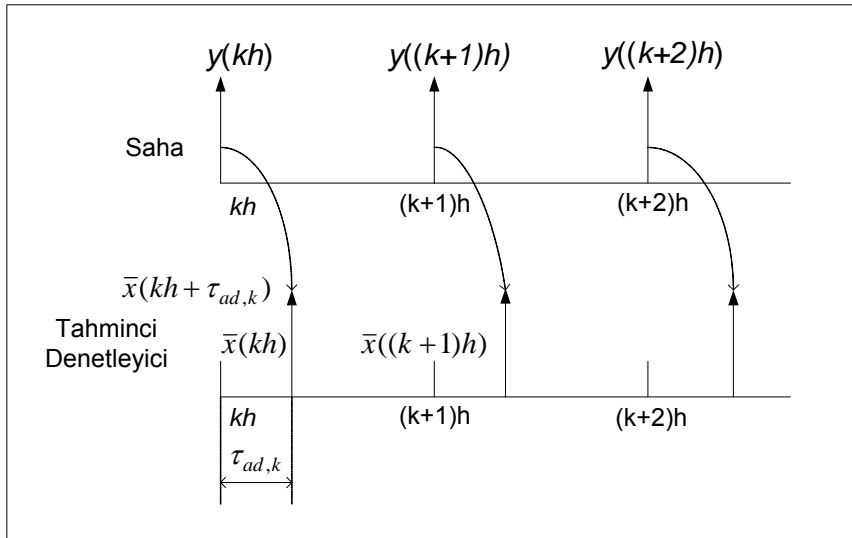
Şekil 2.9'da tam durum geri besleme tasarımı görülmektedir. Sistem durumu  $x(kh)$  için  $\tau_{ad,k}$ , algılayıcı-denetleyici gecikmesini göstermektedir. Elde edilen  $x(kh)$  zamanı ile sistem durum tahminini  $\bar{x}(kh + \tau_{ad,k})$  göstermektedir,  $\bar{x}(kh + \tau_{ad,k})$  hesaplama ile bulunabilir.

$$\begin{aligned} \bar{x}(kh + \tau_{ad,k}) &= x(kh + \tau_{ad,k}) \\ &= e^{A\tau_{ad,k}} x(kh) + \int_{kh}^{kh+\tau_{ad,k}} e^{A(kh+\tau_{ad,k}-s)} Bu(s) ds \end{aligned} \quad (2.7)$$



Şekil 2.9. Tam-durum geri besleme [53]

Sistemin tam durum bilgileri işlemciye ulaşmadığı durumlarda, durum tahmincisi sistemin durumunu tahmin eder ve denetim sinyalini hesaplar. Bunun için bir geleneksel anlık-durum (current-state) tahminci  $x(kh)$  sistem durumunu kullanarak sistem çıkışını  $y(kh) = Cx(kh)$  olarak tahmin eder. Şekil 2.10'da çıkış geri besleme tasarımı görülmektedir.



Şekil 2.10. Çıkış geri beslemesi [53]

$$\hat{x}((k+1)h) = \Phi\bar{x}(kh) + \Gamma u(kh) \quad (2.8)$$

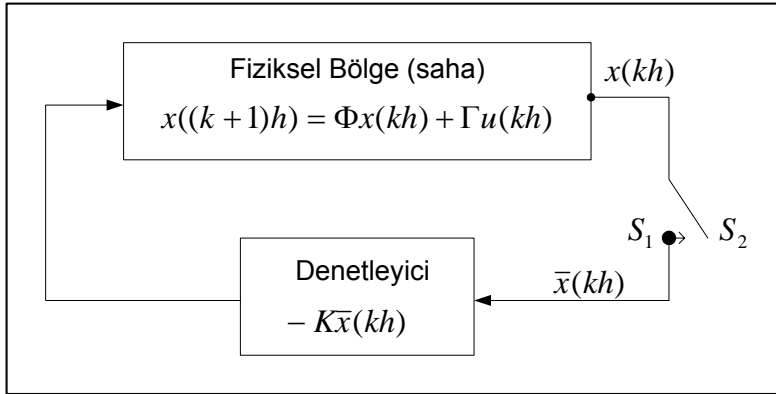
$$\bar{x}((k+1)h) = \hat{x}((k+1)h) + L_c (y((k+1)h) - C\hat{x}((k+1)h)) \quad (2.9)$$

Burada  $L_c$  o anki durum tahminci kazancını gösterir. Ayrıca  $\Phi, \Gamma$  ve  $C$  sisteme etkileyen parametrelerin oluşturduğu katsayı matrisleridir. Hesaplama iki aşamada yapılmaktadır. Birincisi, tahminci  $\bar{x}(kh)$  durumunu kullanarak bir örnekleme periyodu sonrası  $\hat{x}((k+1)h)$  durumunu tasarlar daha sonra sistem çıkışını temel alarak,  $\hat{x}((k+1)h)$  durumunu doğrular.

#### 2.4. Sinyal Zayıflaması

AKS modeli tasarlanırken sadece ağ kaynaklı gecikme değil veri paketlerindeki sinyal zayıflaması da dikkate alınmalıdır. Veri çarpışması (collision) ve ağ üzerindeki bağlantı noktalarında başarısızlıkların arasına da olsa gerçekleşmesi durumunda, kullanılan bu veri yolunu güvenilir olarak tanımlayamayız. Veri çarpışması meydana geldiğinde eski verinin tekrarlayıcı (repeater) ile yeniden iletimi yerine verinin yeniden oluşturularak gönderilmesi daha avantajlı olabilir. Bu durum başarılı veri iletiminde arzu edilen performansı (kararlılığı) yakalayabilmede önemlidir.

Şekil 2.11'de bir AKS'nde veri paketlerinde sinyal zayıflamasının nasıl meydana geldiği basit bir model ile gösterilmiştir. Bu modelde sadece denetleyici ile fiziksel katman (saha) arasında bir ağ bağlantısı kurulmuştur ve sistemin başka bir ağ bağlantısı yoktur. Sistemde meydana gelen sinyal zayıflamasının modellenmesi ağ üzerine bağlı anahtarlar ile gerçekleştirilmiştir. Burada anahtar kapalı iken ( $S_1$  konumu) ağ üzerinden veri paketi  $x(kh)$  iletilmektedir. Anahtar açılır açılmaz ( $S_2$  konumu) anahtar çıkışında önceki veriler kesilir ve veri kaybolur. Anahtarın dinamik durumu aşağıdaki gibi modellenebilir.



Şekil 2.11. Sinyal zayıflamasının modeli [53]

$$S_1 \Rightarrow \bar{x}(kh) = x(kh) \quad (2.10)$$

$$S_2 \Rightarrow \bar{x}(kh) = \bar{x}((k-1)h) \quad (2.11)$$

eşitlikleri kullanılır.

$z(kh) = [x^T(kh), \bar{x}^T(kh)]^T$  durum vektörü, kapalı-döngülü sistemle beraber ağ veri paketlerindeki sinyal zayıflamasının etkilerini göstermektedir [70-72]. Düşük örnekleme oranı için sistem kararlı olabilir. Diğer bir ifade ile sabit geri besleme kontrol sistemi ve ağ bant genişliğini koruyabilmek için örnekleme bir miktar azaltılabilir [73-75].

## 2.5. AKS Matematiksel Modeli

AKS'de ağ gecikmesi ve veri iletimi analizleri dikkate alınarak sırasıyla saha, denetleyici ve ağ kontrol sistemi tasarımının matematiksel modeli aşağıdaki gibi çıkartılabilir.

Saha,

$$\dot{x}_s(t) = A_s x_s(t) + B_s u_s(t) \quad (2.12)$$

$$y_s(t) = C_s x_s(t) \quad (2.13)$$

Burada  $A_s$ ,  $B_s$  ve  $C_s$  sistemin saha kısmına etkiyen parametrelerin oluşturduğu uygun matrislerdir.

Denetleyici,

$$\dot{x}_d(t) = A_d x_d(t) + B_d u_d(t) \quad (2.14)$$

$$u_d(t) = C_d x_d(t - \tau_d) + D_d u_d(t - \tau_d) \quad (2.15)$$

Burada;  $\tau_d = T_{ki} + T_{kb} = (T_{kh} + T_{kk}) + (T_{ks} + T_{kp})$  eşitlikleri kullanılabilir ve  $A_d$ ,  $B_d$ ,  $C_d$  ve  $D_d$  sistemin denetleyici kısmına etkiyen parametrelerin oluşturduğu uygun matrislerdir.

Ağ Kontrol Sistemi, saha ve denetleyiciyle birlikte,

$$0 \leq \tau_1 = \tau_{ad} \leq \tau_{adc, \max} = \tau_{1, \max}$$

$$0 \leq \tau_2 = \tau_{ad} + \tau_d \leq \tau_{ad, \max} + \tau_{d, \max} = \tau_{2, \max}$$

$$0 \leq \tau_3 = \tau_{di} + \tau_d \leq \tau_{di, \max} + \tau_{d, \max} = \tau_{3, \max}$$

eşitsizliklerini sağlar.

Burada,  $\tau_{ad} = T_{as} + T_{hp} = (T_{af} + T_{ay}) + (T_{hk} + T_{hh})$  ve  $\tau_{di} = T_{as} = T_{af} + T_{ay}$  dir.

$x_s = T_{hk} + T_{hh}$  ve  $x_d = T_{ks} + T_{kb}$  olmak üzere;

$$\begin{aligned}
\dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} \dot{x}_s(t) \\ \dot{x}_d(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_s x_s(t) \\ A_d x_d(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_s u_s(t) \\ B_d u_d(t) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} A_s \\ A_d \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} B_s \\ B_d \end{bmatrix} u(t) \\
&= \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s(t) \\ x_d(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_s & 0 \\ 0 & B_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_s(t) \\ u_d(t) \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

şeklinde ifade edilir. Toplamdaki ikinci terim gecikmelerde göz önünde bulundurularak yeniden düzenlenirse,

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} B_s & 0 \\ 0 & B_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_s(t) \\ u_d(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B_s C_s & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s(t - \tau_1) \\ x_d(t - \tau_1) \end{bmatrix} \\
+ \begin{bmatrix} B_s D_d C_s & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x_s(t - \tau_2) &+ \begin{bmatrix} 0 & B_s C_s \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x_s(t - \tau_3)
\end{aligned}$$

olur. Ayrıca;

$$A = \begin{bmatrix} A_s & 0 \\ 0 & A_d \end{bmatrix} \quad A_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ B_s C_s & 0 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} B_s D_d C_s & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad A_3 = \begin{bmatrix} 0 & B_s C_s \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

olmak üzere bu sistem;

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + A_1 x(t - \tau_1) + A_2 x(t - \tau_2) + A_3 x(t - \tau_3) \quad (2.16)$$

$$y(t) = [C_s \quad 0]x(t) \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada,

$$x(t) = [x_s(t) \quad x_d(t)]^T \quad (2.18)$$

$$y_d(t) = y_s(t - \tau_{ad}) \quad (2.19)$$

$$u_s(t) = u_d(t - \tau_{di}) \quad (2.20)$$

Eşitlikleri yazılabilir.

Ağ Kontrol Sistemlerinin otomasyon teknolojisinin vazgeçilmez unsurlarından biri konumuna gelmesinin başlıca nedenlerinden biri günümüz otomasyon sistemlerinin sayısız algılayıcı, işletici ve diğer bileşenleri bünyesinde barındırıyor olmasıdır. Çünkü bir otomasyon sisteminde kullanılan cihazların sayısı arttıkça hem sistemin kablolamadan kaynaklanan kuruluş maliyeti artmakta hem de sistemi kontrol etmek daha da spesifik hal almaktadır. Bu aşamada AKS oldukça güvenilir ve düşük maliyetli alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşın AKS'nin de kendine özgü problemleri olduğu bir gerçektir ancak diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında avantajları oldukça fazladır. Sonuç olarak görülmüştür ki AKS'nin, ağ gecikmesi, sinyal zayıflaması, tahminci ve geri besleme gibi konuları makul seviyede çözüme kavuşturulduğunda otomasyon teknolojisinde AKS önemini ve avantajlarını korumaya devam edecektir.

### 3. PROFIBUS

Günümüzde sanayi üretiminden bina işletim sistemlerine kadar her alanda otomasyona geçildiği görülmektedir. Otomasyonun temel bileşenlerinden biri de ağlardır. Güç yönetiminde oldukça etkin olarak kullanılan ağlar güç iletiminde de kullanılabilir duruma geldiğinde bir binada ya da fabrikada sistemin tamamı bu ağlar ile kurulacaktır. Endüstriyel otomasyon ağlarında, ağın davranış karakteristiğini belirleyen faktör ağ protokolüdür. Profibus (Process Field Bus, Saha veri yolu işlemcisi), 1987'de Almanya Teknoloji ve Araştırma Bakanlığı'nın oluşturduğu çalışma grubu tarafından ISO (International Standards Organization, Uluslararası Standartlar Organizasyonu)/OSI (Open System Interconnection, Açık Sistem Bağlantıları) referans model tabanlı olarak tasarlanmıştır. Uluslararası EN50170 ve EN50224 standartlarına uygun olarak geliştirilen Profibus otomasyon sistemlerinde geniş uygulama alanı bulmuştur. FMS (Fieldbus Message Specification), PA (Process Automation) ve DP (Decentralized Periphery) gibi farklı haberleşme seçeneklerine sahip olan Profibus, uygulamaya bağlı olarak veri iletiminde RS-485, IEC61158-2 ve Fiber Optik teknolojisinin kullanımına imkan vermektedir. Profibus'ın protokol ve veri iletimindeki seçenekleri farklı uygulamalarda kullanılabilirliğini artırmaktadır [23-25].

Profibus, yüksek hızlı kritik zamanlı uygulamalarda, kompleks haberleşme sistemlerinde ve farklı cihazların özel bir arabirim kullanmadan birbirleri ile haberleşmesinde kullanılabilir. Profibus, yüksek hızlı kritik zamanlı uygulamalarda, kompleks haberleşme sistemlerinde ve farklı cihazların özel bir arabirim kullanmadan birbirleri ile haberleşmesinde kullanılabilir. Profibus, yüksek hızlı kritik zamanlı uygulamalarda, kompleks haberleşme sistemlerinde ve farklı cihazların özel bir arabirim kullanmadan birbirleri ile haberleşmesinde kullanılabilir.

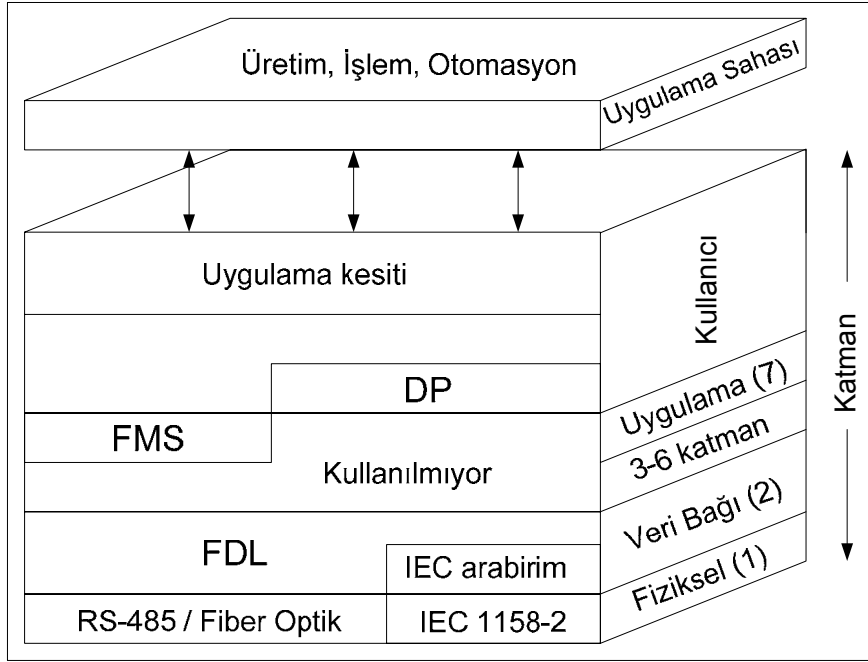
Ağ bağlantılarında kullanılan donanımlar ağın hızından tipine kadar bir çok özelliğini belirleyen faktörler arasında yer alırlar. Bu aşamada dikkate alınması gereken temel unsur sistemde kullanılacak donanımlara uygun yapıda otomasyon ağının oluşturulmasıdır.

Profibus modelinde her iletim katmanının görevi kesin olarak tanımlanmış olup OSI referans modelinde tanımlanan 7 katmandan 1., 2. ve 7. katmanlar kullanılmaktadır. Profibus haberleşmesinde kullanılan ortam erişim protokolü OSI referans modelinin 2. katmanını kullanmaktadır. Bu protokol veri güvenliği ve veri iletimini düzenlemektedir.

### 3.1. Profibus Protokol Mimarisi

OSI referans modeli ile birlikte ISO 7498'e uygun protokol mimarisine sahip olan Profibus bu mimari yapı sayesinde etkili ve hızlı veri iletimi özelliği kazanmıştır (Şekil 3.1). Profibus OSI referans modelinde tanımlanan 7 katmandan 1, 2 ve 7. katmanları kullanmaktadır ve bu katmanların her biri farklı görevleri yerine getirmektedir.

- Katman 1 (Fiziksel katman, Donanım), fiziksel iletim karakteristiği tanımlanmıştır. Verinin bit dizisi halinde Profibus iletim ortamı üzerinden aktarılması için gerekli işlevleri kapsar. Fiziksel katman, verinin doğrudan ağ ortamına aktarılması için gerekli tanımlamaları ve arayüz standartlarını içerir, konnektör, kablo tipi ve taşıyıcı sinyalin şekli bu katmanda tanımlıdır [76].
- Katman 2 (Veri bağı katmanı), ağ katmanına hatalardan temizlenmiş bir iletişim sağlar; verileri çerçeveler halinde organize eder ve sıralı olarak fiziksel katmana aktarır. Alıcı düğümün veri bağı katmanı iletimde hatalar olmuşsa bu hataları düzeltir veya göndericiden tekrar isteyerek verinin hatasız alınmasını sağlar. Çerçeve kurma, hata denetimi, akış denetimi ve zaman aşımı denetimi bu katmanın başlıca görevleridir [76].
- Katman 7 (Uygulama katmanı), bu katmanda uygulama fonksiyonları tanımlanmıştır. Uygulama programlarının ağa erişimi için gerekli işlevleri kapsar; kullanıcının etkileşimde bulunduğu uygulama programları doğrudan bu katmanla iletişim içindedir.



Şekil 3.1. Profibus protokol mimarisi [31]

### 3.2. Profibus Ortam Erişim Protokolü

Profibus ağında kullanılan ortam erişim protokolü OSI referans modelinin 2. katmanını kullanmaktadır. Bu protokol, veri güvenliği ve veri iletimini düzenlemektedir. Profibus katman 2'de FDL (Fieldbus Data Link, Saha yolu veri bağı) kullanmaktadır. Bir istasyon veri iletimine geçiş izni aldığı anda MAC (Medium Access Control, Ortam Erişim Denetimi) iletim prosedürünü belirler. Bu tip uygulamalarda MAC belirli bir süre için sadece bir istasyona veri iletim hakkı vermelidir [26,55,77].

Profibus protokolünde ortam erişim denetimi için öncelikle iki konu düzenlenmelidir.

- Kompleks otomasyon sistemleri (master-master) arasındaki haberleşmede, istasyonların her birine tanımlanan görevleri yerine getirebilecek kadar süre verilmelidir.

- Programlanabilir denetleyiciler ve tanımlanan bağımlı istasyonlar (master-slave) arasındaki haberleşme döngüsünde gerçek zamanlı veri iletimi basit ve hızlı olmalıdır.

Yukarıda belirtilen hedeflere ulaşmak için Profibus ortam erişim protokolü, master-master haberleşmesinde andaç (token) geçiş prosedürü ve master-slave haberleşmesi içinde master-slave prosedürü kullanmaktadır. Profibus ağında slave-slave veri iletimi de gerçekleştirilebilir. Bunun için yayımcı konumundaki slave verileri yayın yoluyla diğer uçlara iletir.

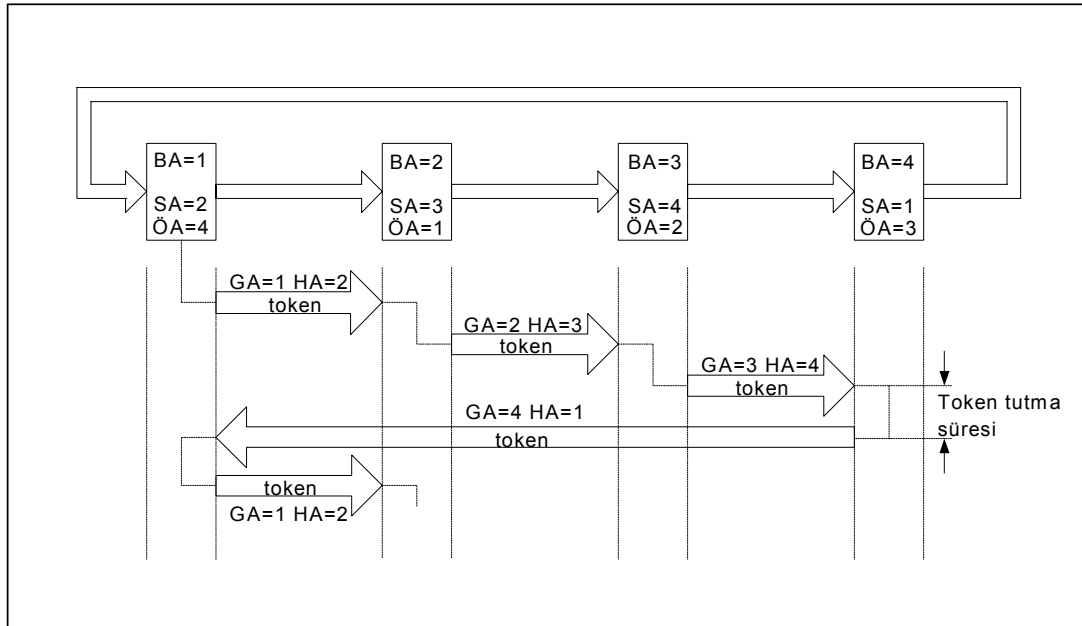
### **3.2.1. Master-master haberleşmesi**

#### Andaç (Token) geçiş prosedürü

Token geçiş prosedürü, veri yolunu, her bir master (ana/yönetici istasyon) için kesin olarak tanımlanan zaman aralıklarında kullanma hakkı veren bir veri iletim prosedürüdür. Bu prosedür Profibus haberleşme ağında sadece master-master haberleşmesinde kullanılmaktadır. Andaç geçiş prosedürü aynı anda tek bir ucun ağa erişimini sağlayarak kısıtlama getiren bir yöntem olup bir andaç uçtan uca dolaşarak o anki ana uca (master) veri iletim hakkı verir. İleten konumundaki ana istasyon andaç'a mesajını iletir, mesajın alınacağı uca kadar dolaşan andaç alan uca ulaştığında alıcı uç mesajı alır ve andaç'ı serbest bırakır. Andaç geçiş prosedürünün kullanıldığı master-master haberleşmesi Şekil 3.3'te görülmektedir.

Andaç; ring halkasında sürekli olarak dolaşan, bir istasyondan başka bir istasyona veri gönderme yetkisi veren özel olarak hazırlanmış bir mesaj paketidir. Bir ağ cihazı iletimde bulunmak istediğinde andaç kendisine gelene kadar bekler, mesajını andaç'a ekler ve gönderir. Gönderen cihaz andaç kendisine geri döndüğünde mesajını andaç'dan kaldırır. Andaç 1. master'dan itibaren adres sırasına göre bütün master'ları dolaşarak master-master haberleşmesi gerçekleştirilir [78,79].

Şekil 3.2’de andaç’ın master istasyonlar arasındaki davranışı incelendiğinde; andaç her bir istasyon arasında sırayla ilerlemektedir, her istasyonda Gönderici İstasyonun Adresi (GA) ve Hedef İstasyon Adresi (HA) değişmektedir. Bu değişiklikler master istasyonlarda bulunan bilgiler ile gerçekleştirilmektedir, bütün master istasyonlarda Önceki İstasyon Adresi (ÖA), Sonraki İstasyon Adresi (SA) ve kendi adresi (BA, Bu İstasyon Adresi) bilgileri saklanmaktadır. Andaç, kendisini alan master istasyonda bulunan bilgileri alarak bir sonraki hedefine hareket eder. Bu çalışma döngüsü içerisinde herhangi bir istasyon sistemden çıkartılır veya pasif konuma gelirse andaç üç defa bu istasyona gider ve her defasında gönderen istasyona geri döner, dördüncüsünde ise pasif istasyonu atlayarak bir sonraki aktif istasyona gider.

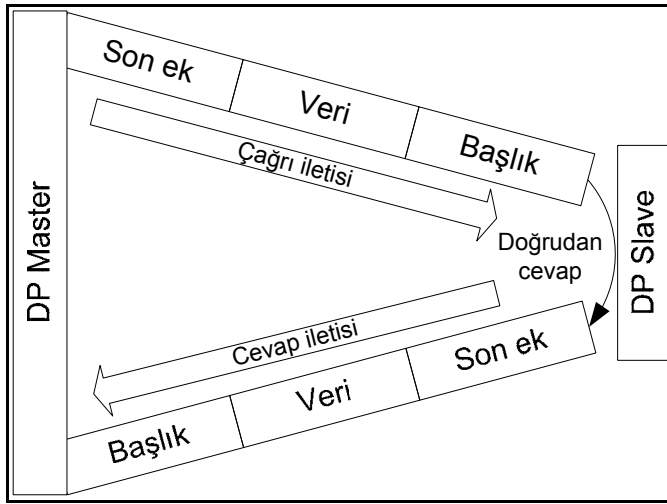


Şekil 3.2. Master-master haberleşmesi [78]

### 3.2.2. Master-slave haberleşmesi

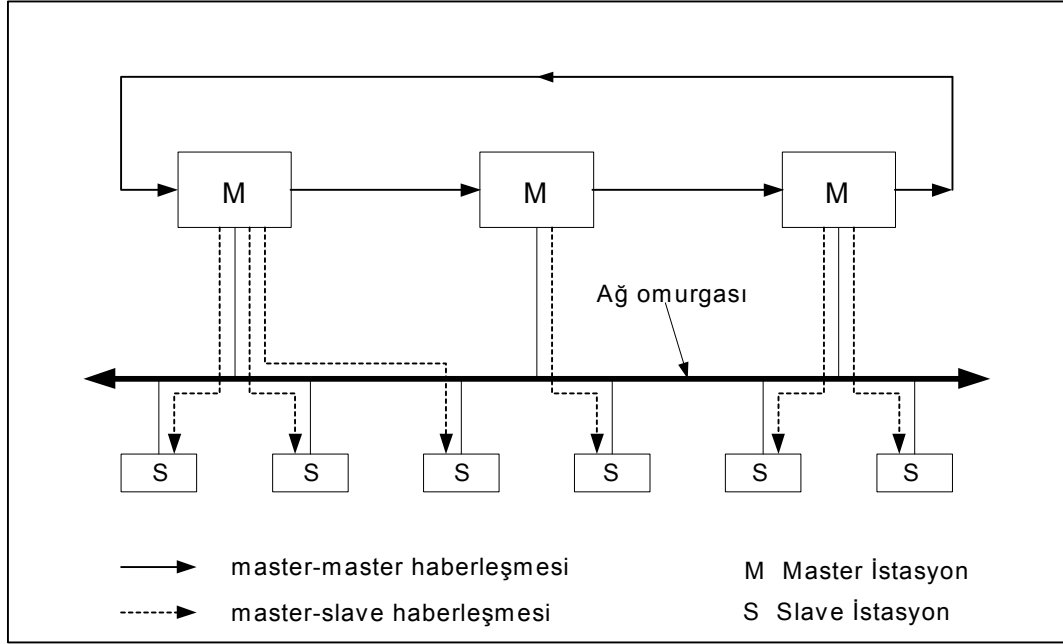
Master, o anki sahip olduğu andaç’ın tanımlanan slave’e (pasif/bağımlı istasyon) geçişine izin verir bu şekilde master-slave haberleşmesi

gerçekleşir. Slave istasyonun görevi sadece master'ın sorularına cevap vermek olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.3). Master-slave arasında veri iletimi “senkron seri iletim” yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Senkron seri iletimde karakterlerin başına *başla* ve *dur* bitleri konmaz. Senkron iletimde bilgi bit katarının (64 bit ile 4096 bit arasında) başına ve sonuna Şekil 3.3'te görüldüğü gibi özel desenli ön (başlık) ve son ekler koyularak alıcının bilginin başını ve sonunu belirlemesi sağlanmaktadır [55].



Şekil 3.3. Master-slave haberleşmesi [78]

Şekil 3.4'te Profibus erişim prosedürü görülmektedir; gerek master-master ve gerekse master-slave haberleşmesi veri yolu üzerinde dolaşan andaç yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Master'ın andaç'ı tutma zamanı andaç'ın dönüş zamanı konfigürasyonuna bağlı olarak belirlenmektedir. Profibus erişim prosedüründe pasif istasyonların görevleri aktif istasyonların sorularına cevap vermekle sınırlandırılmıştır [80].

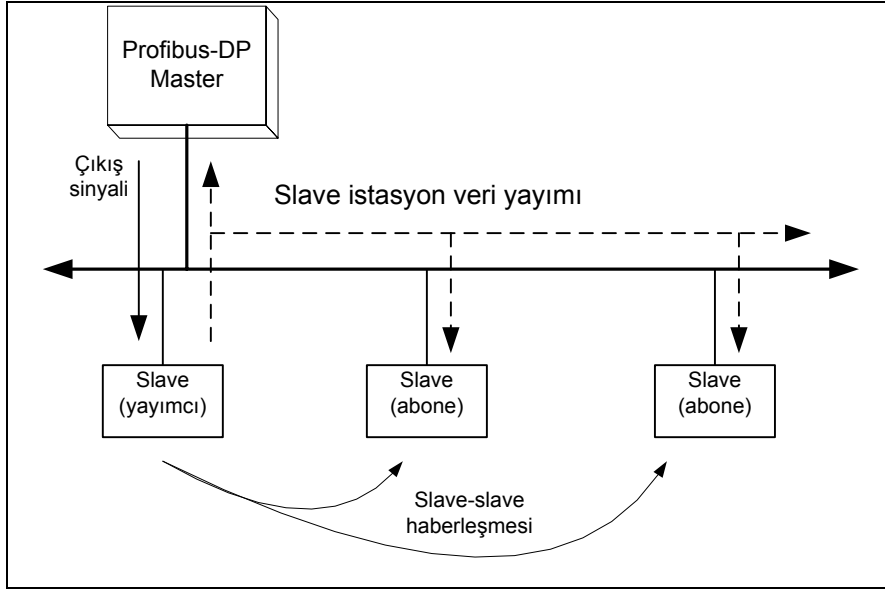


Şekil 3.4. Profibus erişim prosedürü [78]

Veri iletiminde meydana gelen hataların algılanması, birden fazla andaç'ın oluşması veya andaç'ın kaybolması, bir istasyona birden fazla adres tanımlanması gibi hataların tespit edilebilmesi Profibus ortam erişim denetleyici tarafından önlenir. Profibus'ın kullandığı katman 2 Uluslararası IEC 870-5-1 standardının sağladığı hattın başlangıç ve sonunda bit ve byte olarak verinin senkronizasyonunun denetlenmesi ile veri güvenliği ve bütünlüğü sağlamaktadır.

Bir otomasyon ağında veri iletimi süresi master-master ve master-slave haberleşme prosedürlerine bağlı olarak; iletilen veri oranı, istasyonların andaç tutma zamanı ve istasyon sayısına bağlıdır. Bu üç unsur birbirleriyle ilişkili olarak veri iletimi süresine etki etmektedirler. İstasyon sayısı arttıkça işleme alınan veri oranı artar bu aynı zamanda hem andaç tutma zamanının artması hem de çevrim süresinin artması demektir. Sonuç olarak istasyonlar arası haberleşme prosedürleri sadece güvenilir değil aynı zamanda hızlı veri iletimini sağlayacak özelliklere sahip olmalıdır.

Profibus-DP ağında slave istasyonlardan bazılarının gerektiği durumlarda yayımcı olarak davrandığı ve bu şekilde gönderdiği verilerin diğer slave istasyonlara iletildiği slave-slave haberleşme yöntemi şekil 3.5'de görölmektedir.

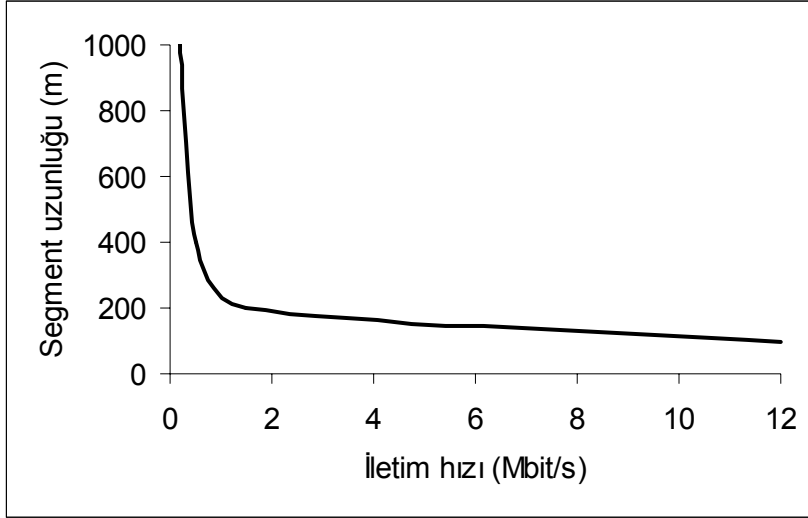


şekil 3.5 Slave-slave veri iletimi [26]

### 3.3. Profibus Veri İletimi

Profibus otomasyon ağı segmentlerden oluşur ve segmentler tekrarlayıcılar (repeater) ile birbirine bağlanarak ağ genişletilebilir. Bir segment 32 ağ bileşeninden oluşur. Bir otomasyon ağını oluşturan segment sayısını sınırlayan dolayısıyla ağ uzunluğunu belirleyen en önemli etkenlerden biri veri iletiminde kullanılan kablo, diğer bir ifade ile veri iletim teknolojisidir. Ayrıca ağın hızı, ağ bileşenleri içinde hızı en düşük olan cihaz ile sınırlıdır. Dolayısıyla iletim hızını yüksek tutmak için kullanılan kabloya bağlı olarak segment sayısını sınırlamak (ağın uzunluğunu sınırlamak) yeterli olmamakta aynı zamanda ağ bileşenlerinin tamamının da hızını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Sonuç olarak ağ veri iletim hızını; veri iletim teknolojisi, ağın uzunluğu (segment sayısı) ve ağ bileşenlerinin hızı belirler

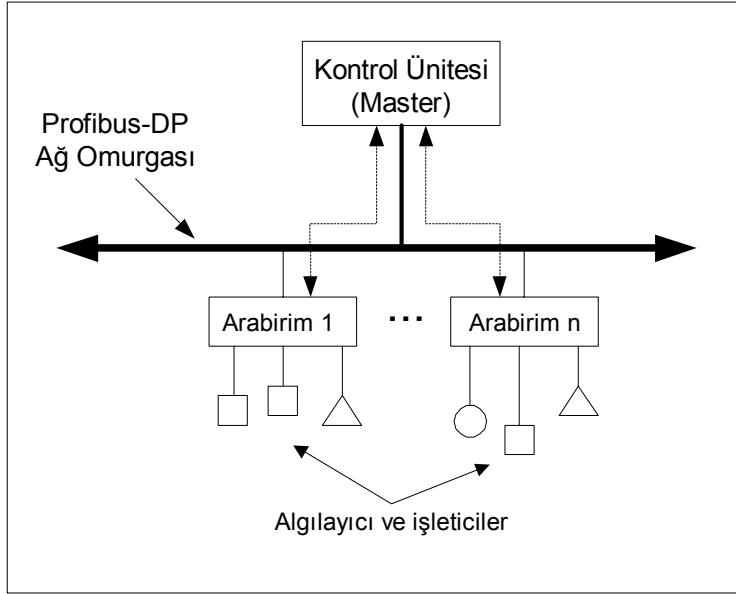
[55]. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi veri iletim hızı segment uzunluğu ile ters orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 3.6. Segment uzunluğuna bağlı olarak veri iletim hızı değişimi [55]

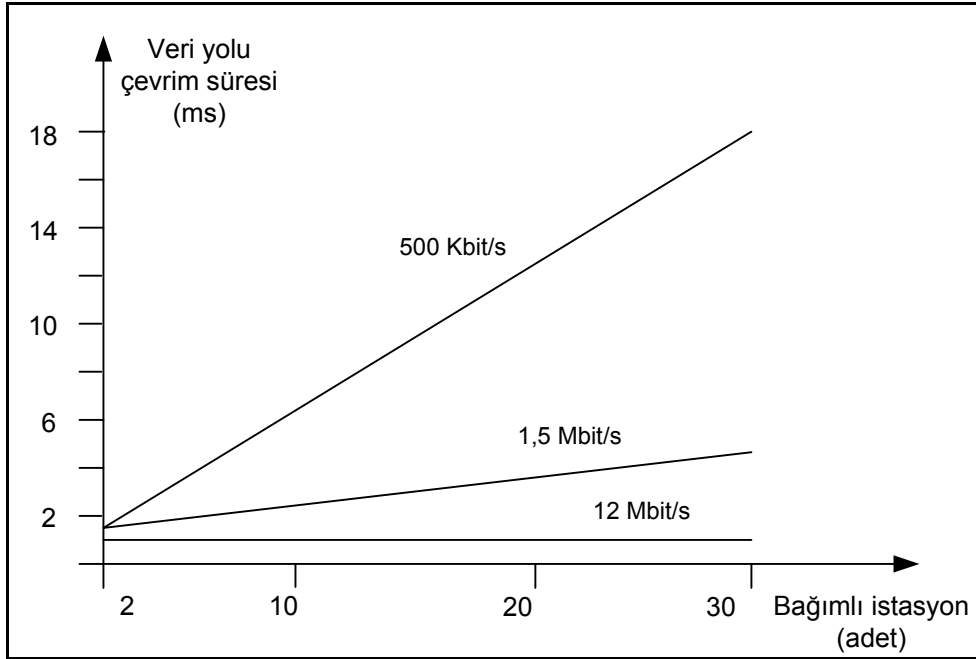
Profibus ağında maksimum veri iletim hızı 100 m'den kısa mesafelerde elde edilmektedir, 1000 m ve üzerindeki segment yapılarında veri iletim hızı en düşük seviyelerde olup segment uzunluğundaki orantılı değişimlere karşılık veri iletim hızında üssel değişim meydana gelmektedir. 100 m'de 12 Mbit/s olan veri iletim hızı Profibus'ın diğer otomasyon protokollerine göre önemli bir üstünlüğüdür [31].

Profibus tabanlı sistemin veri iletim prensibi Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir. Blok şemada görülen algılayıcılar; hız, ısı ve nem algılayıcılarıdır. İşleticiler (sürücü devreler) algılayıcılardan gelen verilere göre çeşitli üniteleri (ısıtma, havalandırma, motor, enerji açma-kapama) devreye sokacak veya devreden çıkartacak olan işletim elemanlarıdır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi donanımlar Profibus-DP ağ omurgası üzerinden master (CPU) istasyona bağlanmıştır. Böylece Profibus-DP ağ yapısında bulunan algılayıcı ve sürücü devre gibi elemanların veri iletimi ağ omurgası üzerinden gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.7. Profibus-DP tabanlı sistemin veri iletim prensibi [13]

Ağ tabanlı otomasyon sistemlerinde yönetici ve bağımlı istasyonlar arasındaki veri iletimi süresi, diğer bir ifade ile veri çevrim süresi de önemlidir. Veri iletim çevrim süresi aynı zamanda sistemin tepki hızını da ifade etmektedir. Bu süreyi etkileyen faktörler yukarıda bahsedilen veri iletim hızını etkileyen faktörler ve ilave olarak sistemdeki donanım sayısı (slave sayısı) olarak özetlenebilir (Şekil 3.8). Haberleşme ağındaki slave istasyon sayısının veri iletimi çevrim süresine olan etkisi ağın sahip olduğu iletim hızına bağlı olarak değiştiği Şekil 3.8’de görülmektedir. Burada en düşük çevrim süresinin Profibus’ın DP mimarisi ile sağlanan 12 Mbit/s hızında elde edildiği ve 2 ms’nin altında gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.8 Veri yolu çevrim süresi [1]

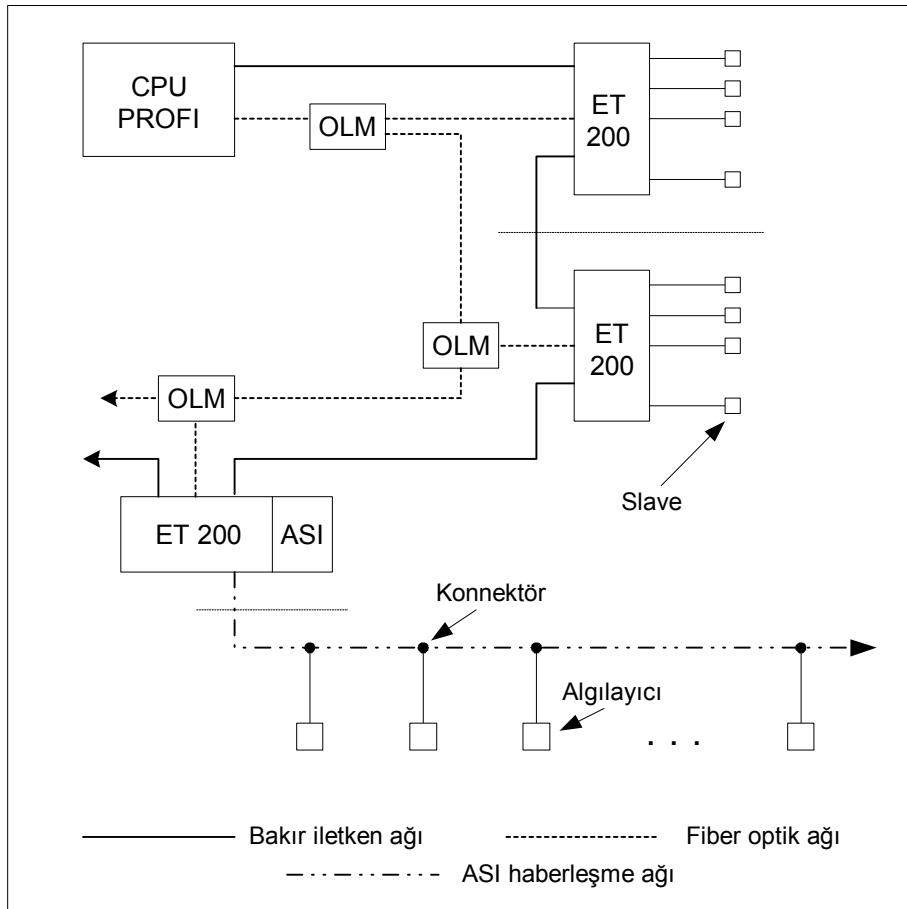
### 3.4. Profibus-DP Haberleşmesi ve Ağ Topolojileri

Profibus-DP (Process Field Bus-Decentral Periphery), Profibus'ın en çok kullanılan haberleşme profilidir. Profibus-DP dağıtılmış çevre birimler ve otomasyon sistemleri arasındaki haberleşme için yüksek hızlı iletişim imkanı sağlayan bir protokoldür.

Profibus-DP kullanıcı arabirimi yanı sıra OSI referans modelin 1 ve 2. katmanlarını kullanmaktadır. DP'nin bu yapısı hızlı ve etkili veri iletimi sağlamaktadır. Kullanıcı arabirimi sahip olduğu DDLM (Direct Data Link Mapper, Doğrudan Veri Bağlantı Haritası) sayesinde 2. katmana erişim daha kolay sağlanmaktadır. Kullanıcı arabirimi farklı DP devrelerinin sistem içindeki uygulama fonksiyonlarını belirlemektedir [81-83].

### 3.4.1 Ağ topolojileri

Profibus ağ yapısını, veri iletiminde kullanılan kablo, sistem çalışma tipi ve veri iletim protokolü belirler. RS-485 ve IEC61158-2 standardı kabloların kullanıldığı ağ tipleri, Lineer, Ağaç ve Yıldız ağ topolojisine sahip olabilirler. Fiber Optik kablunun kullanıldığı ağlar ise Lineer ve Ring ağ topolojisine sahip olabilirler. Bakır kablolar Ring ağ tipinde işaret yansımından kaynaklanan veri bozulmalarından dolayı tercih edilmezler. Şekil 3.9'da Profibus ağ yapısı görülmektedir. Burada, bakır tip kablunun kullanıldığı Lineer ağ, çevre birimlerinin ET-200 modülüne düz bir hat boyunca basit bir konnektör ile bağlanabildikleri AS-Interface haberleşme ağı ve Fiber optik kablunun kullanıldığı ağ yapıları tek bir uygulama içerisinde gösterilmiştir.

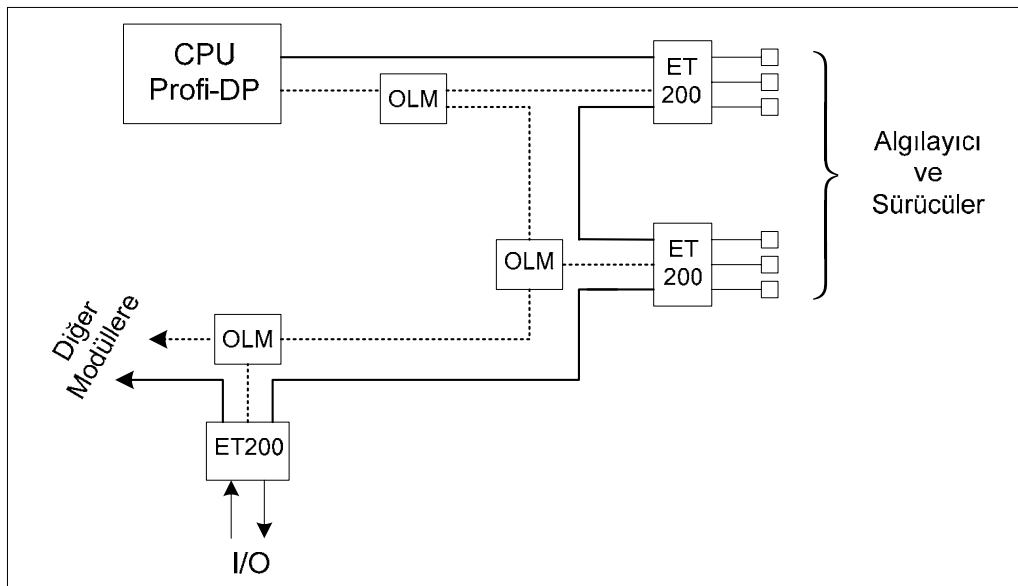


Şekil 3.9. Profibus ağ yapıları [83]

AS Interface haberleşme özelliği bulunan ET200 modüllerinden oluşan ağ yapısında slave istasyonların ET200 modüllerine ayrı ayrı bağlanmasına gerek yoktur, bu istasyonların tamamı ET200 modülüne bağlı tek bir hat üzerine bağlanabilir.

Profibus ağ topolojileri, amaca uygun olarak seçilen veri iletimi yöntemine göre oluşturulmaktadır. Yüksek hızlı ve güvenilir veri iletimi istenen endüstriyel otomasyon ağlarında Fiber Optik kullanmak doğru olacaktır. Bu durumda fiber optik kullanımına izin veren ağ topolojilerinden biri ile sistemi kurmak gerekmektedir.

Şekil 3.10'da Fiber optik haberleşme ile klasik bağlantının birlikte gösterildiği Profibus-DP ağ yapısı görülmektedir, Fiber Optik kablunun kullanıldığı Profibus ağında bulunan istasyonlar OLM (Optik Link Modülü) ile ağa bağlanmaktadır ve OLM'ler veri dönüşümünü (elektriksel işaretler ışık işaretlerine dönüştürülür yada denetleyiciden gelen işaretler elektrik işaretlerine dönüştürülerek saha elemanlarına iletilir) gerçekleştirmektedirler [31].

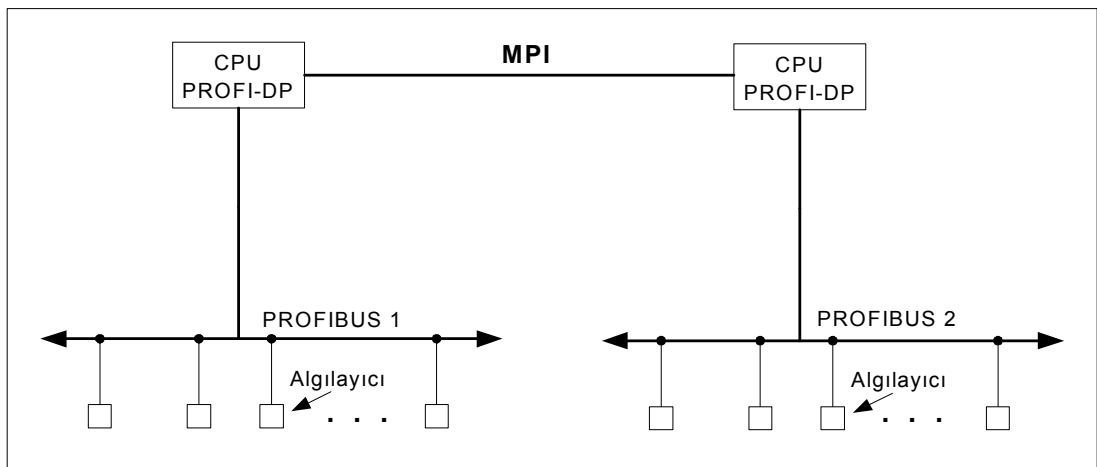


Şekil 3.10. Profibus-DP ağ yapısı [13]

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi ağ bir CPU ile yönetilmektedir, ET200 (Elektronik Terminatör) arabirim modülleri ise slave istasyonları ağa bağlayan birimlerdir. OLM'ler birbirlerine seri bağlanır ve ET200 arabirimlerinden gelen verileri ağa aktarır. Bu bağlantı durumu Lineer ağ yapılarında kullanılmaktadır. Bu yapıda veri iletim hızı ağın uzunluğuna da bağlı olmakla birlikte oldukça yüksektir. Bu bağlantının dezavantajı fiber optik sistemin küçük ağ yapıları için sistemin kuruluş maliyetini artırmasıdır. Ancak yüksek hız ve veri güvenliği gerektiren endüstriyel otomasyon ağlarında fiber optik tercih edilmelidir. Bakır tip kablunun kullanıldığı Lineer ağ yapısında ET200 arabirimleri birbirlerine doğrudan bağlanmakta ve ağ uzunluğu 9 km'ye kadar çıkabilmektedir. Bu ağ yapısının basit olmakla birlikte veri iletim hızının düşük olması ve veri güvenliğinin de zayıf olması dezavantaj olarak görülmektedir.

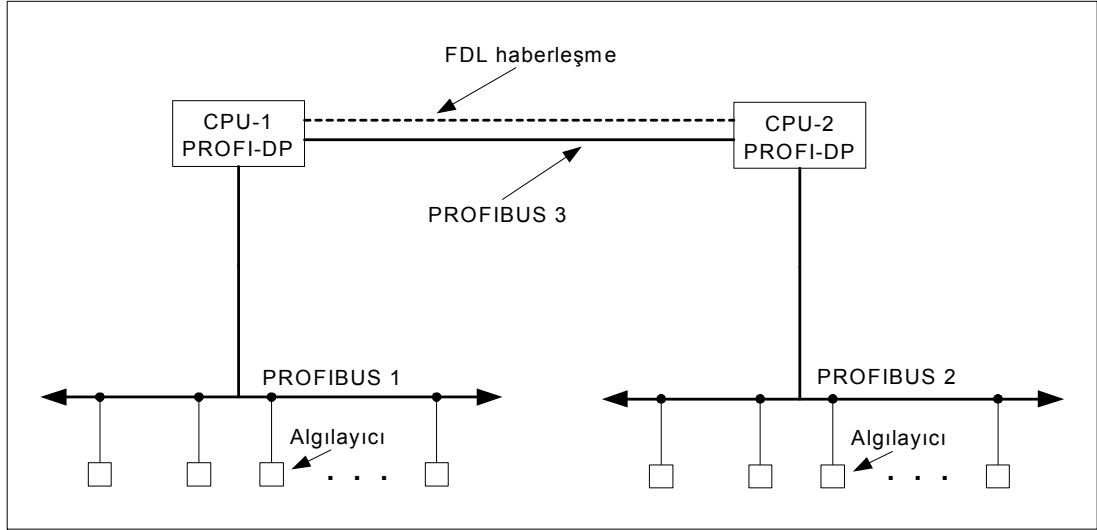
### 3.4.2. Profibus-DP ağlarının birbirleri ile haberleşmeleri

Şekil 3.11'de 2 adet profibus ağının birbirine MPI (Multipoint Interface, Çok Bağlantılı Arayüz) haberleşme hattı ile bağlantısı, Şekil 3.12'de ise FDL (Fieldbus Data Link) ve Profibus kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu bağlantılarda master'ların birbirleri ile haberleştiği yani master-master haberleşmesinin kullanıldığı görülmektedir [76].



Şekil 3.11. MPI haberleşme ağı [54]

MPI haberleşmede veri iletimi hızı 19,2 Kbit/s ile 1,5 Mbit/s aralığında değişmektedir. İki birim arası mesafe 50 m'ye kadar çıkabilmekte, tekrarlayıcı ile ağ uzunluğu 1100 m olup bu mesafe Fiber Optik kablo kullanıldığında 24 km'yi bulmaktadır.



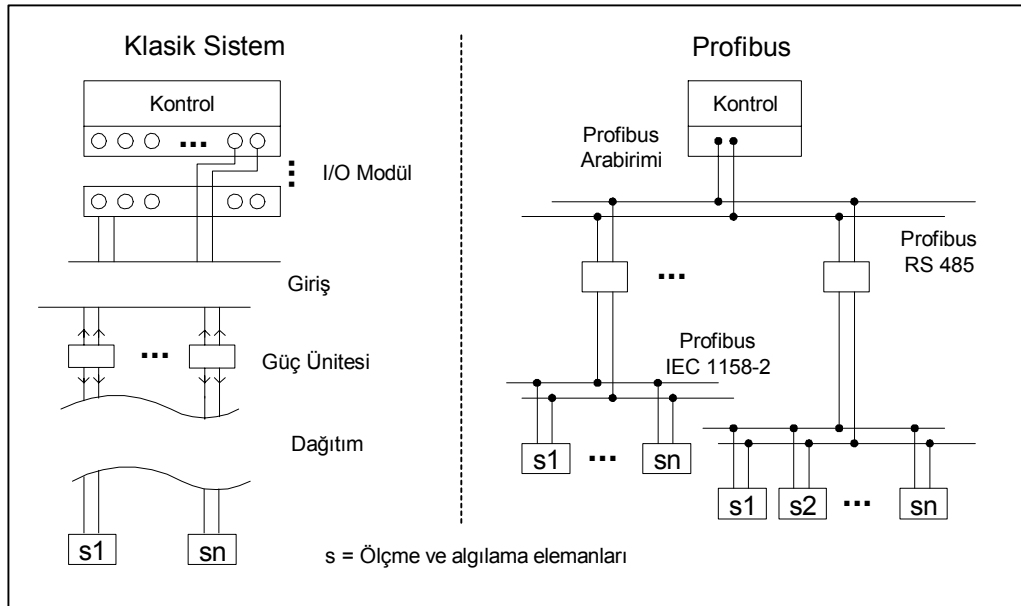
Şekil 3.12. FDL ve Profibus haberleşme ağı [54]

FDL haberleşme ile iki CPU (Central Processing Unit, Merkezi İşlem Birimi) sanal bir bağlantı ile birbirine bağlanır. Fiziksel iletim ortamı olarak Profibus bağlantısı kullanılır, bu bağlantı ethernet ile de gerçekleştirilebilir. FDL haberleşmede CPU'lar birbirleri ile aynı anda haberleşirler, veri alır veya gönderirler.

### 3.4.3. Profibus-DP ve klasik ağ yapılarının karşılaştırılması

Profibus ağ yapısının, projelendirme, kablolama, işletmeye alma ve bakım yönünden klasik sistemlere göre büyük oranda tasarruf ve kolaylık sağladığı görülmektedir (Şekil 3.13). Klasik yapılarda saha elemanlarına veri iletimi ayrı ayrı hatlardan gönderilerek sistem denetimi gerçekleştirilir. Bu durum ağ yapısını daha karmaşık yapar dolayısıyla sistem denetimi zor, ağ yapısındaki donanım ve bakım-onarım maliyeti yüksek, kontrol edilebilirlik düşük olur.

Profibus ağ yapısı olarak klasik sistemden daha basit ve kullanılabilir niteliktedir, öncelikle sahada bulunan algılayıcı ve sürücü devre gibi elemanların veri iletimi ortak bir hat ile gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir elemanı işletmeye almak ya da devre dışı bırakmak kontrol ünitesinden itibaren yeni bir iletim hattı çekilmesi veya hattın devreden çıkartılmasına Profibus yapısında ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu durum sadece kablolamada tasarruf sağlamakla kalmaz aynı zamanda giriş-çıkış modülleri ve arabirim kartları gibi ağın temel parçalarında da tasarruf sağlamaktadır [31].



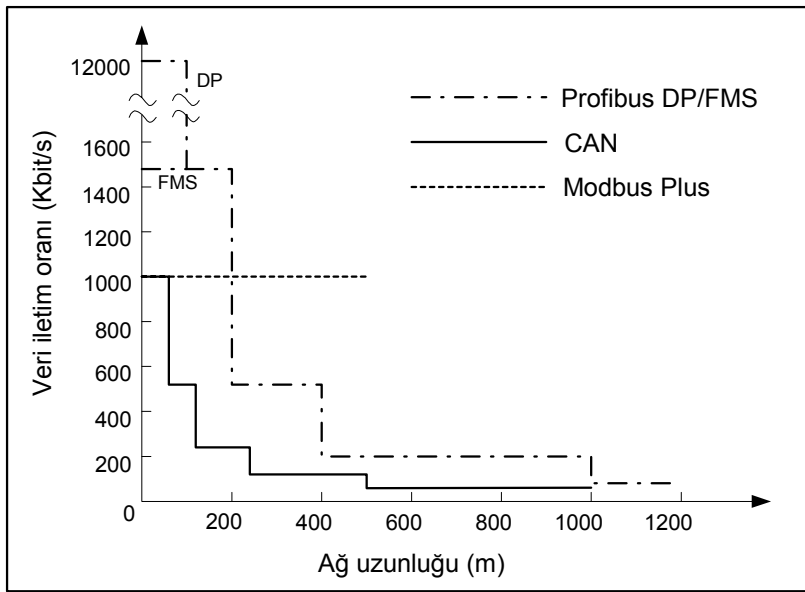
Şekil 3.13. Profibus ve klasik sistem ağ yapılarının karşılaştırılması [31]

Şekil 3.13'te Profibus ağ yapısının segmentlerden oluştuğu ve her segmente bağlı saha elemanlarının ortak veri iletim hattı ile kontrol sistemine bağlandığı görülmektedir. Klasik sistemlerde ise saha elemanlarının her bir kontrol sistemine yada I/O modülüne ayrı ayrı bağlanması iki uç arasında kullanılan arabirimlerin sayısını artırmakta dolayısıyla maliyeti artırmaktadır.

Klasik sistemler ağ yapısı itibariyle yüksek hızlı otomasyonlar için performansı düşüktür. Profibus-DP özellikle kısa mesafelerde klasik

sistemlere göre oldukça hızlı olup kendi kategorisi içindeki protokollere göre de hızı en yüksek olanıdır (100 m'de 12 Mbit/s).

Şekil 3.14'te Profibus'ın (özellikle DP mimarisi) diğer otomasyon protokollerine göre veri iletimi hızında önemli bir avantaja sahip olduğu görülmektedir [55].



Şekil 3.14. Ağ uzunluğuna bağlı olarak veri iletim hızı karşılaştırması [1]

Uluslararası EN 50170 ve EN 50224 standartlarına uygun olarak geliştirilen Profibus otomasyon sistemlerinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Profibus, yüksek hızlı kritik zamanlı uygulamalarda, kompleks ağ sistemlerinde ve farklı cihazların özel bir arabirim kullanmadan birbirleri ile haberleşmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca Profibus üreticiden bağımsız açık saha bus standardı olması nedeniyle kullanım alanı oldukça geniştir. Çünkü üreticiden bağımsızlık, farklı mimari yapı ve çalışma prensibine sahip farklı firmaların ürettiği cihazları aynı ağ yapısı içerisinde kullanma imkanı sağlamaktadır [13, 84, 85].

Profibus, uygulamaya bağılı olarak veri iletiminde RS-485, IEC 1158-2 ve Fiber Optik kullanımına izin vermektedir. Bu veri iletim tekniklerine bağılı olarak çeşitli tiplerde ağ topolojileri oluşturulmaktadır. Endüstriyel otomasyonda amaca uygun bir ağ topolojisi seçerken maliyet, veri iletim hızı, veri iletim tekniği ve güvenilirlik faktörleri dikkate alınmalıdır. Bu faktörler ışığında en uygun seçenek tercih edilmelidir.

Endüstriyel otomasyon ağ protokollerinin, tasarımın esnekliği açısından sahip olduğu teknik özellikler önemlidir. Bu teknik özellikler kurulacak sistemde ağ yapısını doğrudan etkiler. Tasarımda kullanılacak donanımlar bu özellikler ışığında seçilmektedir. Ayrıca sistem için mimari tercihi bu bilgiler doğrultusunda yapılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Bazı otomasyon ağ protokollerinin teknik özellikleri [1]

Protokol Özellik	Profibus-DP	Profibus-FMS	CAN	Modbus Plus
Max. uç	3 master 127 uç	32 master 127 uç	Limitsiz (teorik)	64 uç
Arabirim	RS-485	RS-485	Özel kart	RS-485
Max. Uzunluk (m) (Tekrarlayıcısız)	1200	1200	1000	450
Max. Hız (Mbit/s)	12	1.5	1	1

Profibus ağ yapısı klasik ağ yapılarına göre projelendirme, kablolama, işletmeye alma ve bakım yönünden büyük oranda tasarruf ve kolaylık sağlamaktadır. Endüstride üretimin her alanında klasik elektrik tesisat teknikleri ve geleneksel kumanda teknikleri yerini otomasyona bırakmaktadır. Endüstriyel otomasyonun dışında bina otomasyonunda da geleneksel tasarım ve denetim yöntemleri yerini ağ tabanlı uzaktan denetlenebilen sistemlere bırakmaktadır. Otomasyonun en önemli bileşeni olan ağlar ise gerek işlevsel gerekse maliyet açısından daha gelişmiş ve daha güvenilir

olan Profibus ve benzeri ağ yapıları ile oluşturulmaktadır. Ağ yapılarının tasarıma uygun olarak seçimi, hem sistemin etkinliğini hem de maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Ağ tabanlı sistemler, geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen uygulamalara göre sadece kurulumda değil bakım, onarım ve denetimde de önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

Profibus gerek geleneksel sistemlerle ve gerekse kendi sınıfı protokoller ile karşılaştırıldığında, farklı kullanımlara izin veren ağ topolojileri, performans ve maliyet açısından otomasyon uygulamalarında tercih edilebilir özelliklere sahip olduğu görülmektedir.

#### 4. BULANIK MANTIK

Bazı sistemlerin matematiksel modelinin çıkartılması mümkün olmayabilir. Sistemin değişkenleri matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir veya bu değişkenler zaman içinde değişiklik gösterebilir. Bu gibi durumlarda uzman bilgisine ve tecrübesine dayalı olan sözel kontrol stratejisini otomatik kontrol stratejisine çevirme işlemini yapan bulanık mantık denetleyici (BMD) kullanılmaktadır. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok, biraz az, biraz çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bulanık mantık sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur [28, 29].

Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantık olarak adlandırılır. Bulanık mantık bilinen klasik mantık gibi (0, 1) olmak üzere iki seviyeli değil, [0, 1] aralığında çok seviyeli işlemleri ifade etmektedir. Dilsel olarak tanımlanmış denetim stratejisini uzman tabanlı otomatik denetim algoritmasına çeviren Bulanık Mantık ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurulmuştur. Ancak bu konudaki ilk ciddi adım 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ortaya konulmuştur [86-90]. Son yıllarda ekonomi, yönetim, kontrol sistemleri gibi çok değişik alanlarda başarı ile uygulanmıştır.

Ağ tabanlı sistemlerin denetiminde de geleneksel denetim yöntemleri dışında bulanık mantık denetimi gibi gelişmiş kontrol algoritmasına sahip yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Profibus-DP ağ tabanlı bina otomasyonu ve endüstriyel otomasyon uygulamalarına bulanık denetim algoritmaları uygulanmıştır. Bu sistemler üzerinde aynı zamanda geleneksel denetim algoritmaları da gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1. Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonu

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiç bir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Zadeh, Boolean mantığında binary (0, 1) olarak ifade edilen sayıları genişleterek çok değerli üyelik fonksiyonları şeklinde göstermiştir. Başlangıç değeri (0) üye olmama, son değer (1) ise tam üyelik anlamına gelmektedir, 0 ile 1 arasında sonsuz sayıda üyelik değerleri vardır [86-89].

Bir  $A$  bulanık kümesi  $U$  evrenindeki  $u$  elemanlarından oluşur ( $u \in U$ ) ve  $\mu_A(u)$  üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Burada  $\mu_A(u)$   $[0,1]$  kapalı aralığında herhangi bir gerçektek sayıyı göstermektedir.

$$A \equiv \{(u, \mu_A(u)) \mid u \in U\} \quad (4.1)$$

$\mu_A(u)$ ,  $A$  bulanık kümesindeki  $u$  elemanının üyelik derecesini ifade eder. Üyelik işlevi bir kümenin elemanlarının o kümeye hangi üyelik derecesi ile ait olduğunu gösteren ve  $[0,1]$  arasında değer alabilen bir işlev olduğuna göre;

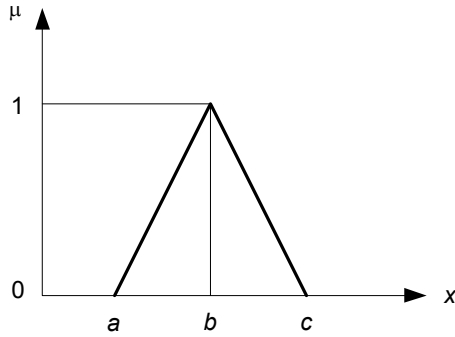
$$\mu_A(u): U \rightarrow [0,1]; \mu_A(u) \in [0,1] \quad (4.2)$$

Burada  $A$  bir bulanık küme,  $U$ ,  $A$  kümesinin üzerinde tanımlandığı evren,  $\mu_A(u)$  ise üyelik işlevidir.

Bulanık mantıkta; üçgen, yamuk, gaussian, sigmoid, çan eğrisi, S-tipi, gamma, L-tip, singletone (tek nokta) ve üssel olmak üzere farklı tiplerdeki üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik işlevleri üçgen, yamuk, çan eğrisi olarak kullanılmaktadır. Denetimi yapılan sistemin özelliğine göre uygun bir üyelik fonksiyonu tercih edilir. Yapısının basit olması ve hesaplamadaki yüksek veriminden dolayı bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonu tercih

edilmiştir (Şekil 4.1). Şekil 4.1'den elde edilen ifadelere göre üyelik dereceleri hesaplanır [27, 91].

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (4.3)$$



Şekil 4.1. Üçgen üyelik fonksiyonu [28]

## 4.2. Bulanık Kümeler Üzerindeki İşlemler

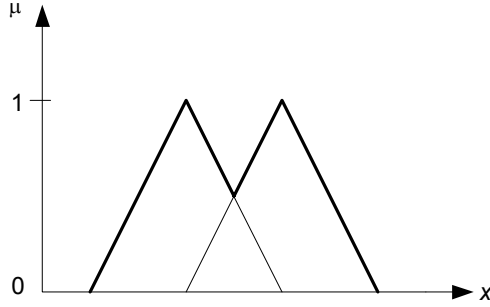
### 4.2.1. Birleşim özelliği

$U$  evrensel kümesi üzerinde tanımlanan  $A$  ve  $B$  kümeleri verilsin,  $A$  ve  $B$  kümelerinin birleşimi  $A \cup B$  olarak gösterilir. Aynı zamanda  $A \cup B$  kümesi  $U$  evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesidir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu biçimindeki matematiksel ifadesi şöyledir;

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad u \in U \quad (4.4)$$

$A \cup B$  kümesinin, herhangi bir  $u \in U$  için elemanlarının üyelik derecesi,  $A$  ve  $B$  kümelerinden üyelik derecesi büyük olana eşittir. Bu tanımlamadan anlaşılacağı gibi  $A$  ve  $B$  kümelerinin her biri  $A \cup B$  kümesinin alt kümesidir.

Şekil 4.2'de  $A$  ve  $B$  olarak tanımlanan iki bulanık kümenin birleşimi görülmektedir.



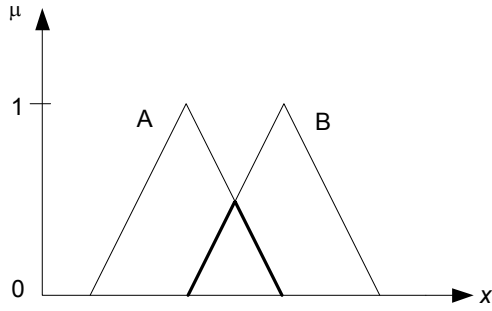
Şekil 4.2. Bulanık kümelerde birleşme işlemi [28]

#### 4.2.2. Kesişim (Intersection) özelliği

$X$  evrensel kümesi üzerinde tanımlanan  $A$  ve  $B$  kümeleri verilsin,  $A$  ve  $B$  kümelerinin kesişimi  $A \cap B$  olarak gösterilir. Aynı zamanda  $A \cap B$  kümesi  $U$  evrensel kümesinin bir bulanık alt kümesidir. Bu kümenin üyelik fonksiyonu biçimindeki matematiksel ifadesi şöyledir;

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(u)\} \quad u \in U \quad (4.5)$$

$A \cap B$  kümesinin, herhangi bir  $u \in U$  için elemanlarının üyelik derecesi,  $A$  ve  $B$  kümelerinden üyelik derecesi küçük olana eşittir. Bu tanımlamadan anlaşılacağı gibi  $A \cap B$  kümesi,  $A$  ve  $B$  kümelerinin her birinin alt kümesidir. Şekil 4.3'te  $A$  ve  $B$  olarak tanımlanan iki bulanık kümenin kesişimi görülmektedir.



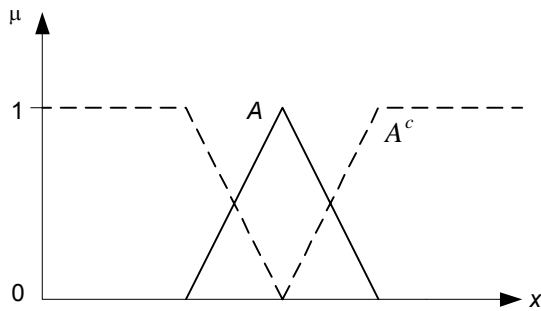
Şekil 4.3. Bulanık kümelerde kesişme işlemi [28]

#### 4.2.3. Tümlleyen (Complement)

$U$  evrensel kümesinde verilen bir  $A$  kümesinin tümluyeninin üyelik fonksiyonun matematiksel ifadesi şöyledir;

$$\mu_{A^c}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (4.6)$$

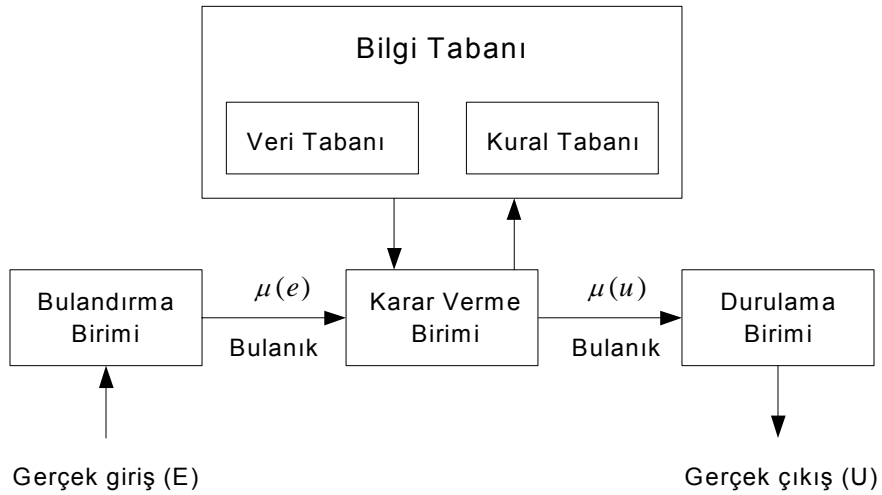
Eğer herhangi bir elemanın  $A$  bulanık kümesindeki üyelik derecesi 0.8 ise tümluyenindeki üyelik derecesi 0.2'dir. Tümlleme işlemi Şekil 4.4'te görülmektedir [28].



Şekil 4.4. Bulanık kümelerde tümlleme işlemi [28]

### 4.3. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler

Temel olarak bir Bulanık Mantık Denetleyici; kural tabanı ve veri tabanını içeren bilgi tabanı, sistemden alınan sayısal değerleri bulanık ifadeye dönüştüren bulanıklaştırma birimi, bulanık mantık denetiminin kurallarını değerlendiren karar verme birimi ve bulanık mantık çıkış ifadesini sayısal değere dönüştürerek sisteme aktaran durulaştırma birimlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.5’de bir bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı görülmektedir [28].



Şekil 4.5. Bulanık mantık denetleyicinin blok diyagramı [28]

Sistem değişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen E giriş değişkeni ve sistemi denetim için bulanık mantık denetleyici tarafından kullanılan U çıkış değişkeni olmak üzere iki çeşittir.

#### 4.3.1. Bulanıklaştırma

Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit

edip, girilen sayısal değere dilsel değişken değerler atar. Normalleştirilmiş hata ve hata değişimi kendi söylev evreninde dilsel değişkenlerle temsil edilen bulanık kümeleri üst üste bindirmek üzere bulanıklaştırılır. Kontrol hareketi de kendi söylev evreninde bulanıklaştırılır. Bulanık kümelerin sayısı, üyelik fonksiyonları ve üst üste bindirme derecesi istenilen doğruluk, sistemin tepkisi, uygulama kolaylığı ve geliştirilebilirlik gibi etkenlere bağlıdır.

#### **4.3.2. Bilgi tabanı**

Bilgi tabanı, veri tabanı (data base) ve kural tabanından (rule base) meydana gelmektedir. Veri tabanı; her bir değişken için evrensel kümenin tanımlanmasını, bulanık kümelerin sayısının belirlenmesini ve üyelik fonksiyonlarının tasarlanmasını içermektedir. Kural tabanı ise kontrol amacını gerçekleştirmek üzere tasarlanmış bulanık kontrol kurallarını içermektedir.

##### Veri tabanı

Veri tabanının oluşturulması her bir değişken için evrensel kümenin tanımlanmasını, bulanık kümelerin sayısının belirlenmesini ve üyelik fonksiyonlarının tasarlanmasını gerektirmektedir. Bulanık kontrol kuralının şart kısmındaki giriş değişkenleri için, giriş evrensel kümesine göre bulanık kümeler tanımlanmak suretiyle bir bulanık giriş aralığı oluşturulurken, kuralın sonuç kısmında bulunan çıkış değişkenleri için de bir bulanık çıkış aralığı oluşturulmaktadır.

##### Kural tabanı

Bulanık bir sistem uzman bilgisine dayanan birçok sözel ifadeler ile tanımlanır ve uzman bilgisi “eğer-o halde” kuralı biçimindedir. İşte bu bulanık kontrol kurallarının tamamı kural tabanını oluşturmaktadır. Denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları burada bulunur ve çıkarım

motoruna buradan verilir. Genellikle, kuralların sayısı giriş değişkenlerindeki bulanık küme sayısının matematiksel çarpımına (product) eşittir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. A ve B girişler, C ise çıkış değişkeni olan bir sistem için;

Eğer  $x = A$  ve  $y = B$  ise o halde  $z = C$

Şeklindeki bir kural A ve B' nin aldığı değerlere göre C çıkışının bulanık değerini belirlemektedir. Burada x, y ve z bulanık değişkenler olup A, B ve C evrensel kümeler X, Y ve Z'nin alt kümeleridir. İfadede ki "eğer" kısmındaki şart karşılanırsa, "o halde" kısmında belirtilen işlev yerine getirilmektedir. Bulanık denetleyicinin en önemli kısmını oluşturan kural tabanının oluşturulması için kullanılabilecek yaklaşımlar;

- Bir uzmanın bilgi ve/veya deneyimlerine dayanır
- Sürecin bir bulanık modelinin kullanılmasına dayanır
- Operatörün süreç üzerinde yaptığı işlemlere dayanır
- Öğrenen algoritmalar kullanır

#### 4.3.3. Karar verme birimi

Karar verme birimi, çıkarım motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetimin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi belirler. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içermeye ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir. Bulanık mantık denetleyicilerde kullanılan çıkarım metotları şunlardır.

- Mamdani (max-min) çıkarım metodu

- Larsen (max-dot) çıkarım metodu
- Tsukamoto çıkarım metodu
- Takagi-Sugeno çıkarım metodu

Bu metotlardan çoğunlukla max-min ve max-dot çıkarım metotları kullanılmaktadır. Çıkarım işleminin temeli aşağıdaki örnekle açıklanabilir; iki tane bulanık kontrol kuralı olsun:

*Kural 1:* eğer  $x = A_1$  ve  $y = B_1$  ise o halde  $z = C_1$

*Kural 2:* eğer  $x = A_2$  ve  $y = B_2$  ise o halde  $z = C_2$

Girişler çoğunlukla algılayıcılar ile ölçülmektedir ve keskin değerlere sahiptir. Bu girişlerin bulanık kümelere dönüştürülmesi gerekmektedir. Sonuç olarak 1. ve 2. kuralın  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  ağırlıkları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (4.7)$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (4.8)$$

Bu eşitlikler çıkarım metotlarında önemli rol oynamaktadır.

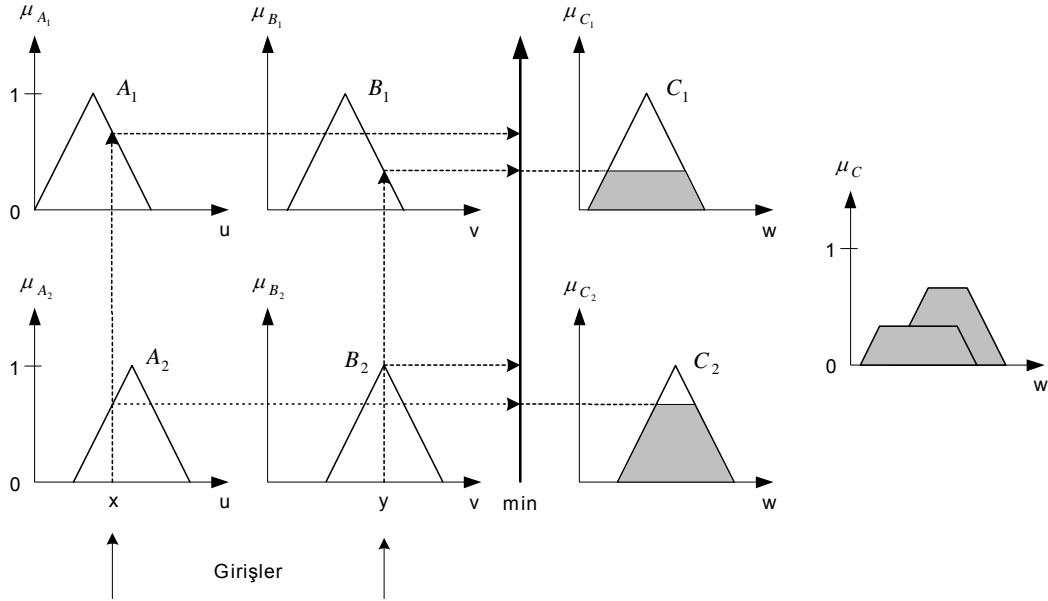
### Max-Min çıkarım metodu

Her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısmı kesilir. Çıkış değeri, elde edilen bu bulanık kümelere genellikle ağırlık ortalaması (ağırlık merkezi) yönteminin uygulanmasıyla bulunur. Max-Min çıkarım metodunun grafiksel gösterimi Şekil 4.6'daki gibidir. Bu metot Mamdani'nin minimum operatörünü kullanmaktadır ve  $i$ 'inci kural kontrol kararını vermektedir [27, 91]. Bu kural çıkarım sonucu  $C$ 'nin üyelik fonksiyonunu  $\mu_C$  ifade etmektedir. Kontrol girişini elde etmek için ayrıca durulaştırma stratejisi gerekmektedir.

$$\mu_{C_i'}(w) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(w) \quad (4.9)$$

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1'}(w) \vee \mu_{C_2'}(w) \quad (4.10)$$

$$\mu_C(w) = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \quad (4.11)$$



Şekil 4.6. Max- Min çıkarım metodu [28]

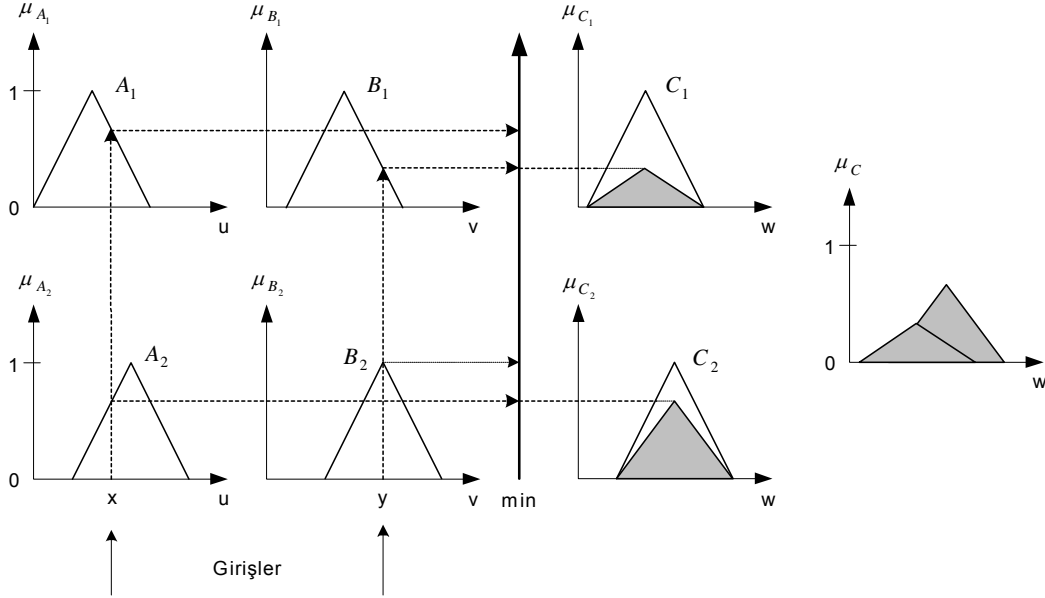
### Max-Dot çıkarım metodu

Her bir giriş değeri, ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümeyi yeniden ölçeklendirir. Çıkış değeri tüm girişler için yeniden ölçeklendirilmiş bulanık kümeler içerisindeki maksimum değer alınarak bulunur. Şekil 4.7'de görülen Max-Dot çıkarım metodu Larsen'in çarpım operatörünü kullanmaktadır [90]. Bu metotta  $i$ 'inci kural kontrol kararını vermektedir.  $C$  sonucunu gösteren üyelik fonksiyonu  $\mu_C$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$\mu_{C_i'}(w) = \alpha_i \cdot \mu_{C_i}(w) \quad (4.12)$$

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1'}(w) \vee \mu_{C_2'}(w) \quad (4.13)$$

$$\mu_C(w) = [\alpha_1 \cdot \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \cdot \mu_{C_2}(w)] \quad (4.14)$$

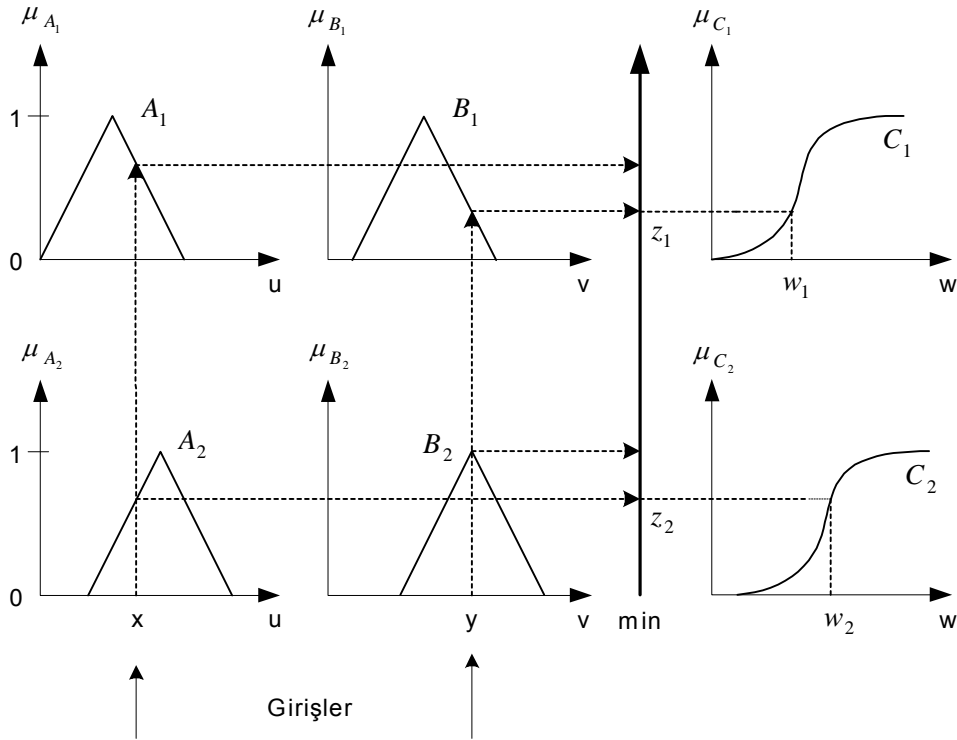


Şekil 4.7. Max-Dot çıkarım metodu [28]

#### Tsukamoto çıkarım metodu

Bu yapıda çıkış üyelik işlevi tek yönlü artan bir işlev olarak seçilir. Çıkış değeri ise her bir kuralın keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunur. Tsukamoto çıkarım metodu Şekil 4.8'de görülmektedir [92]. Bu metot;  $A_i$ ,  $B_i$ , ve  $C_i$  bulanık kümelerin monotonik olduğu Mamdani çıkarım metodu ile aynı yöntemi kullanan basitleştirilmiş bir yöntemdir. Fakat Tsukamoto çıkarımda  $A_i$ , ve  $B_i$  monotonik olmayabilir, ancak  $C_i$  monotonik olmalıdır. Bu çıkarım metodunda I. kuraldan çıkan sonuç  $z_1$ 'dir. Öyle ki  $z_1 = C_1(w_1)$ 'dir. II. kuraldan çıkan sonuç  $z_2$ 'dir. Öyleki  $z_2 = C_2(w_2)$ 'dir.

$$z_0 = \frac{z_1 w_1 + z_2 w_2}{z_1 + z_2} \quad (4.15)$$



Şekil 4.8. Tsukamoto çıkarım metodu [28]

### Takaçi-Sugeno çıkarım metodu

Her bir kuralın çıkışı giriş değerlerinin doğrusal birleşimiyle bulunur. Keskin çıkış değeri ise ağırlık ortalaması alınarak bulunur. Sugeno çıkarım Şekil 4.9'da görülmektedir [93-95]. Sugeno tip çıkarım metodu durum değerlendirme fonksiyonunun değiştirilmiş bir şeklini kullanır. Karar vermenin bu metodunda  $i$ . Bulanık kontrol kuralı aşağıdaki formdadır.

$$R_i: \text{eğer}(x=A_i, \dots, y=B_i) \text{ ise } z=f_i(x, \dots, y)$$

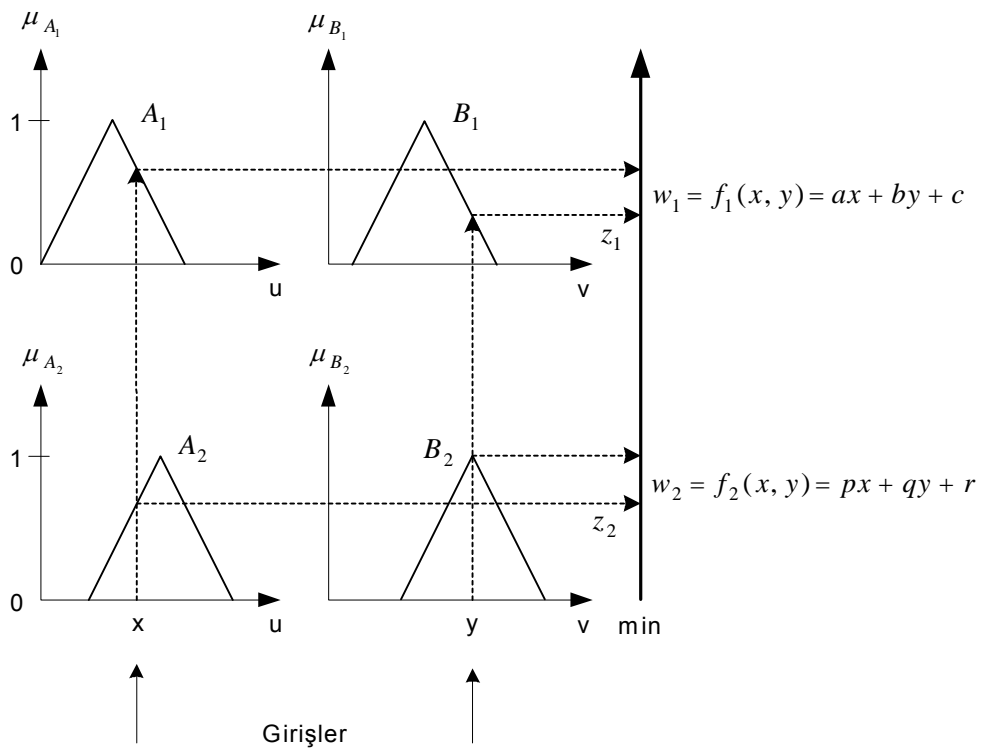
Sırasıyla burada  $x, \dots, y$  giriş değişkenlerini ve  $z$  kontrol çıkış değişkenini gösteren dilsel değişkenlerdir.  $A_i, \dots, B_i$   $U, \dots, V$  evrensel kümesindeki  $x, \dots, y$  dilsel değişkenlerinin değerleridir.  $f_i$  ve  $i=1, 2, \dots, n$  giriş alt uzayında tanımlanan  $x, \dots, y$  giriş değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Çıkış değerini hesaplamak için aşağıdaki gibi iki bulanık mantık kuralı ele alınacak olursa;

$R_1$ : eğer( $x=A_1$  ve  $y=B_1$ ) ise  $w_1=f_1(x, y)$

$R_2$ : eğer( $x=A_2$  ve  $y=B_2$ ) ise  $w_2=f_2(x, \dots, y)$

Kontrol olayının birinci kuraldan çıkarılan sonuç değeri  $\alpha_1 f_1 (x_0 y_0)$  ve kontrol olayının ikinci kuraldan çıkarılan sonuç değeri  $\alpha_2 f_2 (x_0 y_0)$ 'dir. Buna uygun olarak keskin kontrol çıkış ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$z_0 = \frac{z_1 f_1(x_0 y_0) + z_2 f_2(x_0 y_0)}{z_1 + z_2} \quad (4.16)$$



Şekil 4.9. Sugeno çıkarım metodu

#### 4.4. Durulaştırma

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu

işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar.

Durulama işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Önce her kural için üyelik derecelerinden oluşan değer ve sonuç kural tespit edilir. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek durulama yapılır. En çok kullanılan durulama yöntemleri şunlardır [30, 96-98].

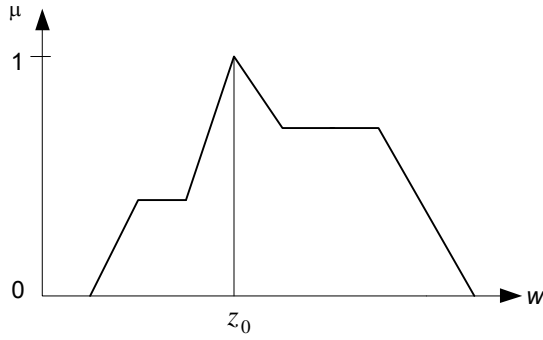
- En Büyük (Maksimum) üyelik (Maximum defuzzifier) yöntemi
- Ağırlık merkezi yöntemi
- Ağırlık ortalaması yöntemi
- Maksimumların ortalaması (Mean-Max) üyelik yöntemi
- Toplamların merkezi
- En büyük alanın merkezi
- En büyük ilk veya son üyelik derecesi

#### 4.4.1. En büyük (maksimum) üyelik yöntemi

Yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için tepeleri olan tepe noktaları olan çıkarım bulanık kümelerine ihtiyaç vardır [30]. Bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşittir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [99-101].

$$\mu_z(z_0) \geq \mu_z(w) \quad w \in Z \quad (4.17)$$

$z_0$  çıkış değerinin elde edilişi Şekil 4.10'da görülmektedir.



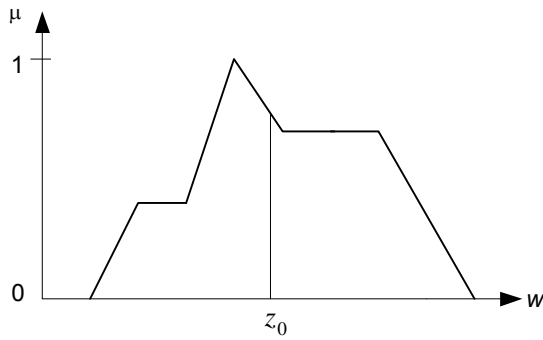
Şekil 4.10. Maksimum üyelik yöntemi [99]

Burada z çıkış üyelik işlevlerinin birleşimini, w üyelik değerlerini ifade eder.

#### 4.4.2. Ağırlık merkezi yöntemi

Ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemlerinden biridir. Eş. 4.18 ile ifade edilen ağırlık merkezi yönteminde  $z_0$  değerinin elde edilişi Şekil 4.11'de görülmektedir [102-104].

$$z_0 = \frac{\int \mu_z(w).wdw}{\int \mu_z(w)dw} \quad (4.18)$$



Şekil 4.11. Ağırlık merkezi yöntemi [99]

#### 4.4.3. Ağırlık ortalaması yöntemi

Simetrik üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı uygulamalarda bu yöntem tercih edilmektedir (Şekil 4.12). Bu yöntemde çıkış üyelik fonksiyonları sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlık ortalamaları bulunur [30].

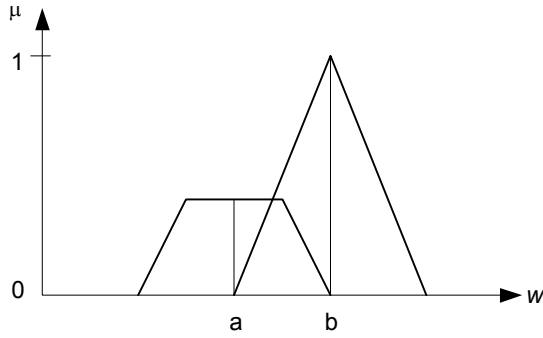
$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j) w_j}{\sum_{j=1}^n \mu_z(w_j)} \quad (4.19)$$

Burada;

$w_j$	= Üyelik fonksiyonu
$\mu_z(w_j)$	= Üyelik fonksiyonunun değeri
$z_0$	= Çıkış değeri
$\Sigma$	= Cebirsel toplam

olarak ifade edilmiştir.

Bu yöntem de girişlerden elde edilen bütün bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulama yapılmaktadır ve  $z_0$  değerinin elde edilişi Şekil 4.12'de görülmektedir [105, 106]



Şekil 4.12 Ağırlık ortalaması yöntemi [100]

#### 4.4.4. En büyüklerin ortalaması (Mean-Max) üyelik yöntemi

Eğer birden fazla maksimumlara ulaşan nokta varsa bu durumda bunların ortalaması keskin çıkış olarak alınır. Örneğin  $l$  tane maksimuma ulaşan  $w_j$  noktası varsa Eş 4.20 ile keskin çıkış hesaplanır [27, 107].

$$z_0 = \sum_{j=1}^l (w_j / l) \quad (4.20)$$

Burada;

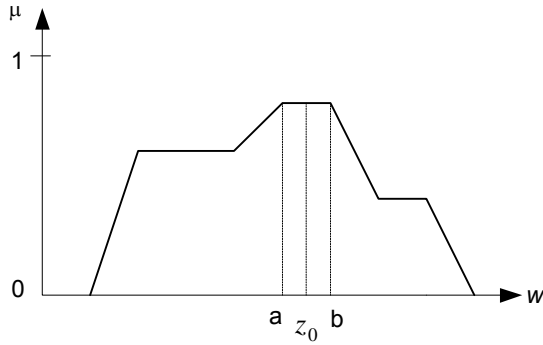
$w_j$  = maksimuma ulaşan üyelik fonksiyonlarının ulaştığı değer,

$l$  = maksimuma ulaşan değer sayısı,

$z_0$  = çıkış değeridir.

Bu işlev maksimum üyelik derecesi tek bir nokta olmayıp, düz olabilen sistemler içinde kullanılabilir. Şekil 4.13'te bu durum görülmektedir,

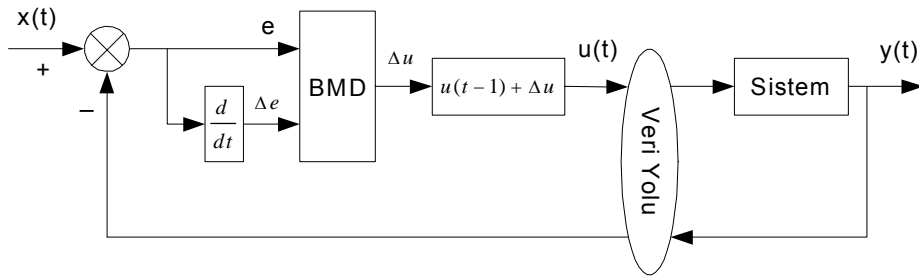
burada çıkış değeri  $z_0 = \frac{a+b}{2}$  şeklinde hesaplanarak elde edilir.



Şekil 4.13. En büyüklerin ortalaması üyelik yöntemi [29]

#### 4.4. Bulanık Mantık Denetimi Tasarımı

Profibus-DP tabanlı bir sistem için tasarlanan bulanık mantık denetiminde yedişer kümeli üçgen üyelik fonksiyonu girişler için kullanılmış ve Mandani'nin Min-Max çıkarım metodu ile çıkış değeri elde edilmiştir. Durulaştırma işlemi ise Ağırlık merkezi metodu ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14'te sistemin BMD blok şeması görülmektedir.



Şekil 4.14. BMD blok şeması [32]

Bir bulanık mantık kontrollü çok giriş-tek çıkışlı bir sistemde bir klasik PI denetleyici ile değiştirilmek üzere tasarlandığında, bulanık mantık kontrolörünün giriş değişkenleri durum hatası ( $e$ ) ve hatadaki değişim ( $\Delta e$ ) olmaktadır. Bulanık mantık denetleyicisinin çıkış değişkeni ise kontrol sinyali ( $\Delta u$ ) olmaktadır [108].

Bulanık denetleyicinin girişleri Eş. 4.21 ve Eş. 4.22'de gösterilmiştir.

$$e = t_{\text{ref}} - t \quad (4.21)$$

$$\Delta e = e_1 - e_2 \quad (4.22)$$

Burada,  $t$  zaman değeri,  $t_{\text{ref}}$  referans zaman değeri,  $e_1$  sistemin  $t_1$  anındaki zaman hatası,  $e_2$  ise sistemin  $t_2$  anındaki zaman hatasıdır. Bulanık denetleyicinin giriş ve çıkışları sözel seviye ile ifade edilmelidir. Tasarımda esneklik sağlayabilmek ve denetleyiciyi ayarlayabilmek için değişkenler birim değer ( $pu$ ) olarak kullanılmış ve bu durum;

$$e(pu) = e / K_e$$

$$\Delta e(pu) = \Delta e / K_{\Delta e}$$

$$\Delta u(pu) = \Delta u / K_{\Delta u}$$

olarak ifade edilmiştir.

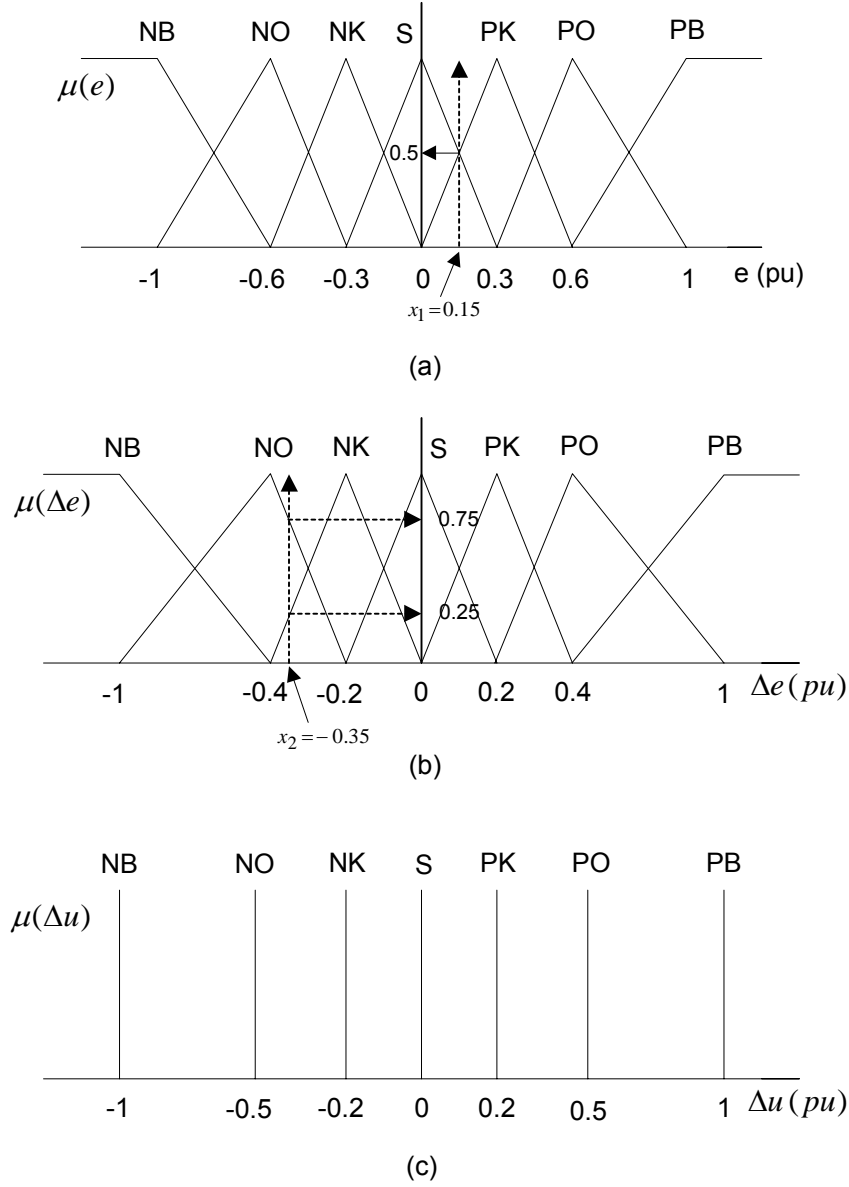
Burada  $K_e$ ,  $K_{\Delta e}$  ve  $K_{\Delta u}$  ifadeleri denetleyicinin kazanç katsayılarıdır.

Sistemin BMD ile kontrolünde aşağıdaki işlemler sırasıyla gerçekleştirilir.

1. Sistemin iletim zamanı örneklenir.
2. İletim zamanı hatası ve hata değişimi örneklenir.
3. Bu iki girişe bağlı olarak kontrol çıkışındaki değişim ( $\Delta u$ ) elde edilir.
4. Ağırlık ortalaması metodu kullanılarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilir.
5. Kontrol sinyali  $u(t)$  hesaplanır ve veri yoluna aktarılır.

Girişler ve çıkış için belirlenen üyelik fonksiyonları Şekil 4.15'de verilmiştir. Yapısının basit olması ve hesaplamalardaki yüksek veriminden dolayı üçgen

üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Girişler için yedişer kümelik üçgen üyelik fonksiyonu çıkış için ise yedi adet sabit değerli üyelik fonksiyonu seçilmiştir.



Şekil 4.15. Girişlerin ve çıkışın üyelik fonksiyonları a) Zaman hatası ( $e$ )  
b) Zaman hatasındaki değişim ( $\Delta e$ ) c) Kontrol girişi ( $\Delta u$ ) [54]

Sitem için tasarlanan üyelik fonksiyonları da kullanılarak olabilecek bütün ihtimaller dikkate alınarak kural tablosu Çizelge 4.1'deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Bulanık mantık kural tablosu [54]

	e	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
$\Delta e$								
NB		NB	NB	NB	NB	NO	NK	S
NO		NB	NB	NB	NO	NK	S	PK
NK		NB	NB	NO	NK	S	PK	PO
S		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
PK		NO	NK	S	PK	PO	PB	PB
PO		NK	S	PK	PO	PB	PB	PB
PB		S	PK	PO	PB	PB	PB	PB

Çizelge 4.1'de kullanılan semboller aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

NB= Negatif Büyük                      PB= Pozitif Büyük  
 NO= Negatif Orta                      PO= Pozitif Orta  
 NK= Negatif Küçük                      PK= Pozitif Küçük  
 S= Sıfır

Burada sistemin giriş değerleri Şekil 4.15 ve Çizelge 4.1 kullanılarak bir çıkarım sonucu elde edilmektedir, elde edilen bu değer Ağırlık merkezi durulama yöntemi ile durulaştırılarak çıkış değeri bulunmaktadır. Bu durum şu şekilde gerçekleştirilmektedir.

$x_1 = 0.15$  ve  $x_2 = -0.35$  giriş değerleri elde edilmiş olsun, bu durumda;

- Şekil 4.15(a)'da  $x_1$  değeri yerine konursa  $x_1$ 'in hem Sıfır (S) hem de Pozitif Küçük (PK) eğrilerini kestiği görülür.

- Şekil 4.15(b)'de  $x_2$  değeri yerine konursa  $x_2$ 'nin hem Negatif Küçük (NK) hem de Negatif Orta (NO) eğrilerini kestiği görülür.

Belirlenen bu iki durum ele alındığında dört adet koşul karşımıza çıkar.

*Koşul 1:* Eğer  $x_1 = S$  ve  $x_2 = NK$  ise

$$y_1 = NK$$

$$\text{ve min } (\mu_{x_1} = 0.5 \text{ ve } \mu_{x_2} = 0.25)$$

$$\text{O halde } \mu_1 y_1 = NK (0.25)$$

*Koşul 2:* Eğer  $x_1 = S$  ve  $x_2 = NO$  ise

$$y_2 = NO$$

$$\text{ve min } (\mu_{x_1} = 0.5 \text{ ve } \mu_{x_2} = 0.75)$$

$$\text{O halde } \mu_2 y_2 = NO (0.5)$$

*Koşul 3:* Eğer  $x_1 = PK$  ve  $x_2 = NK$  ise

$$y_3 = S$$

$$\text{ve min } (\mu_{x_1} = 0.5 \text{ ve } \mu_{x_2} = 0.25)$$

$$\text{O halde } \mu_3 y_3 = S (0.25)$$

*Koşul 4:* Eğer  $x_1 = PK$  ve  $x_2 = NO$  ise

$$y_4 = NK$$

$$\text{ve min } (\mu_{x_1} = 0.5 \text{ ve } \mu_{x_2} = 0.75)$$

$$\text{O halde } \mu_4 y_4 = NK (0.5)$$

Bu koşullarda kullanılan  $\mu_{x_1}$  ve  $\mu_{x_2}$  değerleri  $x_1$  ve  $x_2$  giriş değerlerine karşılık ifadeler olup Şekil 4.15(a) ve Şekil 4.15(b)'den elde edilmişlerdir. Çıkarım metodu olarak Max-Min çıkarım metodu kullanılmıştır ve bu metod Mamdani'nin min operatörünü kullanmaktadır dolayısıyla  $\mu_{x_1}$  ve  $\mu_{x_2}$  değerlerinden min yani küçük olan değer alınarak durulama işleminde kullanılacak değerler elde edilir.

Elde edilen  $\mu_1 y_1$ ,  $\mu_2 y_2$ ,  $\mu_3 y_3$  ve  $\mu_4 y_4$  değerleri için çıkış üyelik fonksiyonu (Şekil 4.15(c)) kullanılarak durulama işlemi gerçekleştirilecektir. Bu durulama işleminde, Ağırlık ortalaması durulama yöntemi kullanılmıştır.

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_j y_j}{\sum_{j=1}^n \mu_j} = \frac{\mu_1 y_1 + \mu_2 y_2 + \mu_3 y_3 + \mu_4 y_4}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4} \text{ eşitliğinde değerler yerine konursa,}$$

$$y = \frac{(-0,2)(0,25) + (-0,5)(0,5) + (0)(0,25) + (-0,2)(0,5)}{0,25 + 0,5 + 0,25 + 0,5}$$

$y = -0,26$  değeri elde edilir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir konu da elde edilen değer  $pu$  (per unit) cinsinden olduğudur. Sistem giriş değerleri ilgili kazanç katsayıları kullanılarak  $pu$  değer sistemine dönüştürülmüştür.

## 5. UYGULAMA

Bu çalışmada, Profibus-DP ağ omurgası kullanılarak endüstriyel ve bina otomasyonuna yönelik, gerçek zamanlı ve hızlı veri haberleşmesi sağlayan bir ağ kontrol sistemi tasarlanmıştır. Bu amaca uygun olarak çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar, geleneksel yöntemlerin yanı sıra, sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymayan bulanık mantık denetimi ile denetlenmiştir [109].

Profibus-DP ağ omurgalı tasarım klasik sistemlere göre düşük maliyet ve yüksek kontrol edilebilirlik gibi üstünlükler sağladığı gibi Bulanık Mantık Denetimi uygulaması ile de sistemin etkinliği dolayısıyla performansı artırılmıştır. Sistemde ağ gecikmesinden kaynaklanan kararsız çalışma ve etkileri BMD ile azaltılmıştır.

Profibus-DP ağ yapısı tasarıma esneklik kazandırmakla birlikte aynı zamanda kablolama maliyetini de klasik sistemlere göre düşürdüğü görülmektedir.

PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) cihazları endüstride oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu durum PLC'lerin uyumlu olduğu Profibus otomasyon protokolünün tercihinde önemli bir faktördür.

Bina otomasyonu, endüstriyel otomasyonda yer alan üretim bantları gibi kritik zamanlı uygulamalara göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Böylece ağ gecikmesinin bina otomasyonunda performansa olumsuz etkisi en düşük seviyede gerçekleşmektedir. Endüstriyel otomasyonda gerçekleştirilen proseslerin ağ gecikmesinden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ancak proses gerçekleşme süresindeki esnekliğin her proses için farklı olacağı unutulmamalıdır. Bu durum sistemin modelinin oluşturulmasını zorlaştıran bir etkendir.

Bina aydınlatma denetimi, güç denetimi, bina güvenlik denetimi ve özel amaçlı sistemlerin denetimi gibi ağ tabanlı otomasyon uygulamalarında sistemin tepki zamanı, ağ kaynaklı gecikmenin etkisi ile daha uzun olacaktır. Ancak, özellikle aydınlatma denetiminde, aydınlık seviyesinde ani değişimlerin göz sağlığı açısından zararlı olması ağ kaynaklı sistem tepki zamanı gecikmesini sistem denetimi için sorun olmaktan çıkarmaktadır.

Çalışmada, SIMATIC Manager yazılımı kullanılarak Profibus-DP tabanlı endüstriyel ve bina otomasyonu uygulamalarına yönelik otomasyon ağı tasarlanmıştır. SIMATIC Step 7 V5.3 yazılımı ve sunduğu programlama seçenekleri kullanılarak gerçekleştirilecek uygulamalara ait çalışma durumları yazılmıştır. Her bir uygulama ayrı ayrı ele alınarak programı yazılmıştır. Sistemlerin bulanık mantık denetimi için FuzzyControl++ V5.0 yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle bulanık mantık denetimin uygulanacağı sistem uzman tecrübesi kullanılarak ayrıntıları ile incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda ilgili sistem için giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Uzman tecrübesi ışığında denetlenecek sistemlerin kural tabloları elde edilmiştir.

### **5.1. Sistemin Genel Özellikleri**

Tasarlanan sistemin deney seti farklı uygulamalara imkan vermektedir. Farklı CPU, donanım ve denetim yöntemlerinin kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada, Bina otomasyonu kapsamında aydınlatma denetimi ve akıllı bina tasarımları, asenkron motor hız denetimi, DA servo motor hız ve konum denetimi gibi farklı tasarımlar kullanılmıştır. Çalışmada farklı tasarımların kullanılması Profibus-DP tabanlı ağ performansının objektif olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Çalışmada denetlenecek birden fazla sistemin ele alınmasının yanı sıra ağ kurulumunda da farklı donanımlar ve

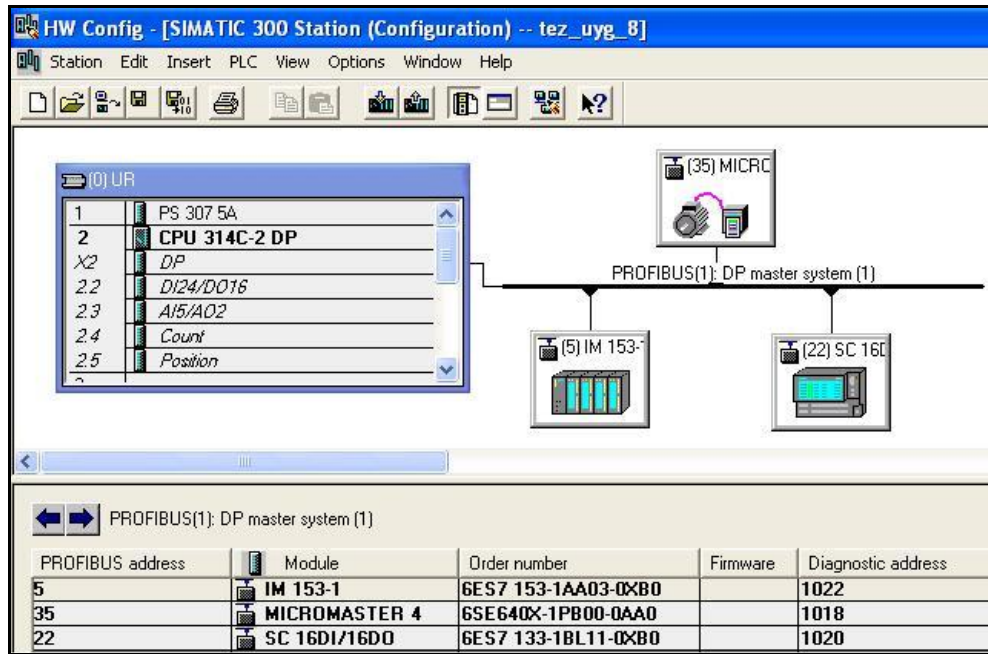
işlemciler kullanılmıştır. Tasarlanan sistemin genel görünüşü Resim 5.1'de verilmiştir. Resim 5.1'de, 3 Fazlı besleme ünitesi (Sistemde kullanılacak donanımların beslemesi için), 24 V DC Güç kaynağı (Profibus-DP ağına bağlı modüllerin besleme ünitesi), CPU 314C-2 DP işlemcisi (sistemi yöneten, ilgili programın kayıt edildiği hafıza kartının bulunduğu ünite), Analog Input/Output (Giriş/Çıkış) modülleri, Dijital (sayısal) Giriş/Çıkış modülleri, ET 200 M, ET 200 L-SC, Micromaster 440 modülleri, 3 Fazlı AA motoru, Konum algılayıcısı, Motor yükleme ünitesi, Tako generatör ve yazılımın gerçekleştirildiği Bilgisayar görülmektedir. Bu donanımlar Profibus-DP ağına, bağlanmıştır.



Resim 5.1. Tasarlanan sistemin genel görünüşü [54]

## 5.2. Profibus-DP Ağ Yapısının Kurulması

Tasarlanan sistemde öncelikle SIMATIC Manager programı kullanılarak Profibus-DP tabanlı ağ yapısı oluşturulmuştur (Şekil 5.1). Farklı uygulamalar için Profibus-DP ağ yapısının kurulma işlemi benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Uygulamaya bağlı olarak kullanılacak donanımlardaki farklılık, her birinin ayrı ayrı tanımlanarak adreslendirilme yapılması nedeni ile sistem yapısını değiştirmez.



Şekil 5.1. Profibus-DP ağ yapısı

Tasarımda, CPU 314C-2 DP işlemcisi sistemi yönetmektedir. Profibus-DP ağına, ET 200 M, ET 200 L-SC, Micromaster 440 modülleri bağlanmıştır. Bu modüller aracılığı ile analog ve sayısal veri alışverişi yapılarak farklı sistemlerin denetimi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen uygulamalardan birisi de 3 Fazlı Asenkron motorun uzaktan denetimidir. Bu uygulamada motorun ağ bağlantısı Micromaster 440 ile gerçekleştirilmiştir.

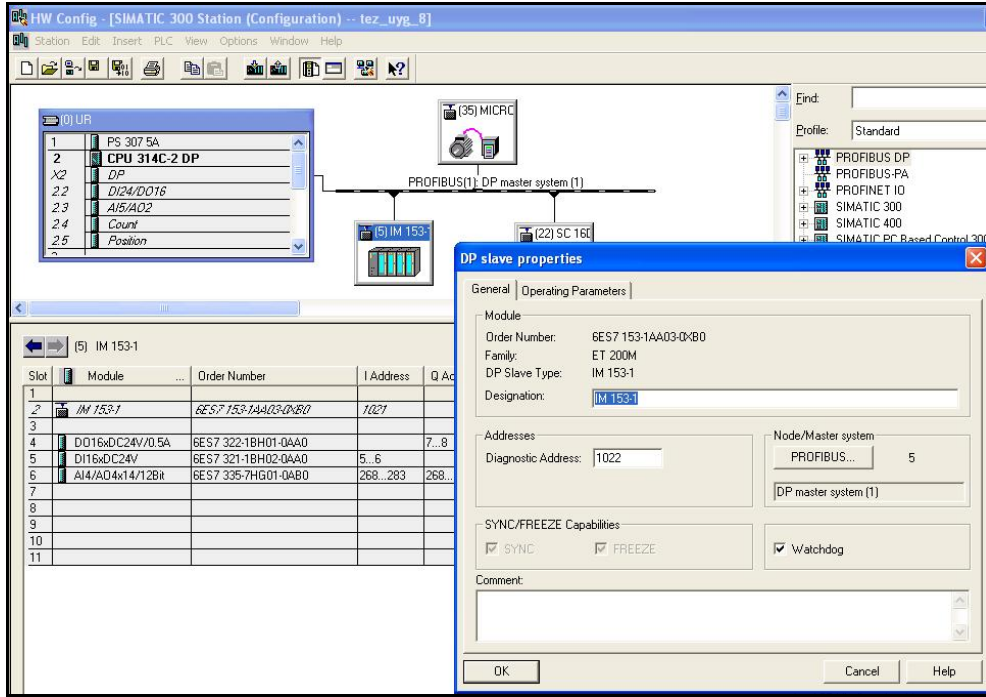
### 5.2.1. Donanımları adreslendirme

Profibus-DP ağında bulunan her donanımın ayrı bir ağ adresi vardır. Bu adres altında analog veya sayısal veri giriş-çıkışı yapılan her pinin ayrı adresleri bulunmaktadır (Şekil 5.2). Böylece modüllere bağlanan her bir donanım adreslendirilmiş olunur.

Slot	Module	Order Number	I Address	Q Address
Modül adresi				
← → (22) SC 16DI/16DO				
1				
2	SC 16DI/16DO	6ES7 133-1BL11-0XB0	1019	
3				
4	DO8	DO8	6ES7 133-1BL11-0XB0	70
5	DO8	DO8		11
6	DIB	DIB	8	
7	DIB	DIB	9	
8	SC Interface Module			
← → (5) IM 153-1				
I/O Adresleri				
1				
2	IM 153-1	6ES7 153-1AA03-0XB0	1021	
3				
4	DO16xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0		7...8
5	DI16xDC24V	6ES7 321-1BH02-0AA0	5...6	
6	AI4/AO4x14/12Bit	6ES7 335-7HG01-0AB0	268...283	268...275

Şekil 5.2. Modüllerin adreslendirilmesi

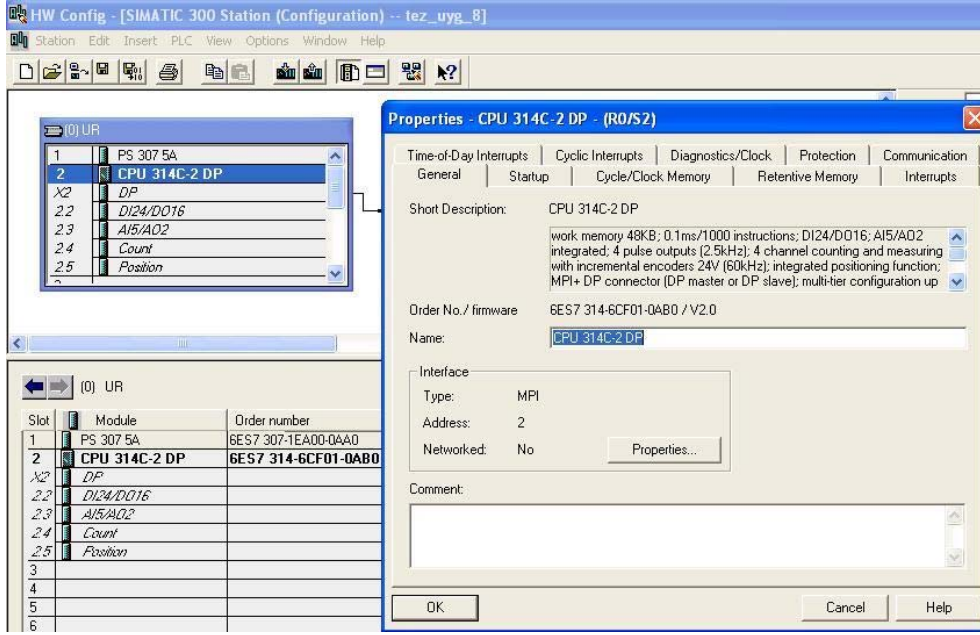
Şekil 5.3'te ağa bağlı bir slave ünite olan ET 200M, IM-153 modüllerinin sahip oldukları adres ve diğer özellikleri gösteren pencere görülmektedir. Burada, modülün Profibus adresinin "5" olduğu ve "DP master system (1)" ağına bağlı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3. Slave ünitelerin ağ üzerindeki bilgileri

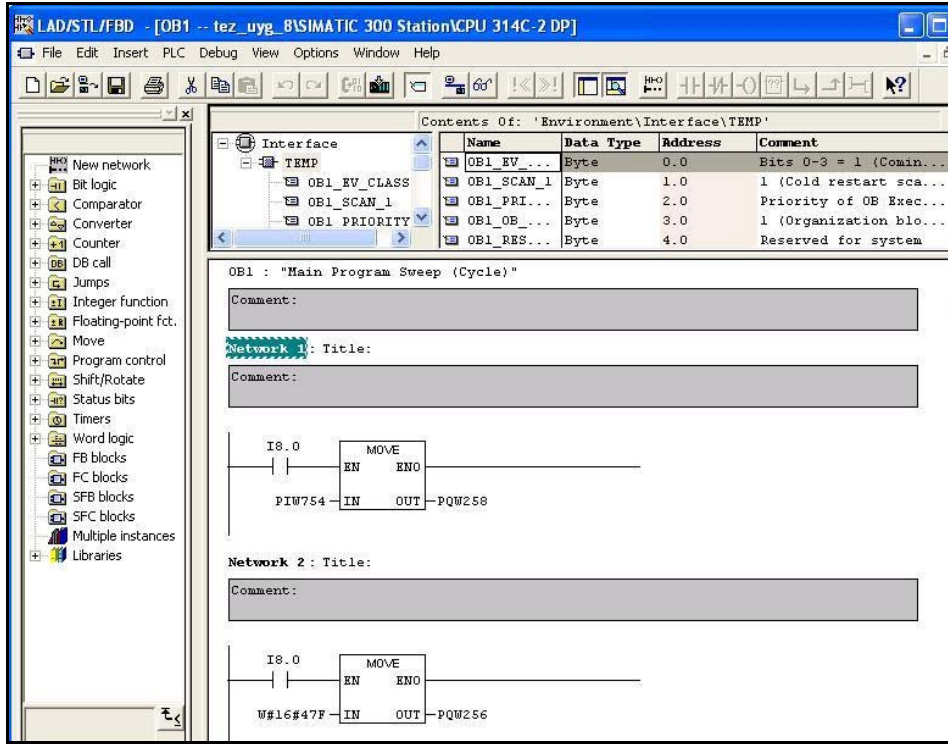
## 5.2.2. Programlama

Profibus-DP ağının kurulumu, yani donanımların elektriksel bağlantılarının yapılması ve adreslendirilerek ağa tanıtılması aşamasından sonra çalışacak sisteme göre programlama yapılması gerekmektedir. Her bir çalışma için ayrı ayrı yazılan program PC'den MPI veya Profibus haberleşme kullanılarak sistemi yöneten CPU içine kaydedilir. Çalıştırılacak olan sistem dolayısı ile program değiştiğinde CPU hafızasındaki program silinir ve yeni program yüklenir, bu işlemler PC üzerinden gerçekleştirilir. Tasarımda kullanılan CPU'lardan biri olan "CPU 314C-2 DP" teknik özellikleri ve ağ bağlantısı Şekil 5.4'te görülmektedir.

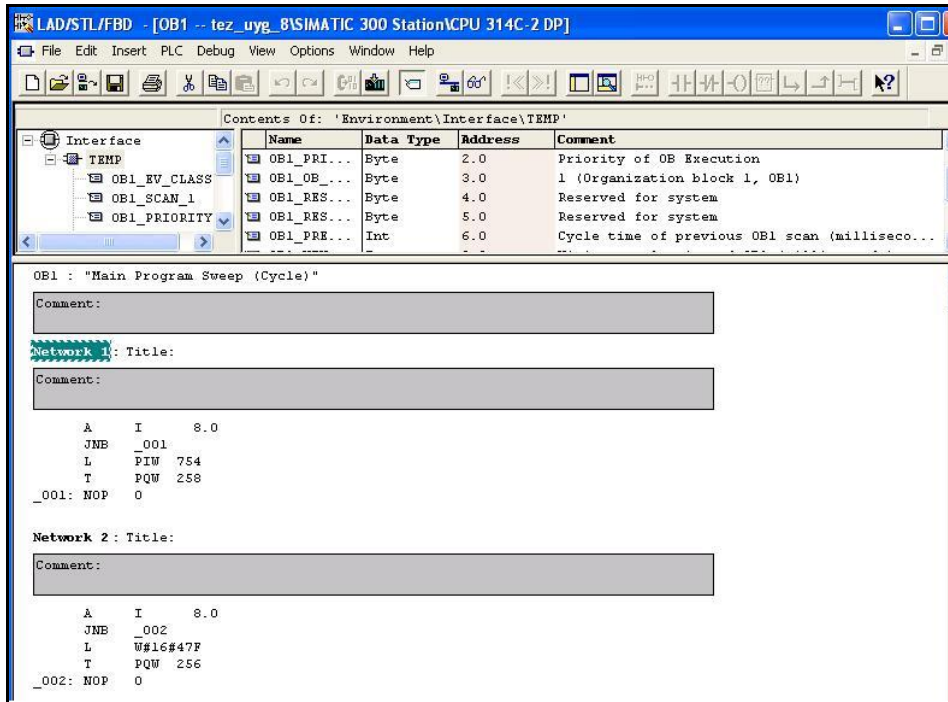


Şekil 5.4. CPU 314C-2 DP özellikleri

Sistemlerin programlanmasında SIMATIC Step 7 V5.3 yazılımı kullanılmıştır. Şekil 5.5’de örnek bir programdan LAD (Ladder Diagram, ortamından bir kesit sunulmuştur. Burada sistemin istenilen denetiminin sağlanması için gerekli olan yazılım programlama blokları kullanılarak oluşturulmuştur. Programlama bloklarında kullanılan tanımlamaların, ağ kurulumu sırasında yapılan donanım tanımlamaları dikkate alınarak elde edilen adresleri kullandığı ve bu şekilde donanımların yazılım içinde yer aldığı görülmektedir. Sunulan örnek programın Şekil 5.6’da STL formatında görüntüsünden bir kesit görülmektedir.



Şekil 5.5. Örnek program LAD görüntüsü



Şekil 5.6. Örnek program STL görüntüsü

### 5.3. Profibus-DP Tabanlı Bina Otomasyonu Tasarımı

Otomasyon; fiziksel yapıyı oluşturan konstrüksiyon içinde çeşitli enstrumanların, merkezi bir birim tarafından kontrol ve organize edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu tanımlamadan bakıldığında, farklı amaç ve görevlere yönelik çalışan enstrumantasyon sistemlerinin kendi görevlerini bağımsız (otomatik) olarak yapmakla birlikte merkezi sisteme ağ ile bağlı oldukları görülmektedir.

Günümüzde sanayideki üretimden bina işletim sistemlerine kadar her alanda otomasyona geçilmektedir. Bina otomasyonu; güvenlik sistemleri, güç, donanım ve diğer özel amaçlı sistemlerin tamamının merkezi denetimini ifade etmektedir. Bu amaca yönelik çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Klasik ağ yapıları ve denetleyiciler ile bina otomasyonunu gerçekleştirmek mümkün olabildiği gibi, performans ve güvenilirlik açısından daha üstün olan Profibus, CAN (Controller Area Network, Denetleyici Alan Ağı) ve Modbus gibi modern ağ yapıları ve protokolleri de kullanılmaktadır [1].

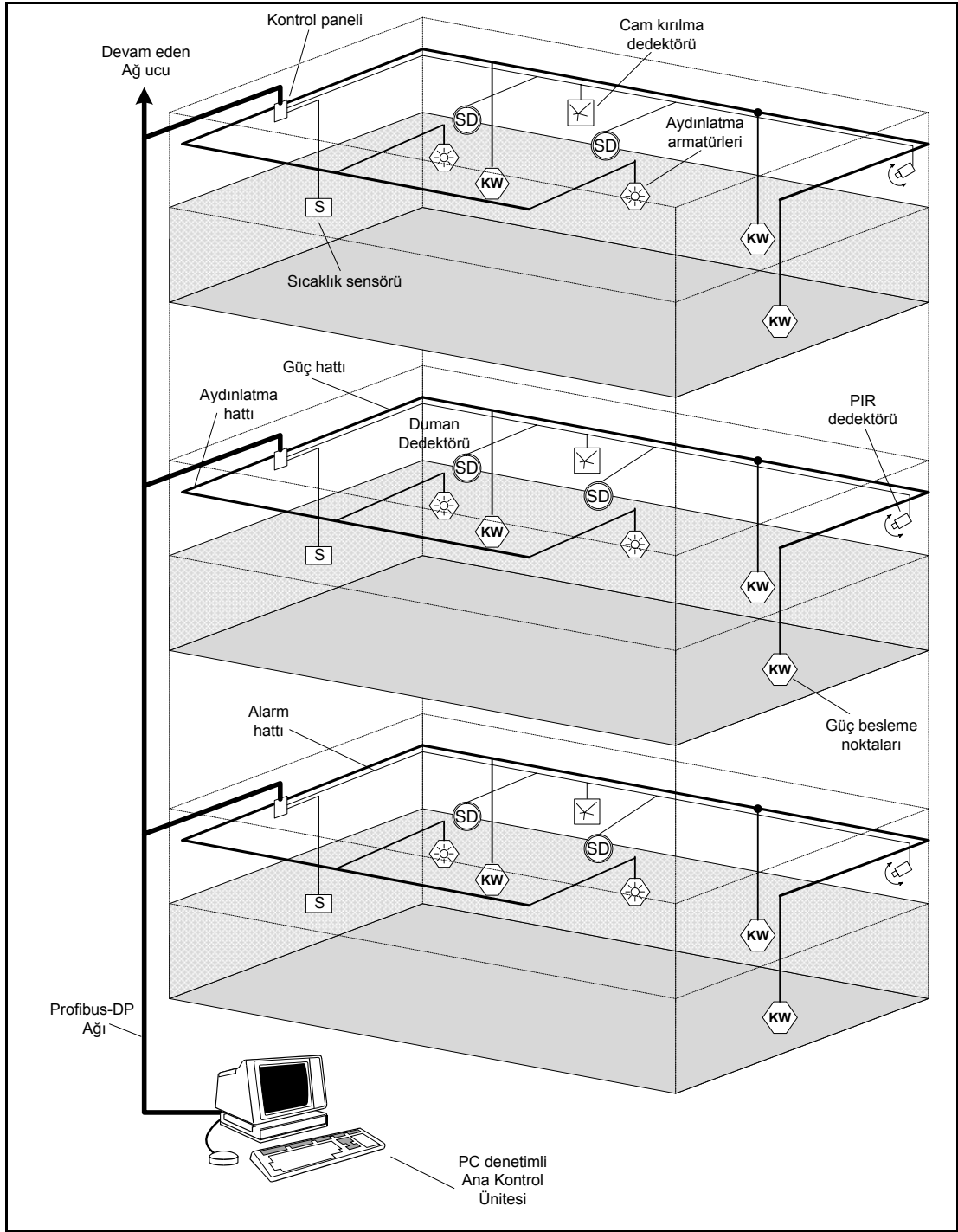
Binalarda gelişmiş mikroişlemcili donanımların kullanılmasıyla akıllı binalar geliştirilmiştir [3, 4]. Akıllı binaların oluşturulmasında kullanılan önemli bir gelişme de ağ protokollerinin bina içi donanımlar arasındaki haberleşmede kullanılması olmuştur [6].

Bu tasarımda, Profibus-DP ağı kullanılarak bir Bina Otomasyonu tasarlanmıştır. Tasarımda; yangın algılama, hırsız algılama, aydınlatma, güç ve sıcaklık denetimi gerçekleştirilmiştir. Binada veriler katlarda bulunan arabirimlerde toplanarak Profibus-DP ağına aktarılmaktadır. Binadaki aydınlatma ve güç sistemleri linye bazında denetlenebilmektedir. Her katta veya bölümde bulunan arabirimler Profibus-DP ağı ile ana denetim birimine bağlanır.

Bir binada yangını tespit etme zamanı ne kadar önemli ise tespit edilen yangının ilgili yerlere bildirilerek sistemin alarm durumuna geçmesi de o kadar önemlidir. Sistemin güvenilirliği, alarm durumunu tespit etme zamanı ile doğru orantılı olduğundan bu zamana etki eden bina özellikleri, binanın kullanılış amacı ve muhtemel yangın durumunda yangının özellikleri (duman, alev, gaz yoğunluğu ve davranış karakteristiği) gibi faktörlerin dikkatle incelenmesi önemlidir [110].

Bu tasarımda, bina giriş-çıkış noktalarında PIR (Passive InfraRed) dedektörleri ve cam kırılmasına duyarlı cam kırılma dedektörleri kullanılmıştır.

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi tasarımda algılayıcı ve diğer donanımların verileri Profibus-DP ağı üzerinden denetim merkezine iletilmektedir [68]. Donanımların Profibus ağına bağlantısı ise ET 200M, ET 200L-SC gibi arabirimler kullanılarak sağlanmaktadır. Böylece hem algılayıcılardan denetim merkezine ayrı bir hat çekme problemi ortadan kaldırılmış hem de sistemde kullanılacak donanım sayısındaki sınırlamalar aşılmıştır. Arabirimler üzerinden yapılan veri iletimi sayesinde sistemde kullanılan geleneksel algılayıcılara da adres verilebilmektedir. Bu durum yangın veya hırsız alarmının noktasal olarak tespitini sağlamaktadır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi yangın ve hırsız algılama sistemine ait bütün donanımlar sınıflandırma yapılmadan aynı ağa bağlanmıştır, bu donanımların ayrımı yazılım olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.7. Profibus-DP tabanlı bina otomasyonu tasarımı [54]

Tasarımda, verilerin Profibus-DP ağ omurgası üzerinden denetim merkezine iletilmesi sistemin kullanılabilirliğini artırmakla birlikte (klasik sistemlerde

algılayıcı ve işletim elemanları çok sayıda iletim hattı ile denetim merkezine bağlanmaktadır) kurulum kolaylığı düşük maliyet gibi avantajlara sahiptir. Tasarlanan sistem sayesinde binadaki bütün donanımların ayrı ayrı denetlenebilmesi sağlanmıştır ve ihtiyaç duyulduğunda herhangi bir donanımın devreden çıkartılması veya devreye alınması ana denetim merkezinden gerçekleştirilmektedir. Bu durum sadece kablolamada tasarruf sağlamakla kalmaz aynı zamanda giriş-çıkış birimleri, arabirim kartları gibi ağın temel parçalarında tasarruf, işletmeye alma ve sistem bakım-onarımda da kolaylık sağlamaktadır.

#### **5.4. Profibus-DP Tabanlı Bina Aydınlatma Denetimi**

Bu tasarımda, bina içi mekanlarda Profibus-DP ağı üzerinden dinamik aydınlatma denetimi gerçekleştirilmiştir. Aydınlatmanın istenilen aydınlık düzeylerine göre ayarlanabilmesi için dimlenebilir armatürler kullanılmıştır. Bina içerisinde aydınlık düzeyini ölçen algılayıcılardan gelen bilgiler Profibus-DP ağı üzerinden merkezi denetim ünitesine aktarılmaktadır. Burada yapılan değerlendirme sonucuna göre aydınlatma armatürlerine kontrol sinyalleri yine Profibus-DP ağı üzerinden gönderilerek denetim sağlanmıştır. Tasarımda aydınlatma kontrolünün uzaktan denetimi ile enerjinin optimum kullanımı sağlanmıştır. Ayrıca günün değişik saatlerinde meydana gelen ışık değişimine göre aydınlatma seviyesi ayarlanarak sağlıklı bir aydınlatma ortamı elde edilmiştir.

Bu çalışmada; bir binanın aydınlatmasının değişen aydınlık seviyelerine göre sağlıklı bir görme olayının gerçekleşmesi için gerekli olan seviyede sabit tutulmasını sağlayacak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarımın getirdiği yenilik aydınlatma armatürlerinin Profibus ağı üzerinden gerçekleştirilen haberleşme ile uzaktan denetlenmesi ve bu denetimde aynı zamanda ışık şiddet eğrilerinin kullanılmış olmasıdır.

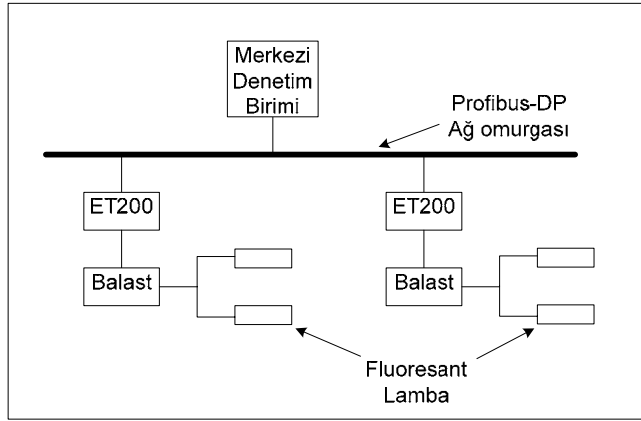
Bu çalışmanın yapılan diğer bus sistemlerinden farkı, tüm işletme bünyesinde çalışan donanımların ve tesisat sisteminin tek merkezden Profibus-DP ağı ile kontrol edilebilmesidir. Mekanlara estetik ve konfor kazandırmak için çok sayıda aydınlatma armatürü birlikte kullanılmaktadır. Mekanlar içerisindeki aydınlatma ünitelerinin kontrolünü daha basit bir hale getirmek, dekorasyonu tamamlayacak ihtiyaçlara uygun ışık etkileri elde etmek, optimum enerji tasarrufu sağlamak ve aydınlatmayı en verimli şekilde kullanabilmek amacı ile aydınlatma kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bunun için gündüz saatlerinde, aydınlığın yeterli olduğu alanı aydınlatan armatürler dimmer sistemler aracı ile lambaları düşük güçte çalıştırarak enerji tasarrufu sağlanır [111]. Dimmer sistem ve profibus-DP'deki bilgi akışı lambaların, iç mekanda oluşan yetersiz düzeydeki günışığı istenilen düzeye çıkaracak güçte çalışmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada özellikle algılayıcılara bağlı olarak çalışan aydınlatma lineye hatlarının denetimi incelenmiştir. Tasarım, dinamik aydınlatma kontrolü ile günün her saatinde meydana gelen doğal aydınlatmadaki değişimleri dikkate alarak enerji tasarrufu ve görme yeteneğini artıran, göz sağlığını koruyan, fizyolojik aydınlatma amacını gerçekleştirmektedir. Fizyolojik aydınlatmada amaç; cisimleri şekil, renk ve detaylarıyla rahat ve hızlı görmektir [112].

Aydınlatmada, floresant lambalı armatür, doğal ışığa en yakın beyaz ışık veren ışık kaynakları olduğu için tercih edilmiştir. Öncelikle floresant lambalarda kullanılan dimleme armatürleri normal kullanımlarında bile manyetik balastlı floresant çalışmalarına göre enerji tasarrufu sağlarlar. Dimleme ile yapılan sistemlerde bekleme yapmadan yanma, hafiflik, sessiz çalışma, uzun ömür, titreşimsiz ışık, 0.5'den büyük güç katsayısı, gerilim dalgalanmalarında ışık akısı kaybı olmaması, gibi üstünlükleri vardır. Kullanılan floresant lambaları dimleyen cihazlar 0-10V aralığında gerilim vererek çalıştırır. Ofislerde, laboratuvarlarda, sınıflarda, kütüphanelerde

kullanılması için daha uygundur. Şekil 5.8’de floresant lambaların Profibus-DP’ye bağlantısı gösterilmiştir.

Armatürlerde gerilim kontrolü mekan aydınlık düzeyi algılayıcısı değeri ile ışık şiddet eğrisi belirlenir. Işık şiddet eğrisi bir armatürün fotometrik özelliklerini veren göstergedir [113]. Bu eğri yardımı ile armatüre ihtiyaç duymadan armatürlerin fotometrik dağılımı elde edilir. Böylece ışık şiddet eğrisi çıkartılan armatürün bir mekan içindeki aydınlık düzeyi, armatür mekana yerleştirmeden bulunarak en iyi aydınlatma verim hesabı yapılır.



Şekil 5.8. Floresant lambaların Profibus-DP bağlantısı [54]

Profibus-DP ağına bağlı ET-200 ara birimi ile merkezden kontrol edilen dimleme balastları 0 -10 V'luk kontrol gerilimi ile floresant lambanın 4–56 W arasındaki bir güç aralığında çalışmasını sağlamaktadır.

Seçilen armatüre göre oda indeksi (K), Eş. 5.1 ile hesaplanır.

$$K = \frac{0.8a + 0.2b}{h - 1.2} \quad (5.1)$$

Burada, odanın genişliği (a), uzunluğu (b), yüksekliği (h) ile sembolize edilmiştir.

Oda indeksine ve ortamın tavan duvar yansıtma faktörlerine göre ışık şiddet eğrisinden elde edilen yararlanma katsayısı belirlenir. Ortamın ışık akısı Eş. 5.2'de verilmiştir.

$$\Phi = \frac{E.S}{\eta} \quad (5.2)$$

Burada CIE (International Commission on Illumination) tarafından belirlenen aydınlık düzeyi (E), yüzey alanı (S), yararlanma katsayısı ise ( $\eta$ ) olarak verilmiştir [114].

Toplam ışık akısının kullanılan armatürlerin ışık akısına oranlanmasıyla ortamda kullanılan armatür sayısı Eş. 5.3'te verilmiştir.

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_a} \quad (5.3)$$

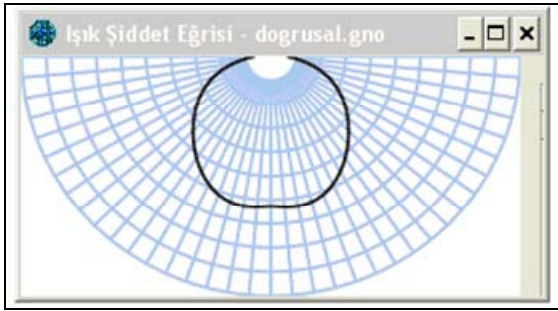
Burada  $\Phi_a$  Armatürlerin ışık akısını sembolize etmektedir. Aydınlık düzeyi Eş. 5.4 ile bulunur.

$$E = \frac{\phi.\eta}{S} \quad (5.4)$$

Gün boyu değişken olan dinamik aydınlık düzeyi algılayıcılar ile takip edilir. Merkezi denetim sistemi, ortam aydınlık düzeyinin CIE tarafından belirlenen aydınlık düzeyi değer aralığında değişim göstermesini sağlar.

Goniyofotometre kullanılarak dimmerin çeşitli gerilimlerine karşılık olan bir floresant lambaya ait ışık şiddet eğrileri belirlenmiştir [115]. Işık şiddet eğrilerine göre aydınlatma verim hesapları yapılarak ortam için en uygun armatürler tespit edilmiştir.

Aydınlık düzeyi algılayıcısından gelen gerilim değerine ve seçilen örnek armatüre göre oluşan ışık şiddet eğrileri kullanılmıştır. Bunlardan birisi 5 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi Şekil 5.9'da gösterildiği gibi gerçekleşmiştir. Algılayıcıdan gelen değere göre hesaplanan kontrol sinyali ile belirlenen ışık şiddet eğrilerinden uygun olan kullanılarak aydınlatmadaki istenen değişim sağlanır [116].



Şekil 5.9. 5 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi [116]

Sistemde kullanılan hareket sensörü aydınlık düzeyi algılayıcısının belirlenen değerinin altında ise armatürleri otomatik olarak çalıştırır. Aydınlık düzeyi sensörü fotovoltajik bir pildir. Bu pilin çıkış gerilimi ET200 ile sürekli sisteme gönderilir. Aydınlık düzeyi sensörün gerilimi belirlenen gerilimden daha az ise sistem yukarıdaki sıra ile eğrileri verecek olan kontrol gerilim değerlerine yükselir. Bu değerlere göre elde edilen aydınlık düzeyleri iç mekanın CIE tarafından belirlenen aydınlık düzeyi değer aralığında kalması için gerekli ışık şiddet eğrisi oluşturacak olan kontrol gerilimini lambaların dimlenen balastına vererek fizyolojik aydınlatmayı sağlar. Aydınlık düzeyi ölçen sensör ortalama

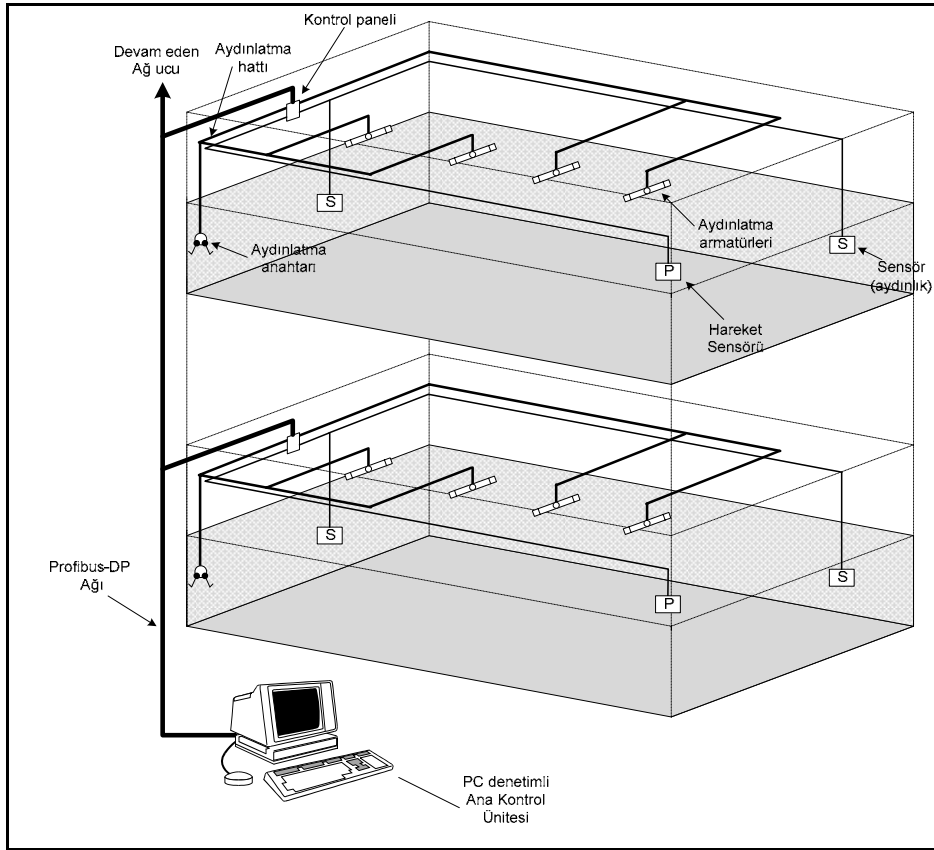
aydınlık düzeyinden fazla olduğu durumlarda ise merkez kontrol gerilimini azaltarak aydınlık düzeyini sabitler.

Armatürlerde gerilim kontrolü, mekan aydınlık düzeyi algılayıcısı değerine göre fizyolojik aydınlatma koşullarına uygun aydınlatma senaryosu ile belirlenmiştir. Böylece sistem günün değişik zamanlarında algılayıcılardan alınan aydınlık düzeyi verilerine göre önceden belirlenen senaryoya uygun ışık şiddeti eğrisi için gereken kontrol gerilimini verir. Böylece ortamda sabit düzgün bir aydınlatma sağlanmaktadır. Aydınlatma kontrolü ihtiyaçlara göre çok değişken bir şekilde yapılabilir. Mekan içinde gruplara ayrılan armatürler ayrı ayrı veya bütün olarak tek merkezden yönetilebilir.

İnsan gözü aydınlık düzeyi az olan yerlerde göze daha fazla ışık alabilmek için otomatik olarak gözbebeklerini büyüterek karşılık verir. Ölçülen aydınlık düzeyi her zaman için algılanan aydınlık düzeyinden daha azdır. Aydınlatma düzeyinde %1 oranında azaltıldığında bu insan gözü tarafından % 10 oranında algılanır. % 1 oranı mimari tasarımlar için çok önemlidir. Merkezi sistemden denetim ile gündüz adaptasyonu olmayacak şekilde kontrol gerilimi hedeflenen ışık şiddet eğrisini 40 saniyelik bir yumuşak geçişle ikinci kontrol gerilimine ulaştırır. Böylece aydınlık düzeyindeki geçişler insan gözü tarafından rahatsızlık verecek düzeyin altına çekilir.

Böyle bir sistemin kullanıldığı binalarda gün ışığı seviyesi, çalışma saatleri, çalışma alanlarının yoğunluğu ve enerjinin pahalı olduğu saatler göz önüne alınarak yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Tasarım ile elde edilen sağlıklı aydınlatma sayesinde çalışanların verimi de artmaktadır. Şekil 5.10'da tasarlanan otomasyona örnek bir bina yapısı verilmiştir [116]. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi her kat veya birimin aydınlatma denetimi kendisine ait kontrol paneli ile Ana Kontrol Ünitesinin Profibus-DP ağı üzerinden haberleşmesi ile gerçekleşmektedir. Her bölümde (oda, ofis, laboratuvar, sınıf, işletme vb.) en az bir adet aydınlatma seviyesini ölçen algılayıcı

bulunmaktadır, bu sayı mekanın büyüklüğüne göre değişmektedir. Birden fazla algılayıcı kullanılan mekanlarda her algılayıcıdan gelen bilgiye göre ilgili alanın lambaları kontrol edilir. Binadaki armatürlerin tamamının veya bazılarının merkezden açılıp kapatılması mümkün olduğu gibi yine her bölümün içinde bulunan anahtarlar ile lambaların açılıp kapatılabilir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi tasarımda algılayıcı ve diğer donanımların verileri Profibus-DP ağı üzerinden kontrol merkezine iletilmektedir. Donanımların Profibus ağına bağlantısı ise ET200 gibi arabirimler kullanılarak sağlanmaktadır.

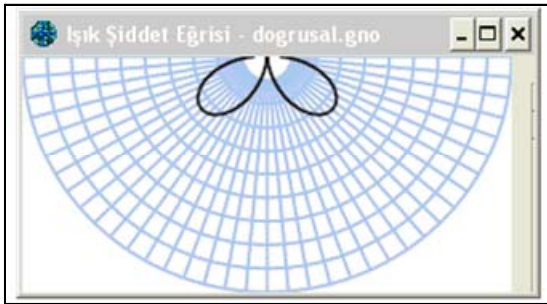


Şekil 5.10. Aydınlatma denetimi için örnek bir bina tasarımı [116]

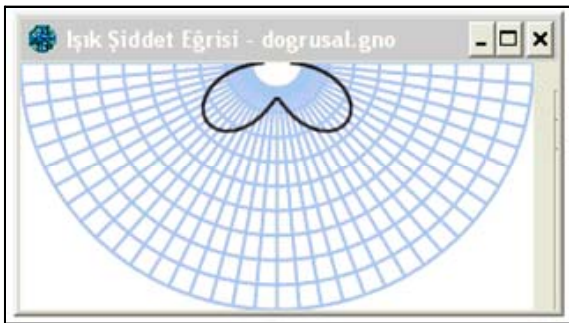
Tasarlanan sistemde ağa bağlı modüller (ET200M) aracılığı ile aydınlık düzeyi algılayıcısından gelen mekan içi aydınlık seviyesi bilgileri kullanılarak

kontrol sinyalleri elde edilmiştir. Kontrol sinyali, algılayıcıdan gelen bilgi ile mekan için CIE standartlarına uygun olarak belirlenen değer karşılaştırılarak belirlenen kontrol gerilimi olarak dimlenebilir balasta uygulanmıştır. Bu uygulamada, 1.5 V kontrol gerilimi için Şekil 5.11, 3 V kontrol gerilimi için Şekil 5.12, 7 V kontrol gerilimi için Şekil 5.13, 10 V kontrol gerilimi için Şekil 5.14'te elde edilen ışık şiddet eğrileri kullanılmıştır.

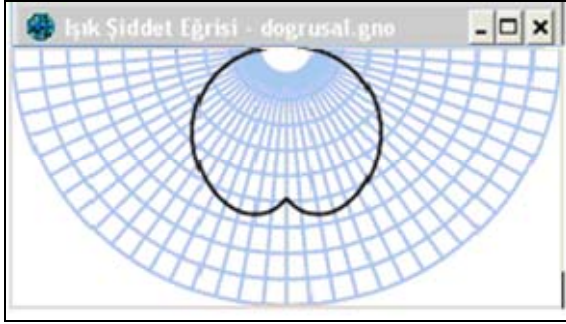
Mekan içi aydınlık seviyesi azaldıkça uygulanan kontrol gerilimi ve buna bağlı olarak ışık şiddet eğrilerinin Şekil 5.11-Şekil 5.12'de görüldüğü gibi etki alanları artmıştır. Tam tersi durumda da mekanın aydınlık seviyesinin istenen düzeye düşürülmesi için ışık şiddet eğri alanı daha dar olan grafik kullanılarak denetim gerçekleştirilir.



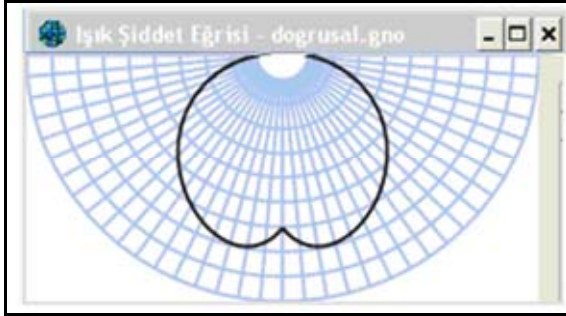
Şekil 5.11. 1.5 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi [116]



Şekil 5.12. 3 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi [116]



Şekil 5.13. 7 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi [116]



Şekil 5.14. 10 V kontrol gerilimi ile elde edilen ışık şiddet eğrisi [116]

Tasarımda aydınlatma kontrolünün uzaktan denetimi ile enerjinin optimum kullanımının yanı sıra günün değişik saatlerinde meydana gelen aydınlık seviyesi değişimine göre aydınlatma yaparak fizyolojik aydınlatma ortamı elde edilmiştir. Tasarım ile gündüz adaptasyonu olmayacak şekilde kontrol gerilimi hedeflenen ışık şiddet eğrisini yumuşak geçişle ikinci kontrol gerilimine ulaştırır. Böylece aydınlık düzeyindeki geçişler insan gözü tarafından rahatsızlık verecek düzeyin altına çekilmiştir.

### 5.5. Profibus-DP Tabanlı Güvenlik Sistemi Tasarımı

Bu çalışmada, Profibus-DP ağı kullanılarak Yangın ve Hırsız algılama sistemlerinden oluşan Bina Güvenlik Sistemi (BGS) tasarlanmıştır. Tasarımda geleneksel ve akıllı BGS yapısı birleştirilerek yeni bir model geliştirilmiştir. Bu yapıda klasik algılayıcı ve diğer donanımların adreslenebilir

donanımlar gibi Profibus-DP ağı üzerinden kontrol merkezi ile haberleşmesi sağlanmıştır.

Bina güvenlik sistemleri (BGS); kontrol edilmek istenen bölgelere yerleştirilen algılayıcılar, bu algılayıcılardan gelen bilgilerin toplanarak değerlendirildiği kontrol üniteleri ve kontrol ünitelerinin denetlediği uyarı elemanlarından oluşmaktadır [17]. Kontrol ünitelerinde mikroişlemci teknolojisinin yanı sıra modern kontrol yöntemleri de kullanılarak sistemin izlenmesi ve denetlenmesi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilmektedir [17].

Bina otomasyonu konusunda yangın ve hırsız alarm sistemlerinin ayrı bir yeri vardır. Çünkü bu sistemler doğrudan can ve mal güvenliğiyle ilgilidir, bu nedenle özellikle bu iki sistem tasarımı incelenmiştir.

Tasarlanan sistemde yer alan her bir güvenlik yönteminin kendine özgü araç-gereç ve projelendirme kriterleri vardır. Yangını tespit etme zamanı ne kadar önemli ise tespit edilen yangının ilgili yerlere bildirilmesi, yani sistemin alarm durumuna geçmesi de o kadar önemlidir. Kısaca sistemin güvenilirliği, alarm durumunu tespit etme zamanı ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla bina özellikleri, binanın kullanım amacı ve muhtemel yangın durumunda yangının özellikleri (duman, alev, gaz yoğunluğu ve davranış karakteristiği) sistem güvenilirliği için önemlidir [117].

### **5.5.1. Yangın algılama sistemi**

Yangın algılama sistemlerinin kuruluş amacı yangını başlangıç aşamasında algılayarak erken uyarıda bulunması ve bu şekilde yangın esnasında kaçınılmaz olan can ve mal kaybını önlemektir. Algılama öncesinde yapılacak çalışmalar ise korunacak yerde yangının çıkış sebeplerinin bilinmesi, ayrıca oluşması muhtemel yangının karakteristik özelliklerinin incelenmesidir. Bu

hem dedektör seçiminde hem de etkili bir sistemin kurulmasında önemlidir. Yangın algılama sistemlerinde kullanılan dedektörlerin temel algılama verileri şunlardır [118].

- Duman
- Isı
- Alev
- Gaz
- Özel şartlarda oluşan diğer veriler

Özellikle yüksek risk taşıyan bölgelerde en iyi güvenlik yöntemini saptamak için birçok dedektör teknolojisinin birlikte kullanılması uygun olabilir. Dedektör seçimi dedektörlerin teknik özelliklerinden sistemin kurulacağı mekanın özelliklerine kadar bir çok kriterin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Yangının tespit edilme zamanı mümkün olan en kısa süre olarak tanımlanmaktadır. İşte bu süreyi etkileyen faktörlerin başında dedektörlerin yangını algılama hızı gelmektedir.

### **5.5.2. Hırsız algılama sistemi**

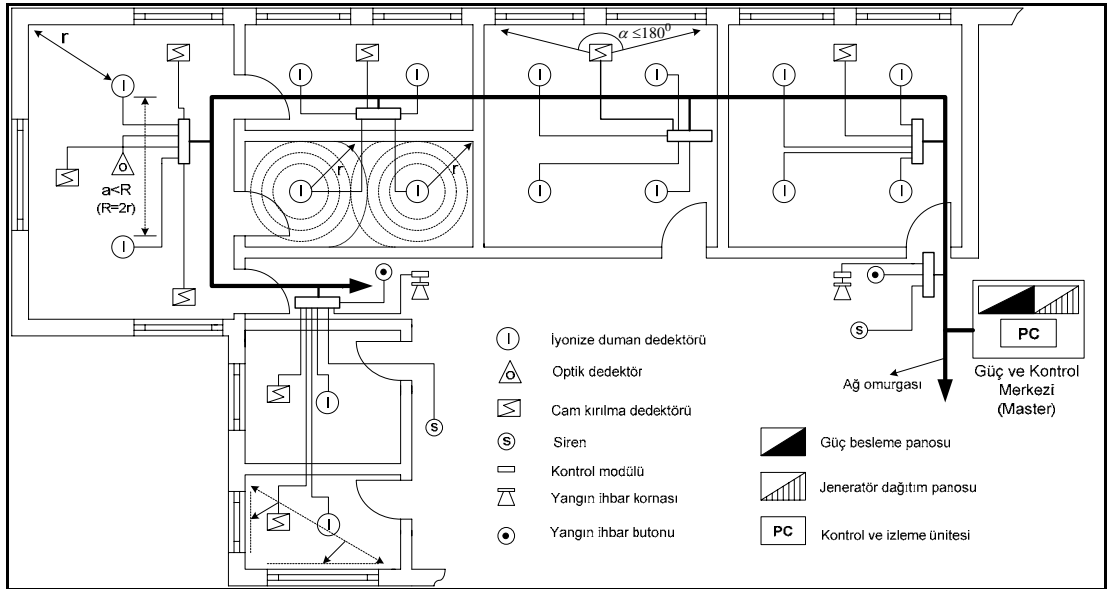
Hırsız alarm sistemlerinin amacı bu sistemlerin kurulduğu bölgelere izinsiz girilip çıkılmasını önlemektir. Dolayısıyla bu sistemlerin tasarımında canlı veya hareketli cisimlerin tespiti esas alınmaktadır. Bu amaç ile kullanılan canlı sensörleri canlıların varlığını algırlar. Hareket dedektörleri ise hareketli cisimlere karşı tepki verirler.

Sensör seçiminde dikkate alınacak noktalar, güvenilirliği, seçiciliği ve gürültü bağışıklığıdır. Harici gürültülerden kaynaklanan hatalı algılamayı azaltmanın etkili yollarından biri farklı fiziksel prensiplerle çalışan sensörler kullanmaktır. Hırsız algılama sistemlerinde kullanılan başlıca algılayıcılar şunlardır [119].

- PIR (Passive Infrared) dedektörü
- Ultrasonik hareket dedektörü
- Mikrodalga hareket dedektörü
- Cam kırılması dedektörü
- Işın dedektörü

Bu tasarımda en önemli nokta bina özelliklerinin (bina giriş-çıkış noktaları, pencereler ve dış müdahalelere açık noktalar) iyi irdelenmesi ve bu özelliklere uygun çözümler geliştirilmesidir. Binaya giriş-çıkışlar, algılama alanından bir canlı veya cisim geçtiği zaman termal enerjideki IR (InfraRed) farklılığı algılayan PIR (Passive InfraRed) dedektörleri ile denetim altına alınmıştır [25].

Şekil 5.15'de Yangın ve Hırsız algılama sistemlerinin tasarımından bir kesit, gösterilmiştir [120].



Şekil 5.15. Profibus-DP tabanlı BGS projesi [120]

Şekil 5.15’de görüldüğü gibi algılayıcı ve diğer donanımların verileri ET200 gibi arabirimler kullanılarak Profibus-DP ağı üzerinden kontrol merkezine iletilmektedir. Böylece her algılayıcıdan kontrol merkezine ayrı bir hat çekme problemi ortadan kaldırılmış hem de sistemde kullanılacak donanım sayısındaki sınırlamalar aşılmıştır. Arabirimler üzerinden yapılan veri iletimi sayesinde sistemde kullanılan geleneksel algılayıcılara da adres verilebilmektedir. Bu durum yangın veya hırsız alarmının noktasal olarak tespitini sağlamaktadır. Şekil 5.15’de görüldüğü gibi yangın ve hırsız algılama sistemine ait bütün donanımlar sınıflandırma yapılmadan aynı ağa bağlanmıştır, bu donanımların ayırımı yazılım olarak gerçekleştirilmektedir.

## **5.6. Profibus-DP Tabanlı Endüstriyel Otomasyon Tasarımı**

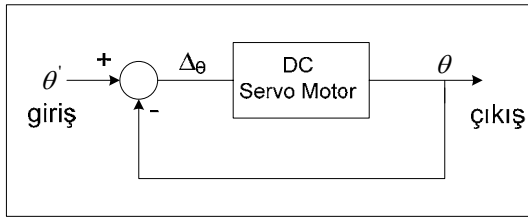
### **5.6.1. DC motor denetimi**

Bu tasarımda DC Servo Motorun Profibus-DP yoluyla uzaktan denetimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımı, merkezi denetim, DC servo motor ve bu ikisi arasındaki haberleşmeyi sağlayan Profibus-DP ağı oluşturmaktadır. Motorun denetimi geri beslemeli olarak tasarlanmıştır. Ağ yoluyla alınan motor hız ve pozisyon bilgileri kullanılarak denetim bilgisi elde edilir ve bu bilgi aynı ağ omurgası üzerinden motora iletir. Bu tasarımda gerçek zamanlı kontrol sistemi uygulanmış olup motorun kullanım amacına uygun yumuşak kalkış ve durma işlemini gerçekleştirecek hassas denetim elde edilmiştir. Profibus-DP yüksek hızlı veri iletimi sağladığından ağ gecikmesinden kaynaklanan pozisyon hataları elimine edilebilecek kadar düşük oranda gerçekleşmiştir.

Pozisyon (konum) kontrolü için genellikle adım motorları ya da servo motorlar tercih edilir. Adım motorları genellikle küçük güçlü sistemlerde ve daha düşük moment gerektiren uygulamalarda tercih edilirken, yüksek güç, yüksek moment ve hızlı bir geri besleme gerektiren sistemlerde ise servo motorlar tercih edilir Servo motorun pozisyon denetiminde, motor milinden hız ve

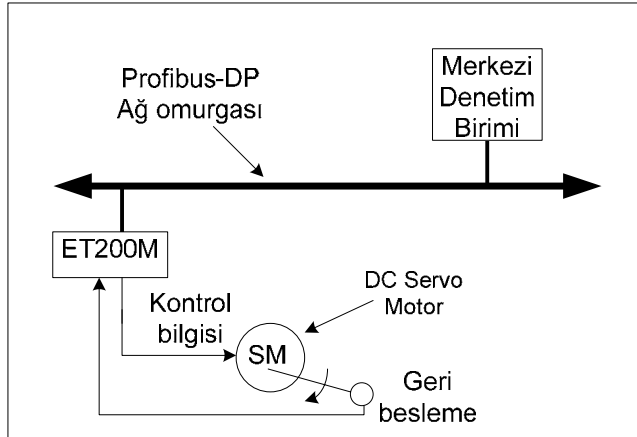
pozisyon bilgileri takometre ve encoder ile ölçülerek klasik denetim ve bulanık mantık gibi denetim yöntemleri uygulanabilmektedir [121-123]

DC Servo motor denetim sistemleri; denetim için gerekli olan sinyalleri (dönüş yönü, hız ve konum); mikroişlemci, mikrodenetleyici yada bilgisayardan alırlar. Motora uygulanan sinyallerin geri beslemesi ise algılayıcı, encoder yada geri besleme potansiyometresinden alınarak sürücü devreye aktarılır. Alınan bu sinyaller sürücü devreye gerçek zaman bilgisi olarak girilir. Denetleme ünitesi aldığı bu verileri kullanarak sürme işlemi için gerekli olan sinyali üretir [123]. Bu denetim yöntemi Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Servo motor blok şeması [123]

Pozisyon kontrolü aşamasında endüvi (rotor) pozisyon derecesi  $\theta$ , istenilen pozisyon  $\theta'$  olarak ele alınırsa sürücü devrenin bu aşamada üreteceği sinyalin büyüklüğü açı olarak  $\Delta\theta = \theta' - \theta$  olur [124]. Tasarımın Profibus-DP ağı ile denetimi, kontrol sinyallerinin ve geri besleme bilgilerinin ağ üzerinden iletimi şeklinde gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.17) [85].



Şekil 5.17. Profibus-DP temelli denetim şeması [85]

Tasarlanan sistemde Mildeki devir, motor miline bağlanan bir takometre ile ölçülmüştür. Motor pozisyon bilgisi encoder kullanılarak denetim merkezine iletilmektedir. Sistemdeki bu bilgi alış-verişi Profibus-DP ağı ile sağlanmıştır. Bu yöntem, uzaktan denetim ve tasarım kolaylığı gibi iki önemli avantaj sağlamaktadır. Profibus-DP mimarisinin 100 m'ye kadar olan mesafeler için 12 Mbps gibi yüksek haberleşme hızına sahip olması ağ gecikmesinden kaynaklanan denetim hatalarını kısmen elimine etmektedir.

### 5.6.2. AA motor denetimi

Gelişmiş ülkelerde üretilen toplam elektrik enerjinin yarısından fazlası, elektrik motorlarıyla mekanik enerjiye çevrilmektedir. Endüstriyel sürücülerin %90'ında asenkron motorlar (ASM) yer almaktadır [125].

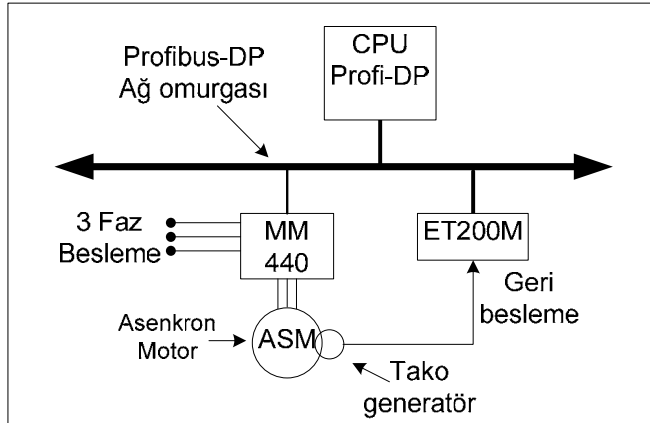
Yabancı uyartımlı DA (Doğru Akım) motorları, hız denetiminin kolayca yapılabilmesi nedeni ile, endüstride yaygın olarak kullanılan değişken hızlı denetim sistemleri sınıfında uzun bir süre rakipsiz kalmışlardır. Ancak bu motorların en büyük dezavantajları olan komütatör ve fırça yapısı, motorun hem belirli aralıklarda bakım gereksinimine hem de fırça kolektör teması nedeni ile patlayıcı, parlayıcı ve tozlu ortamlarda kullanılmamasına, yüksek

devir sayılarına ve yüksek gerilimlere çıkılamamasına neden olmuştur. DA motorlarının dinamik davranış karakteristikleri ASM'lardan daha iyi olmasına rağmen, ASM'lar DA motorlarına göre yapı itibariyle daha basittirler. ASM'lar sağlam, güvenilir, maliyeti düşük, az bakım gerektiren, çevresel koşullardan etkilenmeme ve büyük güçte imal edilebilmelerinden dolayı daha çok tercih edilmektedir. Bunun yanında tehlikeli ve kirli ortamlarda da kullanılabilirler [126].

Yaygın kullanıma bağlı olarak, endüstriyel tesislerde ASM'un değişik hızlarda çalıştırılmaları da zorunluluk halini almıştır. Bir Asenkron motorun (3 fazlı AA motoru) denetiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Asenkron motorlarda hız ayar yöntemleri şunlardır.

- Statora uygulanan gerilim frekansının değiştirilmesi
- Statora uygulanan gerilim değerinin değiştirilmesi
- Stator sargısı kutup sayısının değiştirilmesi
- Rotora bağlanan direncin değiştirilmesi
- Rotor sargılarına dış kaynaktan uygun gerilim uygulanması

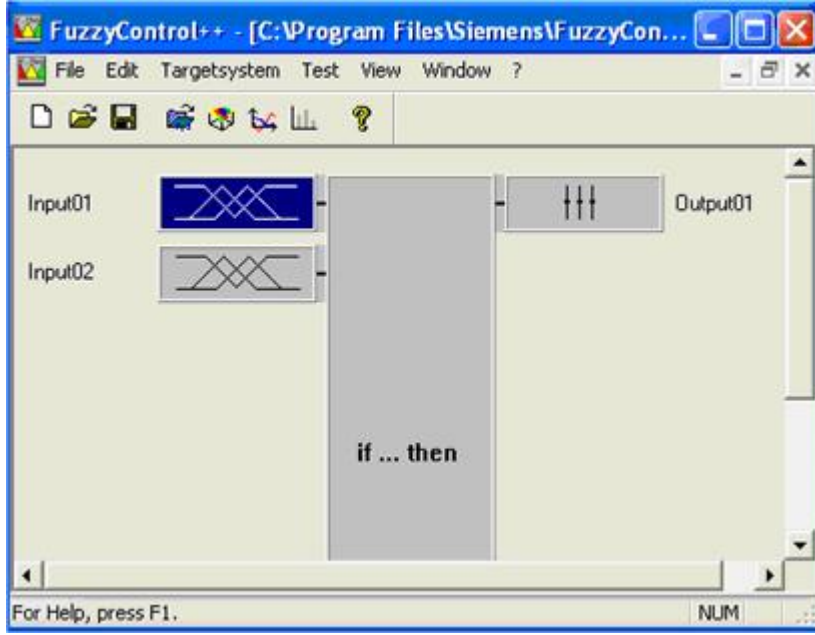
Bu tasarımda sistemde gerçek zamanlı veri iletimi kullanılarak ve buna uygun bir haberleşme protokolü ile ağ kontrol sistemi denetimi gerçekleştirilmiştir. Sistemde asenkron motora ait bilgiler gerçek zamanlı olarak alınıp bu bilgiler bir PC'de toplanarak değerlendirme yapıldıktan sonra kontrol sinyalleri yine aynı ağ üzerinden asenkron motora gönderilmektedir. Motora gerçek zamanlı denetim sinyalleri Micromaster-440 aracılığı ile iletilecek ve istenen denetim sağlanacaktır. Bu yöntemle 3 Fazlı Bir Asenkron motor Profibus-DP ağına adapte edilmiş olmaktadır (Şekil 5.18). Bu yöntem ile Micromaster kullanılarak ağa bağlanan 3 Fazlı Asenkron motorun uzaktan denetimi gerçekleştirilmiştir. Tasarımda, Micromaster-440 ASM'un çalışma frekansının ayarlanması işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 5.18. Profibus-DP temelli Asenkron motor denetim şeması [54]

### 5.7. Bulanık Mantık Denetimi Yazılımı

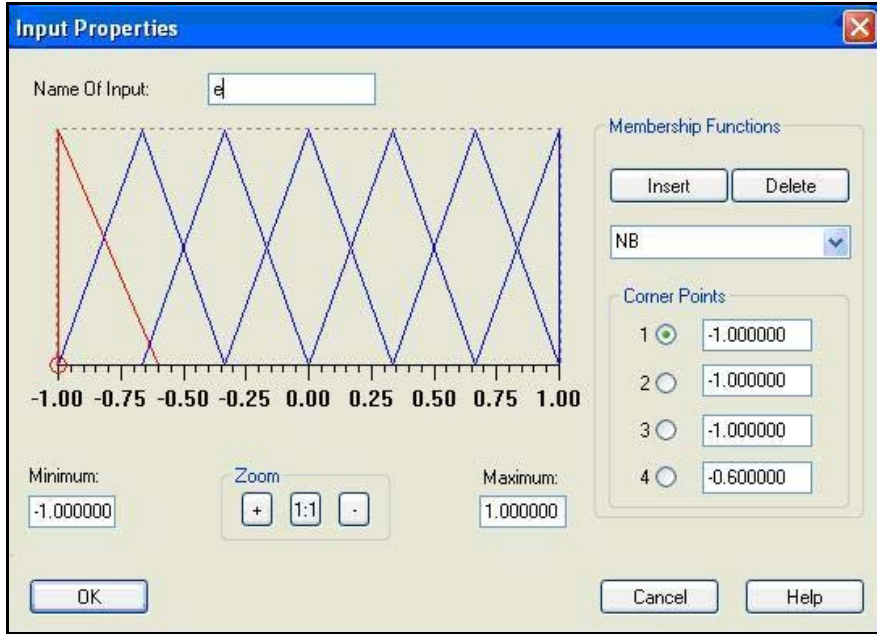
Sistemin BMD uygulaması FuzzyControl++ V5.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. FuzzyControl++ V5.0 yazılımının açılış sayfasında girişler, çıkışlar ve kural tablosu için gerekli değerlerin girilmesi için seçenekler verilmektedir (Şekil 5.19). Öncelikle uzman bilgisine dayanarak denetlenecek olan sistemin Bulanık mantık yazılımı için gerekli olan giriş/girişler, çıkış/çıkışlar üyelik fonksiyonları ve kural tablosu bilgileri elde edilmektedir. Bir sonraki aşamada bu bilgiler FuzzyControl++ V5.0 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılır ve denetim için kullanılır duruma getirilir.



Şekil 5.19. FuzzyControl++ V5.0 ekran görüntüsü

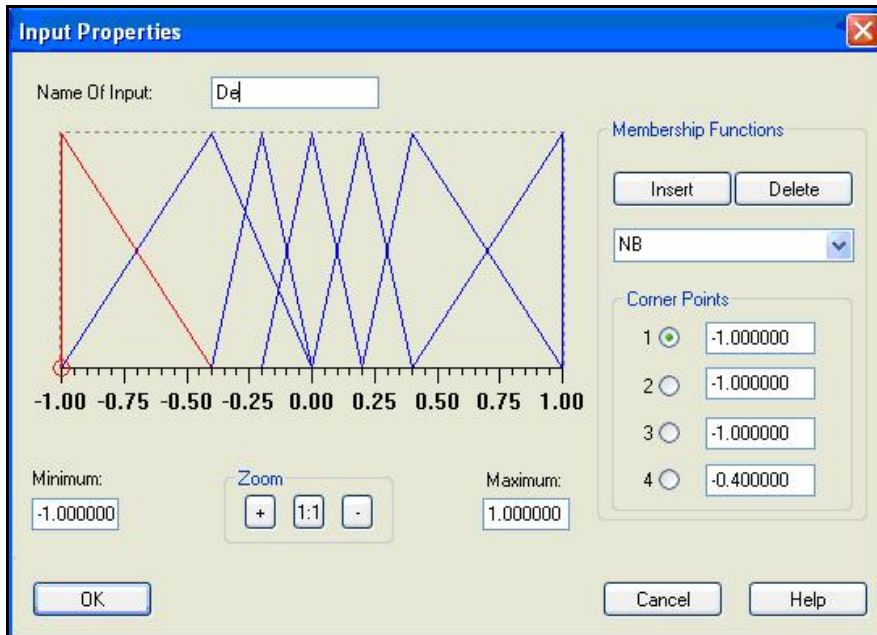
### 5.7.1. Giriş üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

FuzzyControl++ V5.0 programında girişlerin ayrı ayrı üyelik fonksiyonları oluşturulmaktadır (Şekil 5.20, Şekil 5.21). Üyelik fonksiyonları kullanılacak üyelik fonksiyonu tipine göre sınır değerler girilir. Yapısının basit olması ve hesaplamadaki yüksek veriminden dolayı bu çalışmada üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Denetlenecek sisteme ait 1. giriş ve 2. giriş ayrı ayrı üçgen üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Giriş adı girildikten sonra kullanılacak değerlerin tanımlanan fonksiyonlara atamaları gerçekleştirilir. Bunun için öncelikle sınır değerler girilir ve daha sonra her bir fonksiyonun (NB, NO, NK, S, PK, PO, PB) ayrı ayrı tanımlanması ile 1. giriş oluşturulmuş olunur.



Şekil 5.20. Giriş 1 üyelik fonksiyonu oluşturma

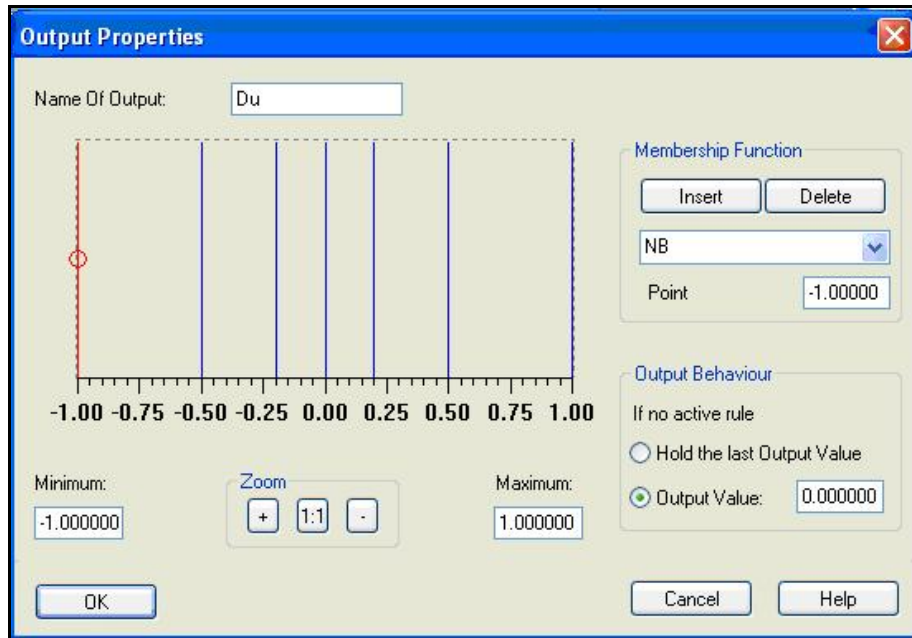
1. giriş üyelik fonksiyonun tanımlanması gerçekleştirilen aşamalar 2. giriş için de uygulandıktan sonra sistemin girişleri tamamlanmış olunur.



Şekil 5.21. Giriş 2 üyelik fonksiyonu oluşturma

### 5.7.2. Çıkış üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

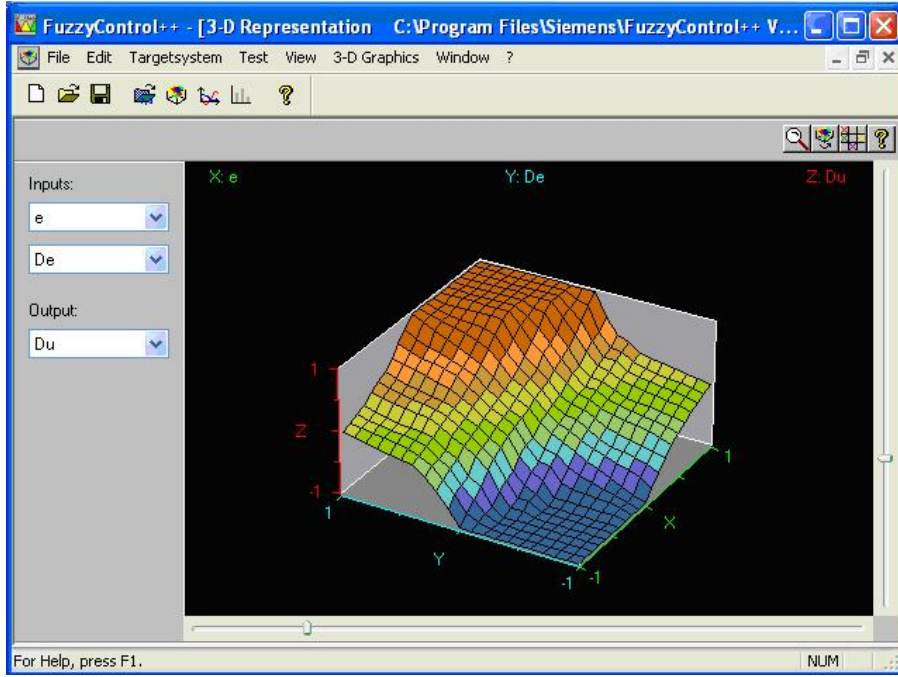
Sistemin girişlerinin tanımlanmasında kullanılan yöntemle benzer bir çalışma ile sistemin çıkış üyelik fonksiyonu oluşturmak için FuzzyControl++ V5.0 yazılımının açılış ekranında yer alan pencerede sistem çıkışı seçilerek fonksiyon tanımlama işlemi başlatılır (Şekil 5.22). Sunulan örnek sistemin çıkış üyelik fonksiyonu tek nokta (singletone) fonksiyon kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 5.22. Çıkış üyelik fonksiyonu

BMD uygulamasında denetlenen sistemin giriş sayısı, çıkış sayısı, üyelik fonksiyonu ve kural sayısına bağlı olarak denetim sinyalini hesaplamada işlem süresi farklı olacaktır. Bu işlem süresinin artması sistemin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sürenin azaltılmasında, sistemde kullanılan donanımların çalışma hızının önemli bir faktör olduğunu unutmamak gerekir. Ağ gecikmesini etkileyen faktörler aynı zamanda denetim sinyali hesaplama süresini dolayısı ile BMD uygulama süresini

doğrudan etkilemektedir. Şekil 5.23'te tasarlanan sistemin giriş üyelik fonksiyonları ile çıkış üyelik fonksiyonunun birbirleri ile ilişkisi grafiksel ortamda gösterilmiştir.

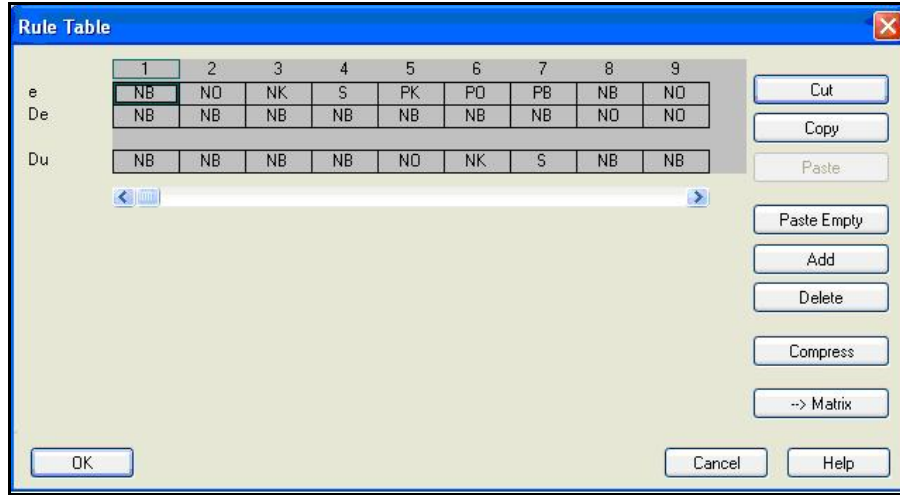


Şekil 5.23. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonu grafiği

### 5.7.3. Kural tablosunun oluşturulması

Bulanık bir sistem uzman bilgisine dayanan birçok sözel ifadeler ile tanımlanır ve uzman bilgisi “eğer-o halde” kuralı biçimindedir. İşte bu bulanık kontrol kurallarının tamamı kural tabanını oluşturmaktadır. Denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kuralları burada bulunur ve çıkarım motoruna buradan verilir. Genellikle, kuralların sayısı giriş değişkenlerindeki bulanık küme sayısının matematiksel çarpımına (product) eşittir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır. Şekil 5.24'te bulanık girişlerin değerlendirilerek bulanık çıkış değerinin elde edilmesinde kullanılacak olan kural tablosu görülmektedir. Bu tabloda her bir

giriş eşleşmelerinde çıkışın alacağı değer bulanık olarak elde edilmektedir. Elde edilen bu değerler gerçek çıkış değerinin tespitinde kullanılmaktadır.



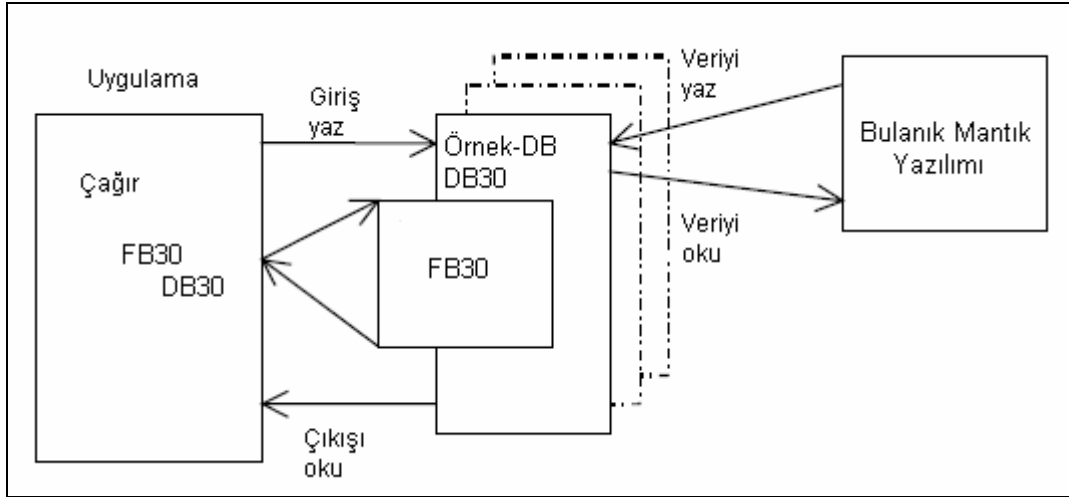
Şekil 5.24. Kural tablosunun elde edilmesi

#### 5.7.4. Bulanık mantık denetimi uygulaması

Bulanık mantık denetiminde en önemli aşamalardan biri olan “karar verme birimi” çıkarım motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetimin çekirdek kısmıdır. Bu kısım bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi belirler. Bulanık mantık denetleyicilerde kullanılan çıkarım metotlarından Mamdani (max-min) çıkarım metodu kullanılarak gerçek çıkış olarak kullanılacak sinyalin elde edilmesinde kullanılan bulanık değer elde edilir.

Bulanık mantık denetiminde diğer aşama ise elde edilen bulanık çıkış değerinin durulama işlemi ile gerçek değere yani sistemde kullanılacak denetim sinyaline dönüştürülme işlemidir. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar. Ağırlık ortalaması yöntemi kullanılarak bulanık çıkış değerine durulama işlemi uygulanmaktadır.

Elde edilen gerçek değer denetim sinyalinin sisteme uygulanması Şekil 5.25'teki yapı ile sağlanmaktadır. Burada Bulanık mantık yazılımı ile saha arasındaki denetim ilişkisinin FB30 (Function Block, fonksiyon bloğu) ve DB30 (Data Block, veri bloğu) blokları ile sağlandığı görölmektedir.



Şekil 5.25. Bulanık mantık denetiminin uygulanması [109]

## 6. UYGULAMA SONUÇLARI

### 6.1. Donanıma Bağlı Çevrim Süresi Karşılaştırmaları

Çalışmada farklı tasarımların kullanılması yanı sıra ağ kurulumunda da farklı donanımlar ve özellikle farklı işlemcilerin kullanılması ağın hızını önemli ölçüde etkilemiştir. CPU 315-2DP, CPU 314C-2DP ve CPU 314T-2DP gibi farklı hızlara sahip işlemcilerin ağ çevrim süresini, BMD çalışma hızını etkilediği görülmüştür. Bir ağ yapısında ağın hızı, sistemde en düşük hıza sahip olan donanımın veya yazılımın hızı ile sınırlıdır. Çalışmada aynı donanımların kullanıldığı Profibus-DP ağında, farklı CPU'lar kullanılarak deneyler yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Aynı zamanda aynı sistemde, üyelik fonksiyonları, giriş-çıkış sayısı ve kural sayısı farklı olan BMD uygulamalarında ağ çevrim süresi farklı olmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Farklı BMD uygulamalarının karşılaştırılması [54]

<b>Bulanık Mantık Denetimi</b>	<b>Giriş</b>	2	2	2	8	8	8
	<b>Üyelik fonksiyonu (her giriş için)</b>	5	7	7	5	7	7
	<b>Kural sayısı</b>	20	200	1000	10	100	1000
	<b>Çıkış</b>	1	1	1	4	4	4
	<b>Üyelik fonksiyonu (her çıkış için)</b>	5	9	9	5	9	9
<b>Donanım</b>	<b>S7300 (yaklaşık süre, ms)</b>	5.5	78	*	31	180	*
	<b>S7400 (yaklaşık süre, ms)</b>	1.8	11	73	4	22	154
* S7 300 uygulamaları için çok büyük							

## 6.2. Kullanılan Donanımların Ağ Performansına Etkileri

Profibus, çok yaygın bir endüstriyel fieldbus'tır. Profibus Ağı 32 bağlantı elemanını destekleyebilir veya 12Mbps gibi yüksek hızlarda veri iletimine imkan vermektedir. Bu özellikleri ile Profibus çalışma maliyetini azaltır ve verimliliği artırır. Profibus, standart 4-20mA kontrolden farklı olarak, tek perli Profibus kablosu üzerinden 32 istasyonu desteklemektedir. Hat yükselticisi (repeater) yardımıyla 127 bağlantı elemanına kadar ağ genişletilebilmektedir. Maksimum hat uzunluğu, 1200m, hat yükselticisi kullanıldığında 4800m'dir. Max. 4 yükseltici kullanılabilir. Standart bağlantılar 9-Pin D-Sub konnektör kullanılarak yapılır. İletişim hızları 9.6 Kbps' den başlayarak kullanılan donanımlara ve uzaklığa bağlı olarak artmaktadır.

Ağ performansını etkileyen önemli faktörlerden biri veri iletimini sağlayan kablolardır. Kurulan Profibus-DP ağında kullanılan kablo aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Çıplak bakır iletken, 1x2x0,64 mm
- Köpüklü PE damar izolasyonu
- Renk kodu: Kırmızı, Yeşil
- İki damar birlikte bükülü
- Plastik folyo sargı
- Plastik lamineli alüminyum folyo ekran
- Kalaylı bakır örgü ekran
- Çalışma sıcaklığı: hareketli (- 5)-(+60)°C, sabit (-40)-(+60)°C
- İletken çevrim direnci: max. 110 Ohm/km
- Kapasite (800 Hz): nom. 29,5 nF/km
- Çalışma gerilimi: max. 100 V
- Empedans: 3-20 MHz, 150 Ohm ±%15

Profibus-DP ağında kullanılan kablonun çalışma frekansına bağlı olarak veri iletiminde meydana gelen zayıflama oranları izelge 6.2'de verilmiştir. Veri iletimi sırasında meydana gelen veri zayıflaması, veri bozulması veya veri kaybolması çalışma frekansı dışında iletim mesafesi, kablo teknik özellikleri ve dış ortamdaki bozucu etkilere de bağlı olarak değişmektedir. Bu durum özellikle uydu haberleşmesi veya diğer kablosuz haberleşme yöntemlerinde daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır.

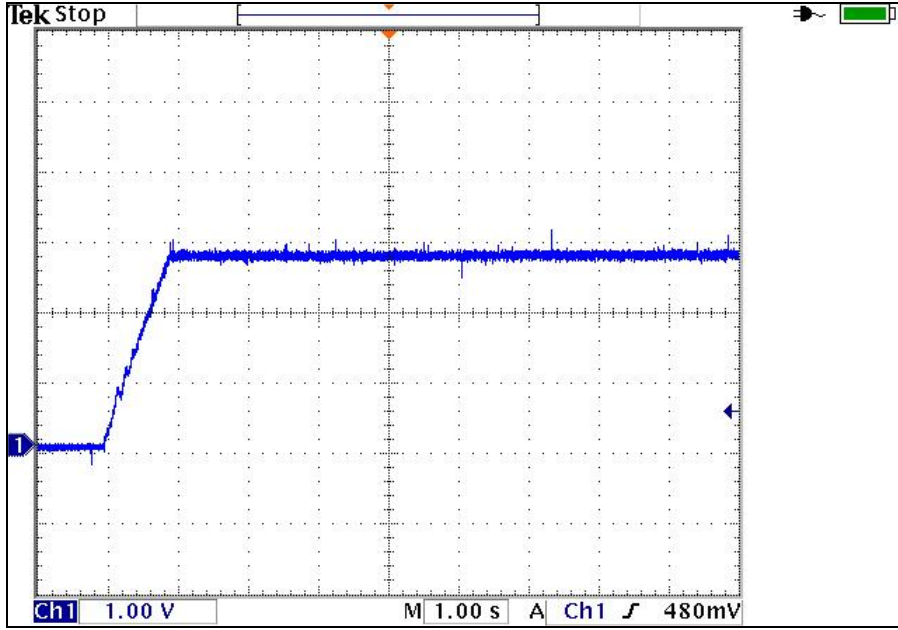
Çizelge 6.2. Ağ Kablosunda veri zayıflaması [24]

	alışma Frekansı	Zayıflama Miktarı
Profibus kablosu	9,6 kHz	2,5 dB/km
	38,4 kHz	4 dB/km
	4 MHz	22 dB/km
	16,0 MHz	42 dB/km

### 6.3. AA Motorun Denetim Analizi

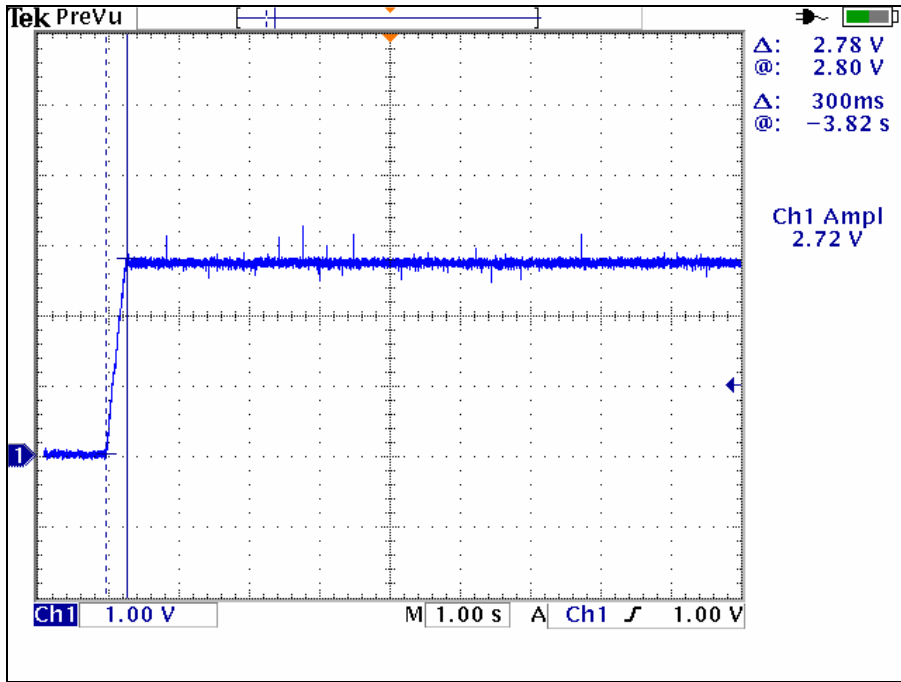
Deneysel alışmalar, sistemlerin Ağ tabanlı denetimlerinde performans analizini ortaya koyacak, karşılaşılan sorunları ifade edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, sistemlerin Profibus-DP ağı kullanılarak tasarlanması ve Bulanık mantık ile denetiminin çalışma performansına etkileri ve ağ karakteriştiği deneysel analizler ile ortaya konmuştur.

şekil 6.1'de 3 fazlı asenkron motorun Profibus-DP ağı kullanılarak denetiminde 1500 d/d'da elde edilen hız eğrisi görülmektedir. şekil 6.1'de denetlenen motorun denetim sinyaline tepki süresi 500 ms olarak ölçülmüştür. Bu süre içerisinde motor hızı sıfırdan 1500 d/d'ya ulaşmıştır ve motorun tepki (kalkınma) süresi 136 ms mertebesine kadar iyileştirilebilmiştir. Asenkron motorun denetimi uzaktan bulanık mantık ile gerçekleştirilmiştir.

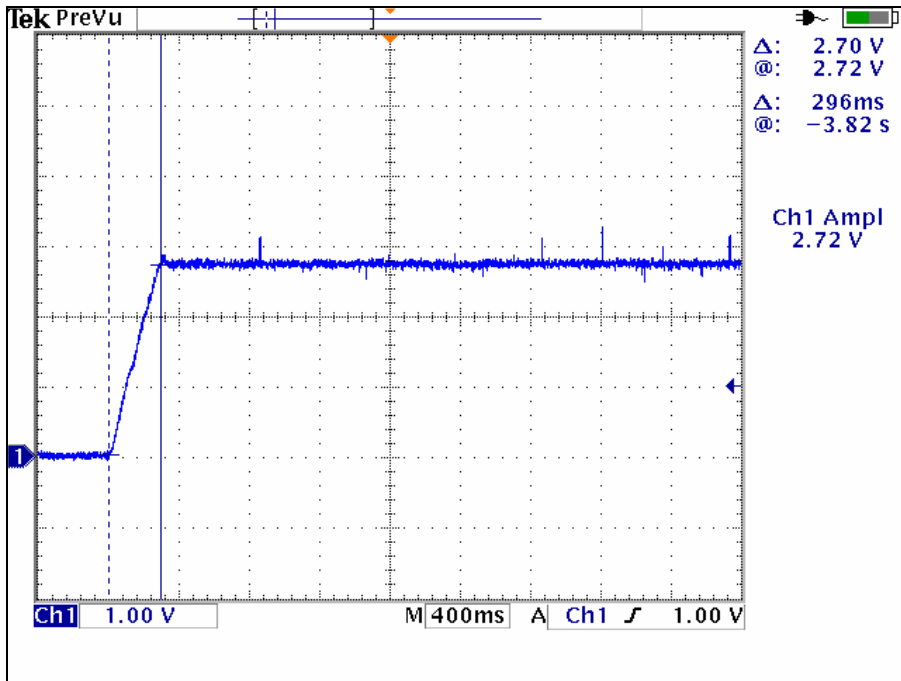


Şekil 6.1. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 500 ms)

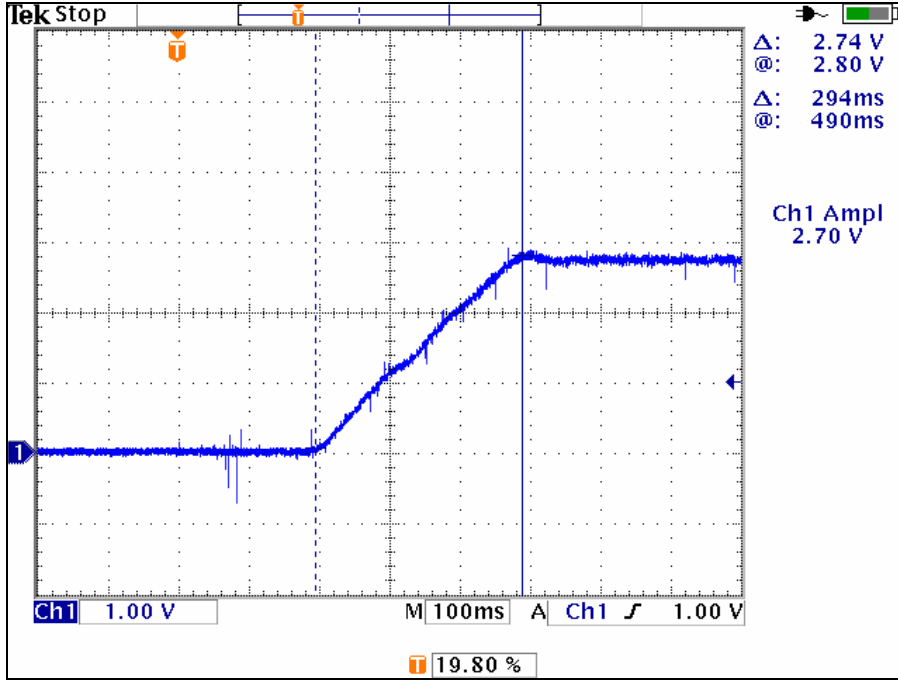
Motorun tepkisi Şekil 6.2'de 300 ms, Şekil 6.3'te 296 ms ve Şekil 6.4'te 294 ms olarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreler çalışmaya bağlı olarak istenilen performansı sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmelidir. Gerçek zamanlı hassas çalışma şartları isteyen uygulamalar için 300-500 ms'lik tepki süreleri sistemin performansı olumsuz etkilemektedir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta uzman tecrübesine dayanarak gerekli görülen sınır değeri yakalamaktır. Çünkü sıfıra yakın kalkınma süresi ve daha da önemlisi motor hızını 1500 d/d'dan sıfıra düşürme süresi motora zarar vermeyecek oranda ayarlanabilmelidir. Motor hızındaki çok ani düşüşler veya durmalar ters gerilim ile sağlandığından motor sargılarına zarar verme durumu söz konusudur.



Şekil 6.2. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 300 ms)



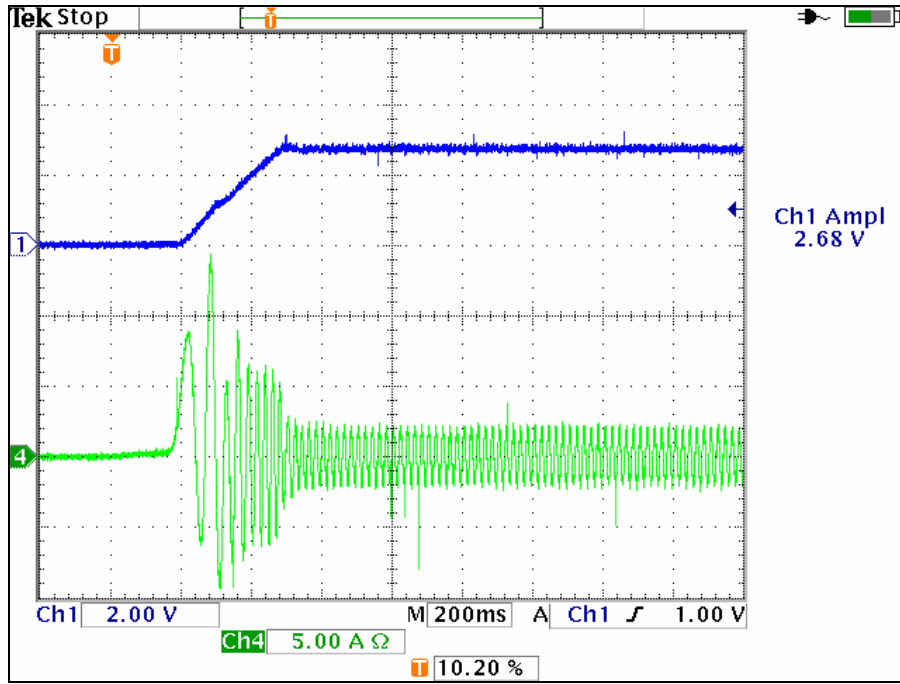
Şekil 6.3. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 296 ms)



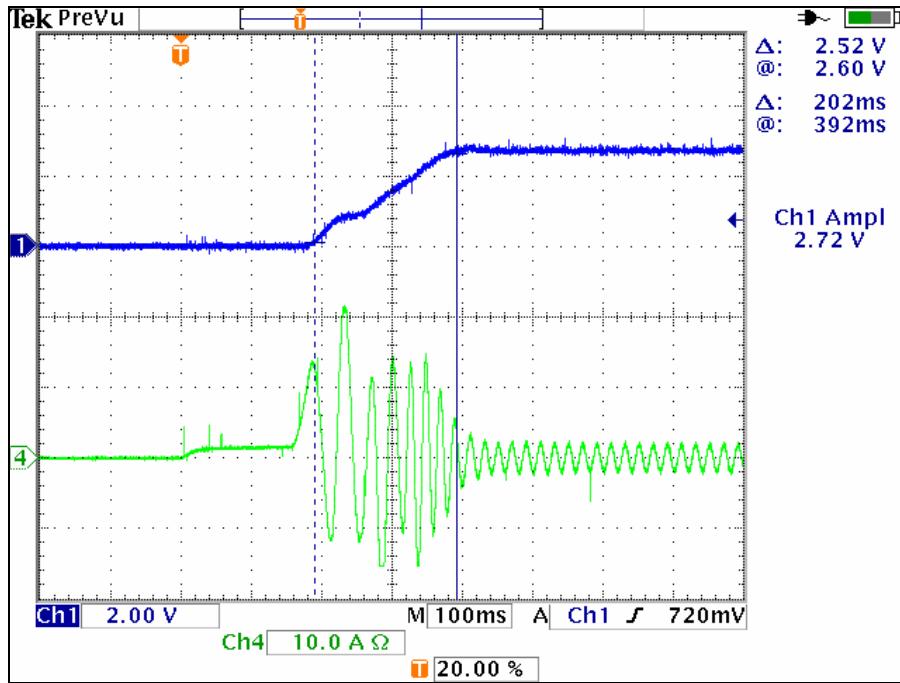
Şekil 6.4. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 294 ms)

Şekil 6.5'de motorun kalkınma anında hızın tam devrine varış süresi ve kalkınma akımının oturma süresi görülmektedir. Her iki sürenin yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir.

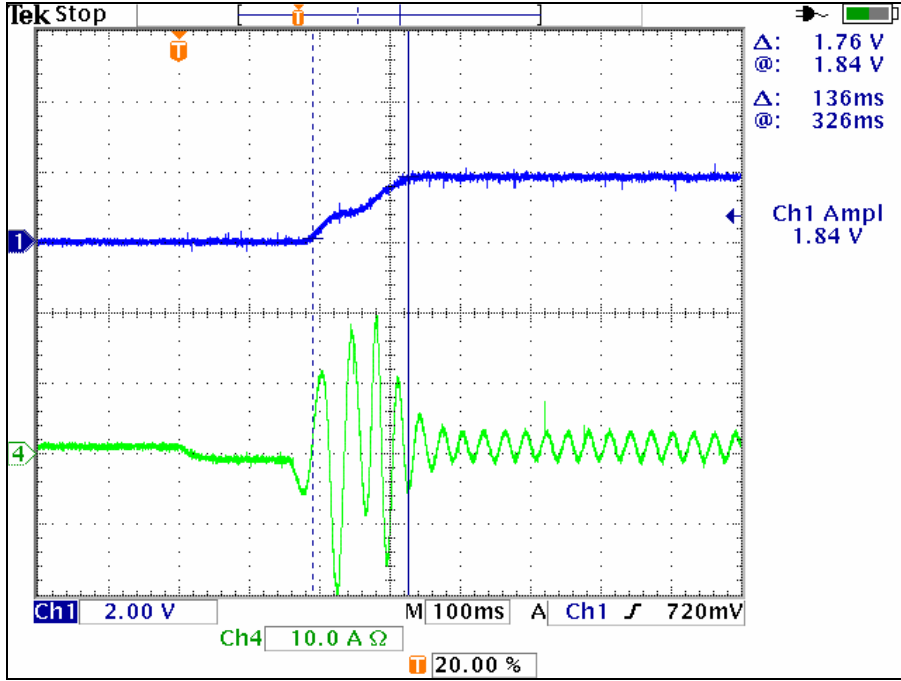
Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de motorun hız ve akım eğrilerinin farklı gerçekleşme süreleri ve değerleri görülmektedir. Özellikle Şekil 6.7'de motorun tam devire ulaşması ve bu anda da kalkınma akımının oturma süresinin 136 ms olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu süre elde edilen en düşük kalkınma süresi olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.5. AA motorun hız ve akım eğrisi (1500 d/d)



Şekil 6.6. AA motorun hız ve akım eğrisi (1500 d/d, 202 ms)



Şekil 6.7. AA motorun hız eğrisi (1500 d/d, 136 ms)

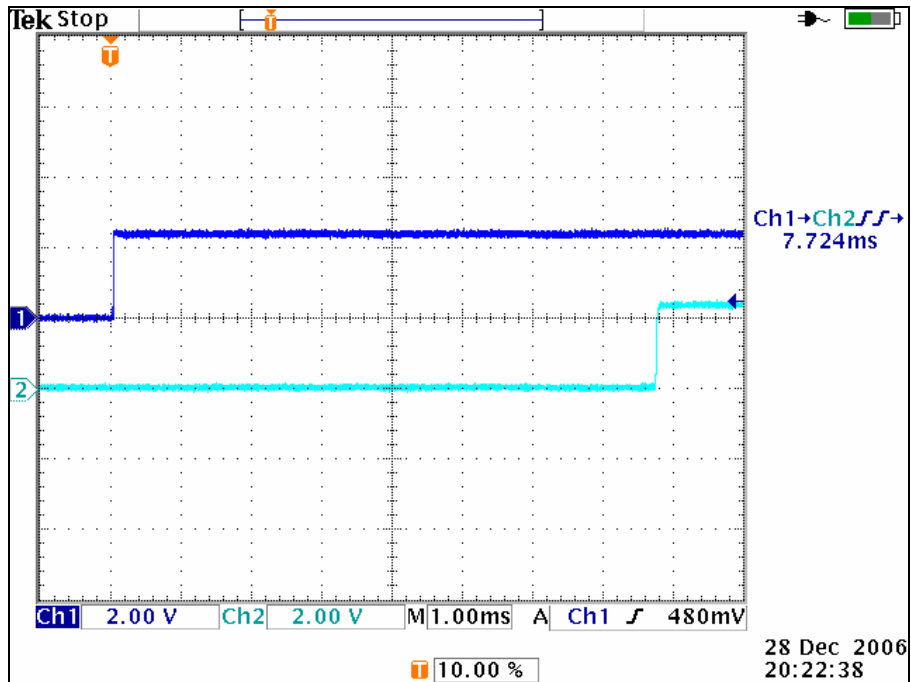
#### 6.4. Ağ Gecikmesi Analizi

Profibus-DP ağına bağlı donanımların ağ omurgası üzerinden CPU denetiminde birbirleri ile haberleşmesi sırasında meydana gelen gecikmeler yapılan deneysel analizler sonucunda görülmüştür ki her an için farklılık arz etmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri ağ tabanlı sistemlerin karakteristik özelliği olan ve matematiksel modeli oluşturulamayan sürekli değişen ve rasgele gerçekleşen işlemlerdir. Bu işlemler ağ ortamında gerçekleşen veri trafiği, işlemci veri işleme hızı, veri işlemede kurallar bütünü, donanımların hızı ve tepki oranları ve kullanıcı işlemleri olarak özetlenebilir. Profibus-DP ağ omurgasına bağlı ET200M ile ET200L-SC modülleri arasındaki veri iletiminde gözlenen durumlar Şekil 6.8 ile Şekil 6.11 arasında verilmiştir.

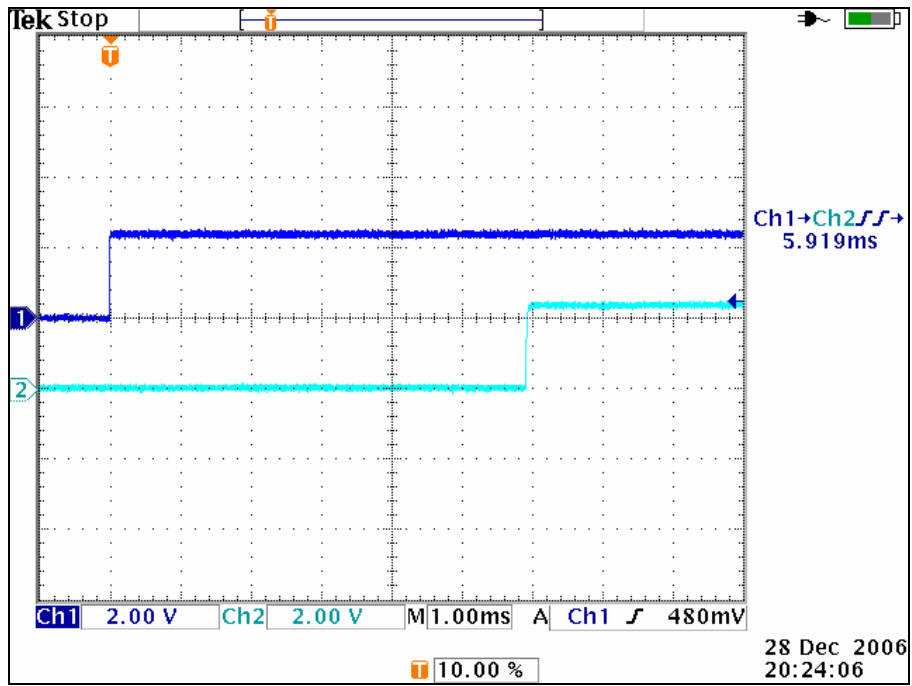
Şekil 6.8'de 7.724 ms olarak gerçekleşen ağ gecikmesi ağa bağlanan bir modülden CPU'ya gönderilen sinyalin işlenerek başka bir modüle gönderilmesi ve burada işlemin gerçekleşmesi anına kadar geçen süredir.

Bu ölçümlerde elde edilen ağ gecikmesi değerleri, algılayıcı-denetleyici ( $\tau_{ad}$ ) ve denetleyici-işletici ( $\tau_{di}$ ) gecikmesini içermektedir. Dolayısıyla ölçümlerde görülen bu değerler ağ gecikmesini iki defa göstermiş olmaktadır. Kullanılan ağ omurgasının hem algılayıcı hem de işletici için kullanılıyor olması ağ gecikmesinin her ikisi için de yaklaşık olarak eşit olarak kabul edebiliriz. Bu durumda ağ gecikmesi Şekil 6.8'de görüldüğü gibi ( $7.724/2$ ) olarak gerçekleşmiş olmaktadır.

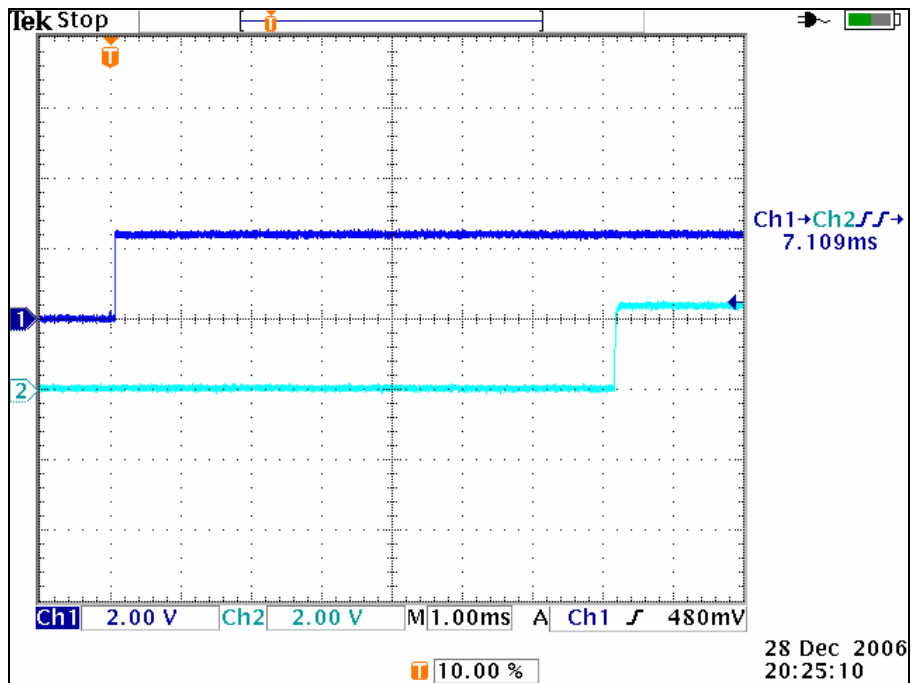
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da farklı veri trafiğine sahip ağ ortamında meydana gelen ağ gecikmeleri verilmiştir.



Şekil 6.8. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 7.724$  ms)

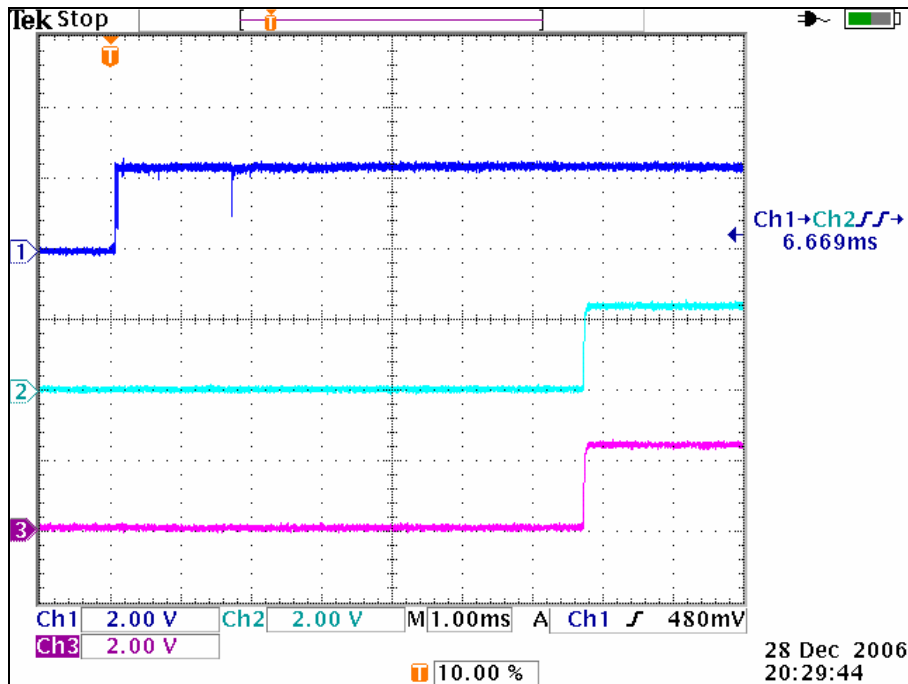


Şekil 6.9. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 5.919$  ms)



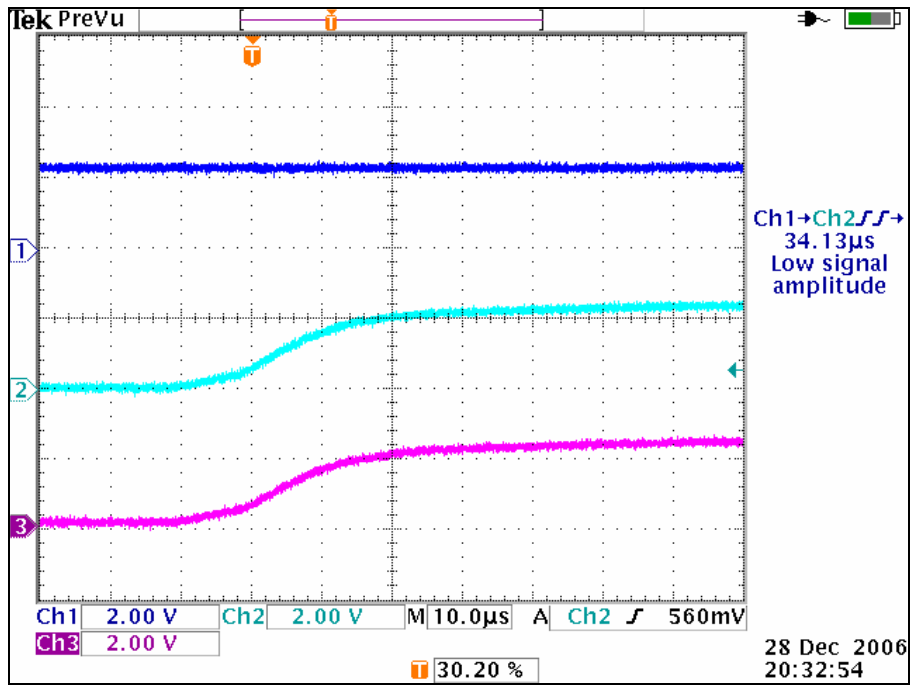
Şekil 6.10. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 7.109$  ms)

Şekil 6.11'de tek bir denetim sinyali ile denetlenen iki ayrı çıkış grafiği görülmektedir. Denetim sinyali ile elde edilen çıkışlar arasında zaman farkı 6.669 ms olarak gerçekleşmiştir ve bu gecikme ( $\tau_{ad} + \tau_{di}$ ) iki ağ gecikmesini içerisinde barındırmaktadır. Şekil 6.11'de elde edilen çıkışların aynı anda gerçekleştiği varsayılabilir ancak elde edilen grafikte çıkış sinyalleri büyütüldüğünde her iki çıkış arasında " $\mu$ s" veya " $ns$ " mertebesinde bir gecikme olduğu görülür ve bu gecikme çıkış sinyallerini elde ettiğimiz modülün veri işleme süresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece çok küçükte olsa ağdaki her donanımın kaçınılmaz olarak ağ gecikmesine ilave bir süre eklediği görülmüştür

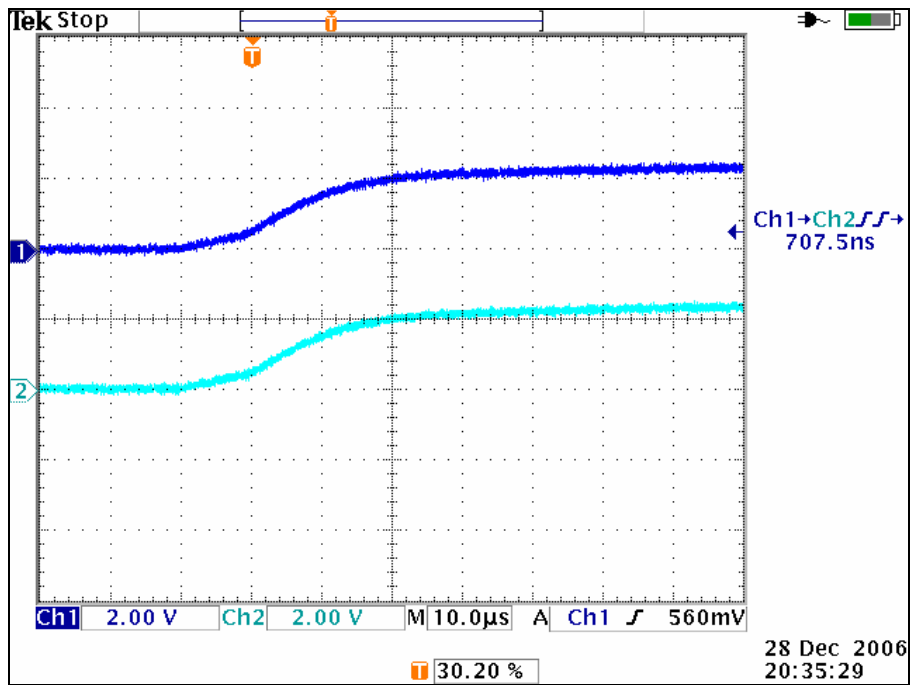


Şekil 6.11. Ağ gecikmesi ( $\tau_{ad} + \tau_{di} = 6.669$  ms)

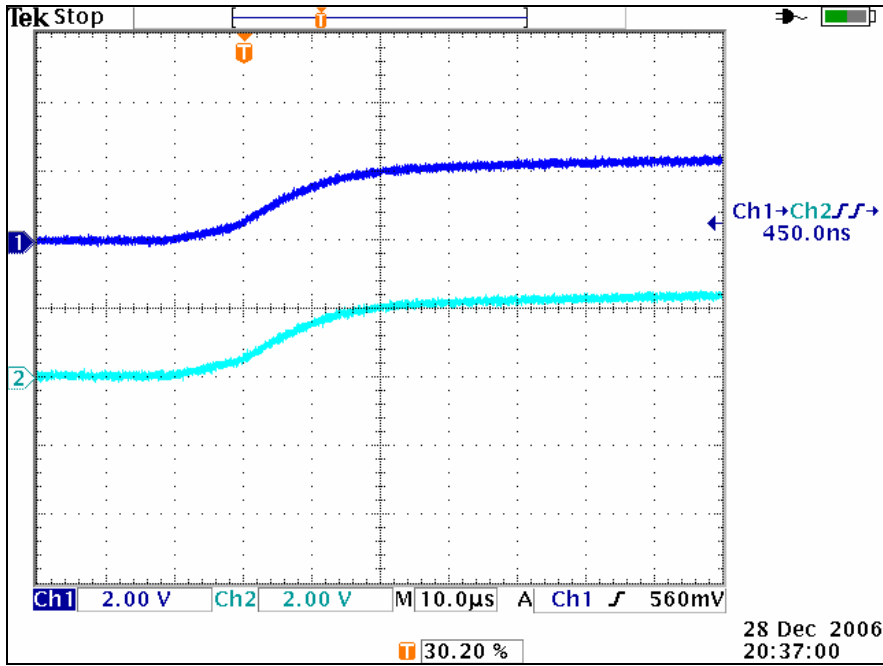
Aynı modül için aynı anda gönderilen farklı iki denetim sinyalinin modülde işlem süresini ve iki çıkış arasındaki gecikme Şekil 6.12 ile Şekil 6.18 arasında görülmektedir.



Şekil 6.12. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme (34.13 μs)

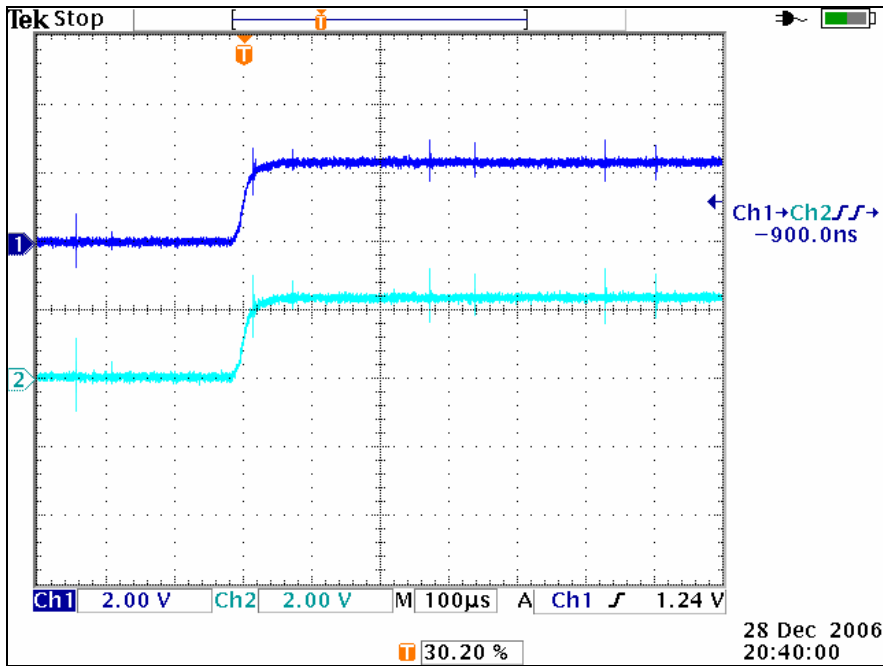


Şekil 6.13. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme (707.5 ns)



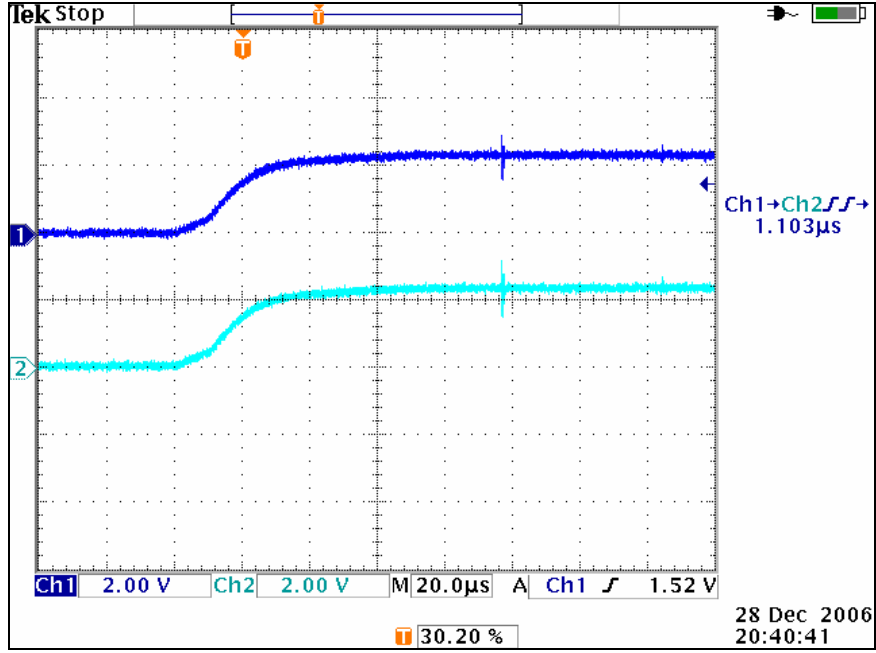
Şekil 6.14. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme (450.0 ns)

Şekil 6.15'de ağıdaki motor devreye alındığı anda elde edilen sinyaller verilmiştir ve gecikmenin arttığı görülmektedir.

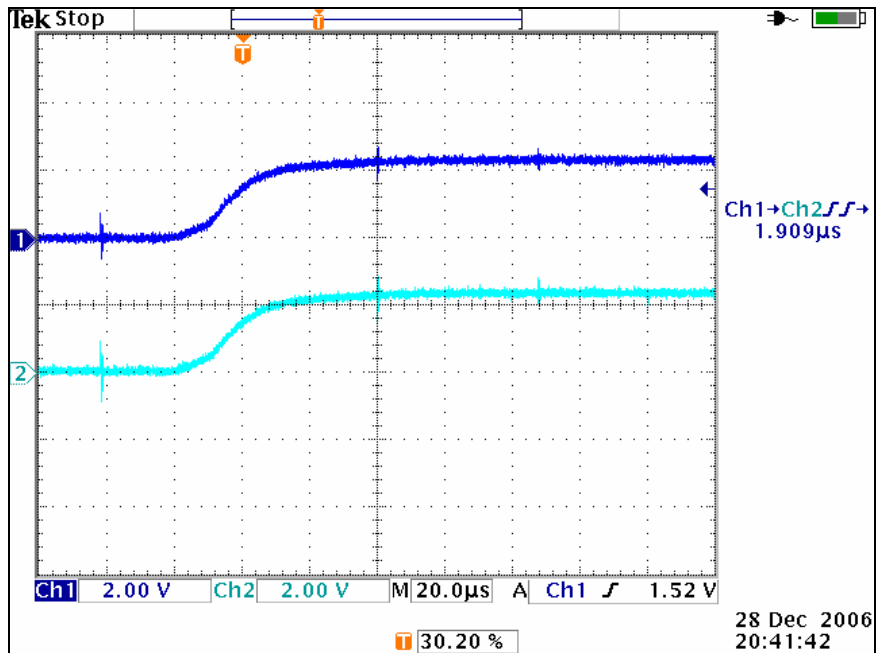


Şekil 6.15. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme (900.0 ns)

Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de ağ veri trafiği artırıldığında elde edilen çıkışlar arası gecikmenin  $1.103 \mu\text{s}$ 'ye kadar ulaştığı görülmektedir

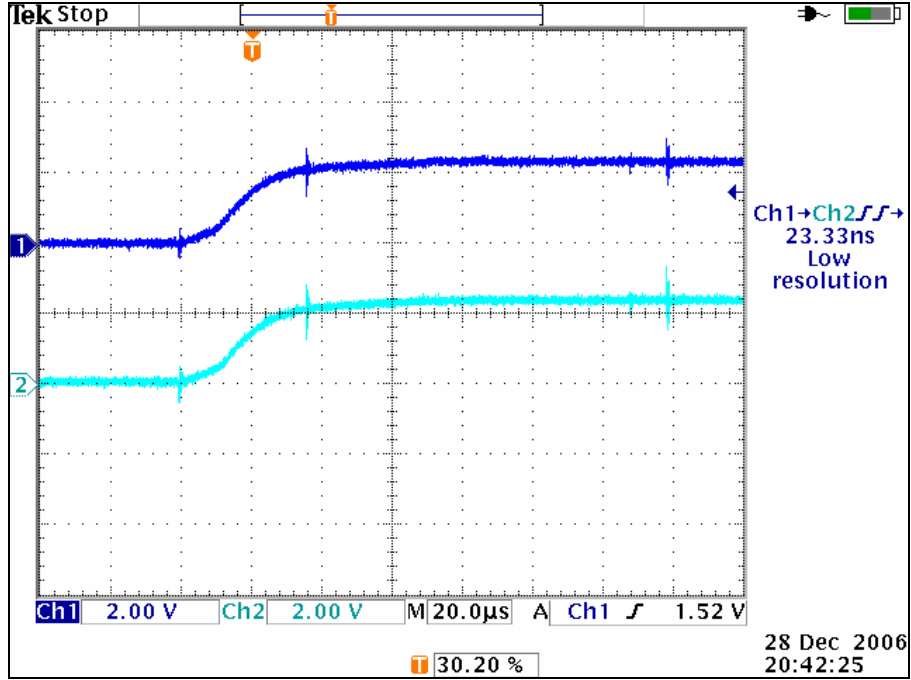


Şekil 6.16. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme ( $1.103 \mu\text{s}$ )



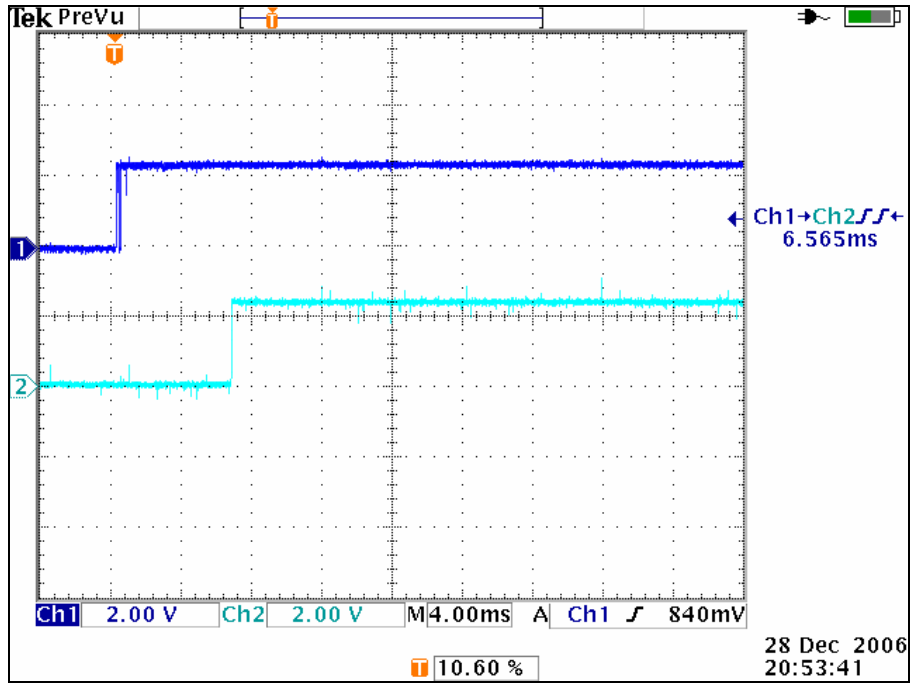
Şekil 6.17. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme ( $1.909 \mu\text{s}$ )

Şekil 6.18'de çıkışlar arası veri işlemeden kaynaklanan gecikmenin oldukça düşük seviyede gerçekleştiği görülmektedir.

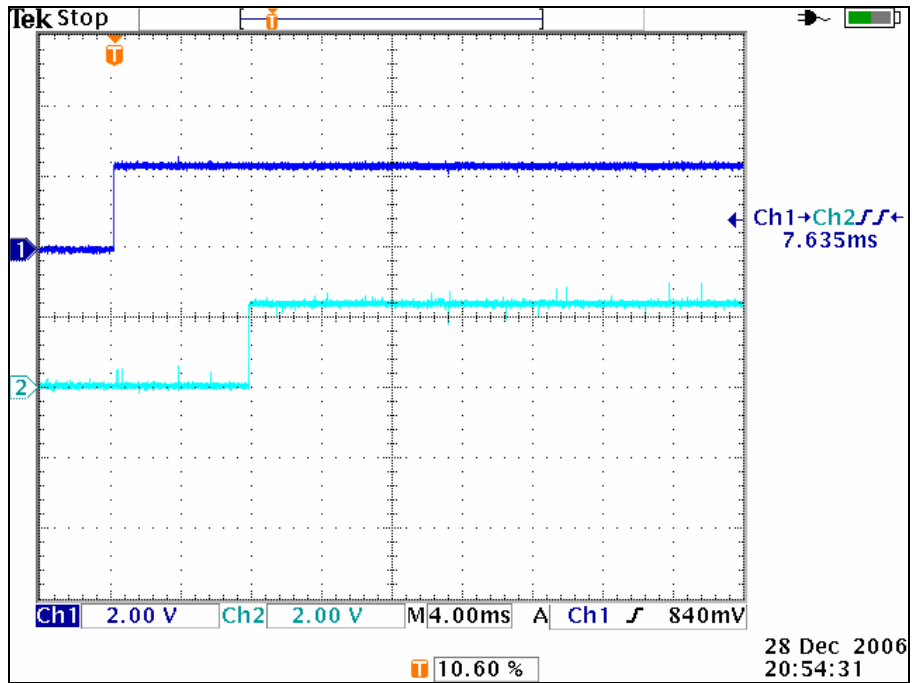


Şekil 6.18. Aynı modülde İki çıkış arasındaki gecikme (23.33 µs)

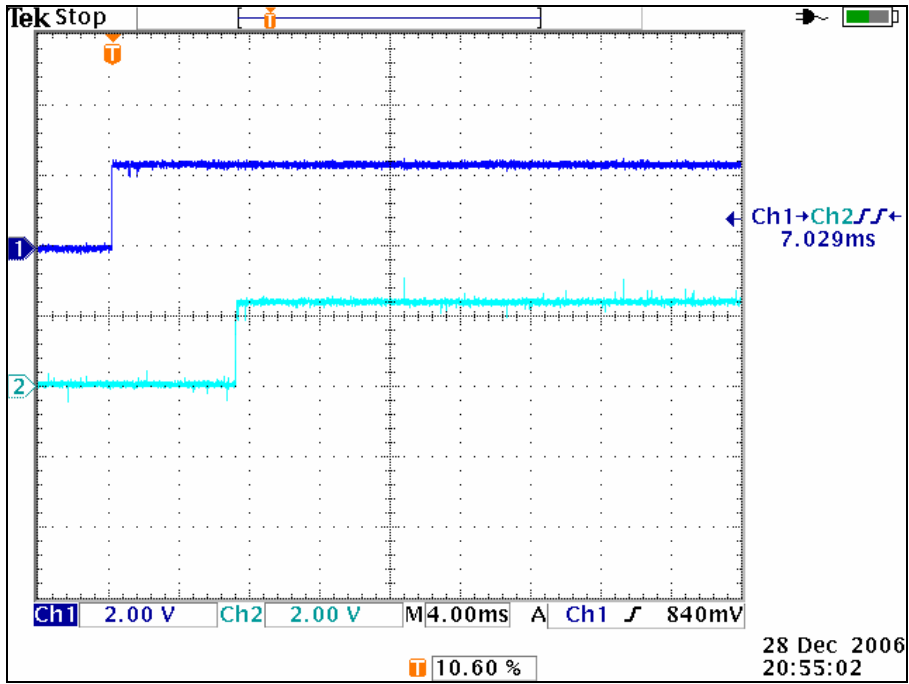
Şekil 6.19 ile Şekil 6.21 arasında Profibus-DP ağının sabit çalışma şartları ve aynı işlemlerin gerçekleştirildiği anlardaki gözlemler verilmiştir. Burada da görüldüğü gibi çalışma şartları sabit olmasına karşın meydana gelen ağ gecikmesi sabit kalmamaktadır. Bu durum ağ tabanlı sistemlerin denetiminde bulanık mantık gibi matematiksel modele ihtiyaç dilsel denetim stratejisini kullanan yöntemlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu sistemlerde klasik denetim yöntemlerinin kullanılması sistem performansını kabul edilebilir sınırların altına çekecektir.



Şekil 6.19. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (6.565 ms)

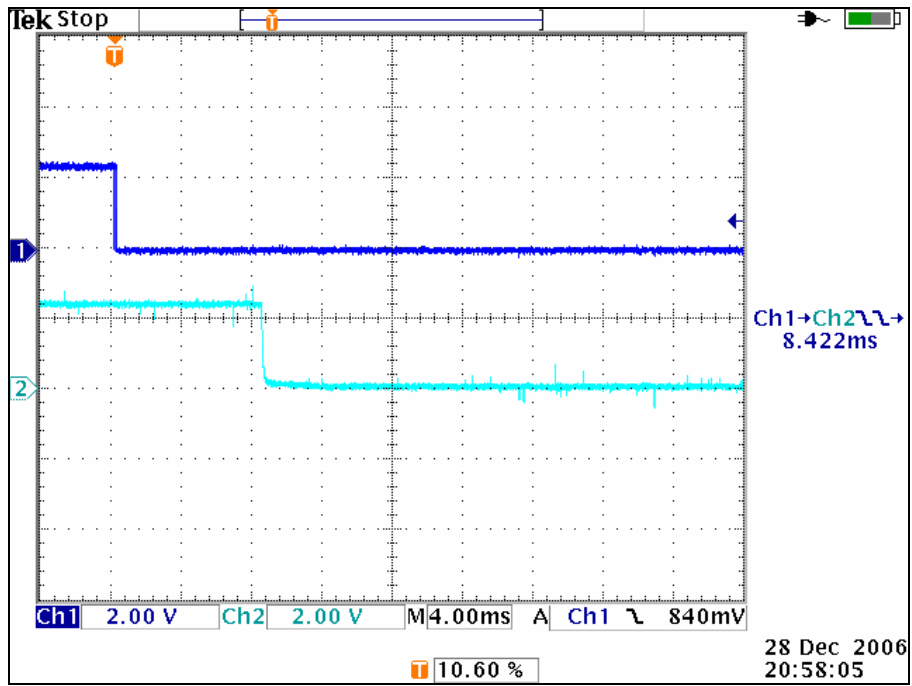


Şekil 6.20. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.635 ms)

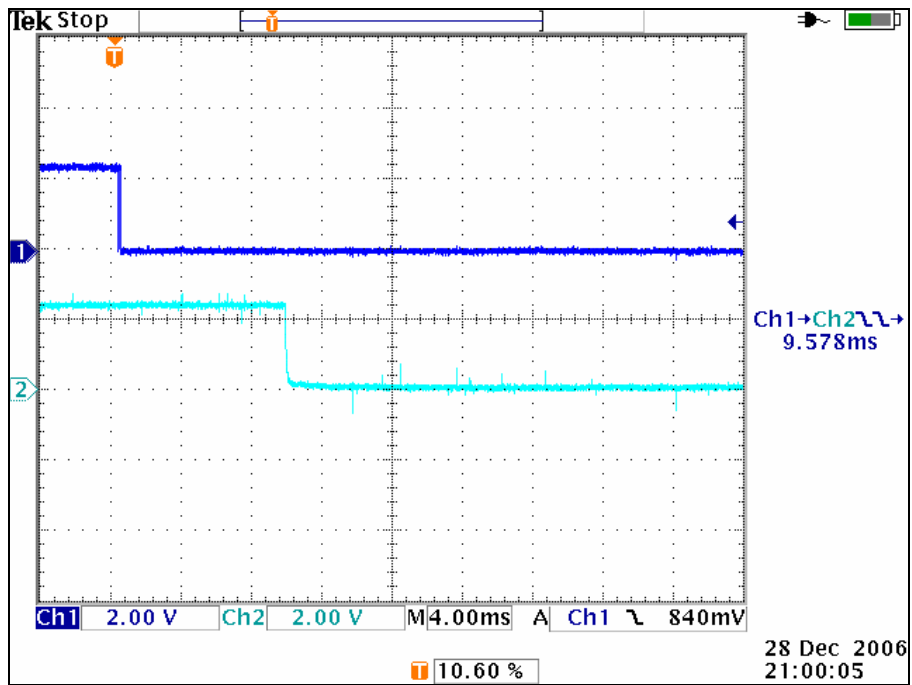


Şekil 6.21. Sabit şartlar altında gerçekleşen ağ gecikmesi (7.029 ms)

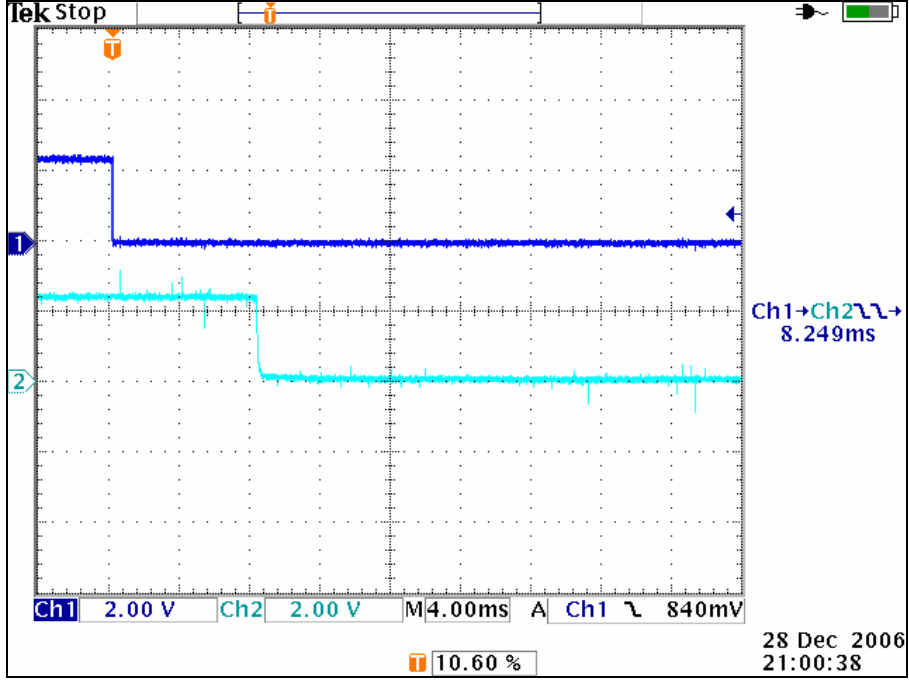
Bu aşamaya kadar elde edilen ağ gecikmeleri ve donanımların veri işleme süreleri işlem başlatma, yükselen kenar, akım geçişinin başlaması, motor hızının yükselmesi gibi durumlar gözlenerek elde edilmiştir. Şekil 6.22 ile Şekil 6.24 arasında ise sabit çalışma şartları altında aynı işlemin sonlandırılması farklı zamanlarda gerçekleştirilmiş ve farklı ağ gecikmeleri olduğu görülmüştür. Burada sinyallerde düşen kenar veya akımın, gerilimin azalması işleminin gerçekleşme süreleri incelenmiştir. Teorik olarak aynı şartlar altında aynı işin başlatılması da bitirilmesi de eşit sürelerde gerçekleşmesi beklenir ancak elde edilen grafikler bunun böyle olmadığını göstermektedir. Bunun nedeni olarak, şu ana kadar elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere ağdaki gelişigüzel davranışlar silsilesinin etkili olduğu ve işlemlerin sonlandırılmasının genellikle daha uzun sürelerde gerçekleşmesi söylenebilir. Bir motorun tam devire ulaşması ile tamamen durma işlemi farklı sürelerde gerçekleşir. Çünkü motorun ataleti dönme işlemini bir süre daha devam ettirir. Bunu önlemek için çeşitli yöntemler uygulanır ki bu da zaten ilave bir süre gerektirir.



Şekil 6.22. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (8.422 ms)



Şekil 6.23. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (9.578 ms)



Şekil 6.24. Sabit çalışma şartları altında işlem sonlandırma (8.249 ms)

Profibus-Dp tabanlı ağ kontrol sistemlerinde, yapılan deneysel analizler sonucunda ağ gecikmesinin, modüllerin veri işleme sürelerinin, işlemcinin gelen verileri değerlendirmesi ve denetim sinyallerini oluşturması ağın yapısının bir sonucu olarak değişkenlik göstermektedir. Bu durum tahminci sistemlerin başarımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra tasarlanan sistemlerin denetim yöntemleri tercihini de belirleyen önemli bir faktör olmaktadır. Ağ tabanlı sistemlerde istenen arzu edilen çalışma performansını yakalayabilmek için iki aşamalı bir yöntem izlenmelidir.

- Sistem tasarımı aşamasında değerlendirilecek faktörler, tercihler
- Sistem denetimi aşamasında kullanılacak yöntemler

Birinci aşamada, kar-maliyet-fonksiyonellik kriterleri ışığında istenilen işi gerçekleştirebilecek donanımlar arasında uygun tercihler yapılmalıdır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler, kullanılacak donanımların veri işleme hızlarının yüksek olması gerektiğini göstermiştir.

İkinci aşamada, tasarlanan sistemin sadece ağ yapısından kaynaklanan kararsız çalışma durumu olmadığı sistemin kendisinin de bazı kararsız çalışma şartlarına sahip olabileceği, gerçekleştirilen işlemlerin sayı ve karmaşıklığı sisteme ilave kararsızlıklar ve denetim zorluğu getireceği bilinmelidir. Bu durumda uygun denetim yöntem veya yöntemleri seçilerek sistem ve ağ yapısından kaynaklanan kararsız çalışma durumları elimine edilebilir veya kabul edilebilir sınırlara çekilebilir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, Profibus-DP ağ tabanlı bina otomasyonu ve endüstriyel otomasyon tasarım ve uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bina otomasyonu ile geleneksel ve zeki sistemlerin birleştirildiği yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Ağ tabanlı endüstriyel otomasyon tasarımları, modern elektrik tesisat tekniklerinin ve donanımlarının kullanılmaya başlanmasıyla bina otomasyonunda da uygulama alanı bulmuştur.

Profibus-DP, kritik zamanlı endüstriyel otomasyon uygulamalarında, sahip olduğu yüksek hızlı veri iletimi özelliği nedeni ile tercih edilebilir bir yapıya sahiptir.

Ağ tabanlı otomasyon sistemlerinde, ağ yapılarının kendine has bazı özellikleri ve uygulamaya bağlı olarak değişen şartlar nedeni ile sistem matematiksel modelinin oluşturulması mümkün olmamaktadır. Sistemin matematiksel modelinde en önemli problem olarak, ağ uzunluğu, ağ trafiği ve kullanılan donanımların özelliklerine bağlı olarak değişen “ağ gecikmesi” gösterilebilir. Sürekli olarak kararlı çalışma şartlarını sağlayamayan ve çok fazla değişkene bağlı olan, bu nedenle de matematiksel modelinin oluşturulmasında zorluklarla karşılaşılan ağ tabanlı otomasyon sistemlerinde kullanılan ağ protokolü önemli bir etkiye sahiptir. Kullanılan ağ protokolü, ağın hızından performansına kadar birçok özelliğini etkilemektedir. Tasarımda kullanılan Profibus-DP ağ yapısı yüksek veri iletim hızı ile ağ gecikmesinin azaltılmasında önemli bir etki yaratmıştır. Buna karşın tasarımlar üzerinde gerçekleştirilen deneysel analizlerde görülmüştür ki, ağ gecikmesi sabit kalmamaktadır. Bu durum sistemlerin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak, bina otomasyonu, üretim bantları gibi kritik zamanlı uygulamalara göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ağ

gecikmesinin performansa olumsuz etkisi bina otomasyonunda en düşük seviyede gerçekleşmektedir.

Bina otomasyonu yapısında Profibus-DP ağ yapısının tercih edilmesinde önemli bir faktör de otomasyonda oldukça geniş bir uygulama alanı bulan PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) cihazları ile uyumlu olmasıdır. Bu uyum Profibus-DP tabanlı otomasyon sistemlerinin kullanılabilirliği artıran önemli bir etkidir. Profibus-DP ile PLC uyumu binalarda güç, aydınlatma ve güvenlik sistemlerini tek bir tasarım içinde ilave donanımlara ihtiyaç duymadan gerçekleştirme imkanı sunmuştur. Bu nedenle Tasarlanan bina otomasyonu, denetim, kurulum, maliyet, güvenilirlik, tasarım esnekliği alanlarında sisteme önemli avantajlar sağlamıştır. Bunların dışında sistemin ağ omurgası üzerinde bulunan CPU ile gerçek zamanlı denetimi tasarıma klasik sistemlere göre yüksek kontrol edilebilirlik özelliği kazandırmıştır.

BMD uygulamasında denetlenen sistemin giriş sayısı, çıkış sayısı, üyelik fonksiyonu ve kural sayısına bağlı olarak denetim sinyalinin hesaplamada işlem süresi farklı olacaktır. Bu işlem süresinin artması sistemin performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sürenin azaltılmasında, sistemde kullanılan donanımların çalışma hızının önemli bir faktör olduğunu unutmamak gerekir. Ağ gecikmesini etkileyen faktörler aynı zamanda denetim sinyali hesaplama süresini dolayısı ile BMD uygulama süresini doğrudan etkilemektedir.

Bulanık mantık ile denetimde sistemin karmaşıklığı (giriş-çıkış sayısı, kural sayısı) denetim performansını doğrudan etkilemektedir. Bu etki denetim sinyalinin elde edilmesi ve iletilmesi sürecinde ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada iki unsur önem taşımaktadır. Bunlardan birincisi kullanılan işlemcinin hızı ikincisi ise donanım ve ağın hızı. İşlemci hızı bulanık mantık denetim uygulama süresini etkilerken donanım ve ağ hızı verinin iletilmesi süresini etkilemektedir. Bunların sistemin yapısal özellikleri ile ilgili olduğu

görülmektedir. Ancak sistemde kullanılan Profibus-DP ağı, ağ hızından kaynaklanan olumsuz etkileri minimize etmiştir.

Ağ gecikmesinin sistem performansını düşürdüğü bir gerçektir. Ancak bu gecikme sadece donanım ve ağ uzunluğundan kaynaklanmamakta aynı zamanda işlemler arasındaki senkronizasyon bozukluğu da nedenler arasında yer almaktadır.

İşlem süresinin donanıma bağlı olması yok edilemeyeceğini göstermektedir. Ayrıca sistemde çok fazla işlemin yapıyor olması işlemler arası senkronizasyonun her zaman gerçekleşmesini engellemektedir. Bu durumda, özellikle uzaktan denetim gerektiren uygulamalarda ağ gecikmesini dikkate alarak sistemi tasarlamak gerekmektedir.

Endüstriyel otomasyon ve bina otomasyonu ortak özellikler taşımasına karşın bazı konularda önemli farklılıklara da sahiptirler. Bunlardan en önemlisi ağ gecikmesinin sistem üzerindeki etkisidir. Endüstriyel otomasyonda gerçekleştirilen proseslerin ağ gecikmesinden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Buna karşın bina otomasyonunda sistemin, ağ gecikmesinin etkilerine karşı daha esnek olduğu ortaya çıkmaktadır. Buradaki en önemli faktörün sistemden beklenen işlemlerin gerçekleşme süresinin ne kadar esnek olduğudur. Bu esneklik sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Ancak proses gerçekleşme süresindeki esnekliğin her proses için farklı olacağı unutulmamalıdır. Bu durum, sistemin modelinin oluşturulmasını zorlaştıran önemli bir etkidir.

Bina aydınlatma denetimi, güç denetimi, bina güvenlik denetimi ve özel amaçlı sistemlerin denetimi gibi ağ tabanlı otomasyon uygulamalarında sistemin tepki zamanı, ağ kaynaklı gecikmenin etkisi ile daha uzun olacaktır. Ancak, özellikle aydınlatma denetiminde, aydınlık seviyesinde ani

değişimlerin göz sağlığı açısından zararlı olması ağ kaynaklı sistem tepki zamanı gecikmesini sistem denetimi için sorun olmaktan çıkarmaktadır.

Ağ tabanlı sistemlerin en önemli özelliği, ağ yapısı içerisindeki her bir donanım ve yazılımın sistemin tamamını etkilemesidir. Profibus-DP ağ omurgalı tasarım klasik sistemlere göre düşük maliyet ve yüksek kontrol edilebilirlik gibi üstünlükler sağladığı gibi Bulanık Mantık Denetimi uygulaması ile de sistemin etkinliği dolayısıyla performansının artırıldığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

1. Rubio, Benito, M. D., Fuertes, J. M., Kahoraho, E., Perez Arzoz, N., "Performance Evaluation of Four Fieldbuses" ***Emerging Technologies and Factory Automation, Proceedings, IEEE International Conference***, 2: 881-890 (1999).
2. Sriskanthan, N., Tan, F., Karande, A., "Bluetooth based home automation system", ***Microprocessors and Microsystems***, 26: 281-289 (2002).
3. Stipidis, E., Shuming, L., Powner, E. T., "Intelligent Building Systems: System Integration using ATM", ***IEEE***, 349-358 (1998).
4. Davidsson, P., Magnus, B., "A Multi-agent System for Controlling Intelligent Buildings" ***In Proceedings of 4th International Conference on Multi-Agent System***, USA, 377-378 (2000).
5. Loveday, D. L., Virk, G. S., Cheung, J. Y. M., Azzi, D., "Intelligence in buildings: the potential of advanced modelling", ***Automation in Construction***, 6: 447-461 (1997).
6. Lee, K.S., Lee, S., Oh, K.T. and Baek, S. M., "Network Configuration Technique for Home appliances" ***Proceedings of ICCE 2002***, 1: 180-181 (2002).
7. Snoonian, D., "Smart Buildings", ***IEEE Spectr.***, 40 (8): 18-23 (2003).
8. Nunes, R., Delgado, J., "An Architecture for Home Automation System", ***IEEE Intl Conf. Electron. Circuits Syst.***, 259-262 (1998).
9. Sriskanthan, N., Tan, F., Karande, A., "Bluetooth Based Home Automation System", ***Microprocessor. Microsyst.***, 26: 281-289 (2002).
10. Lee, K.S., Lee, K.C., Lee, S., Oh, K.T., Baek, S.M., "Network Configuration Technique for Home Appliances Based on LnCP", ***IEEE Trans. Comm. Electron.***, 49 (2): 367-374 (2003).
11. Lee, K.C., Lee, H.-H., "Network-based Fire-Detection System via Controller Area Network for Smart Home Automation", ***IEEE***, 1093-1100 (2004).
12. Song, W.S., Hong, S.H., Song, K.D., "Performance Analysis of BACnet-based fire detection/monitoring system in the high rise building",

*Journal of the Architectural Institute of Korea*, 18 (1): 171-178 (2002).

13. Yılmaz, C., Üncü, İ. S., “ Profibus-DP Ağ Tabanlı Bina Otomasyonu Tasarımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, ***Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 12 (2): 161-166 (2006).
14. Lee, C. F., Xu, Y. P., “Theoretical study on a New Multi-Sensor Systems”, ***Sensor for Industry Conference***, USA, 187-191 (2001).
15. Zeljko, J. A., “Minimization Of The Optical Smoke Detector False Alarm Probability By Optimizing Its Frequency Characteristic”, ***IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement***, 49: 37-42, (2000).
16. Nakanishi, S., “Intelligent Fire Warning System Using Fuzzy Technology”, ***Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems***, 5: 95-107 (1993).
17. Dexter, A. L., Trehwella, D. W., “Building control systems: Fuzzy rule-based control and performance assesment”, ***Buildin Services Eng. Res. And Technology***, 11 (4): 115-124 (1990).
18. Penner, R. R., Steinmetz, E. S., “Model-based automation of the design of user interfaces to digital control systems”, ***IEEE Transactions on systems, Systems and humans***, 32 (1): 41-49 (2002).
19. Wei, Z., Branicky, M. S. and Philips, S. M., “Stability of networked control systems”, ***IEEE Control Systems Magazine***, 84-98 (2001).
20. Veronesi, M., “Performance improvement of Smith Predictor through automatic computation of dead time”, Technical report, Yokogawa Italia, ***Industrial Automation Department***, 1: 15-21 (2003).
21. Weidong, Z. and Xiaoming, X., “Analytical design and analysis of mismatched Smith predictor”, ***ISA Transactions***, 5 (2): 133-138 (2001).
22. Xiao, Lin., Hassibi, A. and How, J. P., “Control with random communication delays via a discrete-time jump systems approach”, ***Proceedings of the American Control Conference***, 2199-2204 (2000).

23. CENELEC, "Profibus Standard Vol. 2", **European Standard EN 50 170**, Bruselas, 87-112 (1996).
24. Volz, M., "Profibus Technical Description", **Profibus Int.**, Germany, 54-62 (1997).
25. DIN 19 245, "Profibus Standard Part 1 and 2", **German Institute of Normalization**, April, 245-251 (1995).
26. DIN 19 245, "Profibus-DP–Process Field Bus Decentralised Periphery–Part 3", Draft Standard, **German Institute of Normalization**, 25-29 (1994).
27. Lee, C. C., "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, part I", **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, 20 (2): 404-418 (1990).
28. Elmas, Ç., "Bulanık mantık denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık mantık)", **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 35-40, 85-95 (2003).
29. Zadeh, L. A., "Fuzzy sets", Information and Control, **Academic Press**, New York, 8: 338-353, (1965).
30. Şen, Z., "Mühendislikte bulanık mantık ile modelleme prensipleri", Bilge kültür sanat, Özener matbaacılık, **Su Vakfı Yayınları**, İstanbul, 2. baskı 7-13 (2004).
31. Yılmaz, C., Gürdal, O., "Profibus İle Klasik Ağ Sistemleri Arasında Bir Karşılaştırma", **Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu**, BMYS'2005, Kocaeli, 557-564 (2005).
32. Suk, L., Sang, H. L., Kyung, C. L., "Remote fuzzy logic control for networked control system" Industrial Electronics Society, **IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE**, 3: 1822–1827 (2001).
33. Frisch, I. T., Kershenbaum, A., Post, M. J., "Network management and control of protocols" **Global Telecommunications Conference and Exhibition**, 'Communications for the Information Age' Conference Record, GLOBECOM'88, IEEE, 3: 1508 -1519 (1988).
34. Boyd, R. C. and Johnston, A. R., "Network operation and management in a multi-vendor environment" **IEEE Communications Magazine**, 25 (7): 40-47 (1987).
35. Husein, S., Cooling, J. E., "Networked control systems-plant interfacing" **Issues Control '91**, International Conference on, 2: 1187 -1192 (1991).

36. Stubbs, A., Dullerud, G. E., "Networked control of distributed systems" Decision and Control, ***Proceedings of the 40th IEEE Conference***, 1: 203-204 (2001).
37. Walsh, G. C., Hong Y., "Scheduling of networked control systems" ***IEEE Control Systems Magazine***, 21 (1): 57–65 (2001).
38. Raji, R., "Smart network for control" ***IEEE Spectrum***, 49-55 (1994).
39. Yong H. K., Wook H. K., Hong S. P., "Stability and a scheduling method for network-based control systems" Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, ***Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference***, 2: 934 –939, 5-10 (1996).
40. Halevi, Y., Ray, A., "Integrated communication and control systems: Part I - Analysis, Part II – Design" ***Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control***, 110: 367-381 (1988).
41. Walsh, G. C., Beldiman, O., Bushnell, L., "Error encoding algorithms for networked control systems" Decision and Control, ***Proceedings of the 38th IEEE Conference***, 5: 4933–4938 (1999).
42. Walsh, G. C., Beldiman, O., Bushnell, L., "Asymptotic behavior of networked control systems" ***Proc. of the IEEE Int. Conference on Control Applications***, 2: 1448-1453 (1999).
43. Beldiman, O., Walsh, G. C., Bushnell, L., "Predictors for networked control systems" ***American Control Conference, Proceedings of the 2000***, 4: 2347-2351 (2000).
44. Wargui, M., Tayebi, A., Tadjine, M., Rachid, A., "On the stability of an autonomous mobile robot subject to network induced delay" Control Applications, ***Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on***, 28-30 (1997).
45. Luck, R. and Ray, A., "An observer-based compensator for distributed delays" ***Automatica***, 26 (5): 903-908 (1991).
46. Chan, H., Özgüner, Ü., "Closed-loop control of systems over a communication network with delay" ***Int. J. Control***, 62 (3): 493-510 (1995).
47. Ray, A., "Output feedback control under randomly varying distributed delays" ***J. of Guidance, Control and Dynamics***, 17 (4): 701-711 (1994).

48. Wargui, M., Hentabli, K., Tadjine, M. and Rachid, A., "Effect of network induced delay on the stability of an autonomous mobile robot" *Industrial Electronics, Control and Instrumentation, IECON 97, 23rd International Conference on*, 3: 1187-1191 (1997).
49. Ray, A., Ayyagari, A., "Networking for real-time control of integrated manufacturing processes" *Robotics and Automation, Proceedings, IEEE International Conference*, 1: 450-452 (1988).
50. Hong, S. P., Yong, H. K., Don-Sung, K., Wook, H. K., "A scheduling method for network-based control systems" *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 10 (3): 318-330 (2002).
51. Audsley, N. C., Burnd, A. and Wellings, A. J., "Deadline monotone scheduling theory and application" *IFAC J. Contr. Eng. Practice*, 71-78 (1993).
52. Beauvais, J. P. and Deplanche, A. M., "Heuristics for scheduling periodic complex real-time tasks in distributed systems" *Proc. Of IECON'95*, 55-60 (1995).
53. Branicky, M. S., Phillips, S. R., Wei, Z., "Stability of networked control systems: explicit analysis of delay" *American Control Conference, Proceedings of the 2000*, 4: 2352 -2357 (2000).
54. Yılmaz, C., "Arşivimden", (2006).
55. Feng-Li, L., Moyne, J. R., Tilbury, D. M., "Performance evaluation of control networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet" *IEEE Control Systems Magazine*, 21 (1): 66-83 (2001).
56. Koren, Y., Pasek, Z. J., Ulsoy, A. G. and Benchetrit, U., "Real-time open control architectures and system performance" *Cirp Annals-Manuf. Technol.*, 45 (1): 377-380 (1996).
57. Saad-Bouzefrane, S., Cottet, F., "A performance analysis of distributed hard real-time applications" *Proc. IEEE int. Workshop Factory Commun. Syst.*, Barcelona, Spain, 167-176 (1997).
58. Feng-Li, L., Moyne, J., Tilbury, D., "Network design consideration for distributed control systems" *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 10 (2): 297-307 (2002).
59. Sayan, H. H., Yılmaz, C., Doğan, N., "Ağ Kontrol Sistemlerinin Genelleştirilmiş Matematiksel Modelinin Çıkartılması ve Ağ Gecikmesi

- Üzerine Bir İnceleme”, **1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi**, MTET’2005, İstanbul, 1: 582-587 (2005).
60. Sayan, H. H., Yılmaz, C., Doğan, N., “Mathematical Model of Network-Induced Delay Control System” **The Association of Modeling and Simulation in Enterprises**, AMSE’06, 28-30<sup>th</sup> August 2006, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2: 833-835 (2006).
  61. Feng-Li, L., Moyne, J., Tilbury, D., “Analysis and modeling of networked control systems: MIMO case with multiple time delays” **American Control Conference, Proceedings of the 2001**, 6: 4306-4312 (2001).
  62. Mo-Yuen C., Yodyium T., “Network-based control systems: a tutorial” Industrial Electronics Society, IECON '01. **The 27<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE**, 3: 1593-1602 (2001).
  63. Chan, H. and Özgüner, U., “Closed-loop control systems over a communication network with queues” **International Journal of Control**, 62: 493-510 (1995).
  64. Liou, L. W. and Ray, A., “Integrated communication and control systems: Part III-Nonidentical sensor and controller sampling” **Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control**, 112: 357-364 (1990).
  65. Shin, K. G. and Ramanathan, P., “Real-time computing: a new discipline of computer science and engineering” **Proceedings of the IEEE**, 82: 6-24 (1994).
  66. Nilsson, J., Bernhardson, B. and Wittenmark, B., “Stochastic analysis and control of real-time systems with random time delays” **Automatica**, 34: 57-64 (1998).
  67. Zahr, K. and Slininsky, C., “Delay in multivariable computer controlled linear systems” **IEEE Transactions on Automatic Control**, 19: 442-443 (1974).
  68. Hirai, K. and Satoh, Y., “Stability of a systems with variable time delay” **IEEE Transactions on Automatic Control**, 25: 552-554 (1980).
  69. Mori, T., Fukuma, N. and Kuwahara, M., “Simple stability criteria for single and composite linear systems with time delays” **International Journal of Control**, 34: 1175-1184 (1981).

70. Walsh, G. C., Hong Y., Bushnell, L. G., "Stability analysis of networked control systems" *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 10 (3): 438–446 (2002).
71. Sarioğlu, K., "Otomatik Kontrol I" *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul, 47-122 (1999).
72. Sarioğlu, K., "Otomatik Kontrol II" *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul, 80-110 (2000).
73. Seung, H. H., "Bandwidth allocation scheme for cyclic-service fieldbus networks" *Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on*, 6 (2): 197-204 (2001).
74. Ray, A., Hong, S. H., Lee, S. and Egubelu, P. J., "Discrete-event/continuous-time simulation of distributed data communication and control systems" *Trans. Soc. Computer Simulation*, 5 (1): 71-85 (1988).
75. Ibe, O. C. and Cheng, X., "Stability conditions for multiqueue systems with cycle service" *IEEE Trans. Automat. Contr.*, 33: 102-103 (1998).
76. Çölkesen, R., Örencik, B., "Bilgisayar haberleşmesi ve ağ teknolojileri", *Papatya yayıncılık*, İstanbul, 71-77 (1999).
77. Tovar, E. and Vasques, F., "Real-Time Fieldbus Communications Using Profibus Networks", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 46 (6): 1241-1251 (1999).
78. Willing, A. and Wolisz, A., "Ring stability of the Profibus token-passing protocol over error-prone links", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 48 (5): 1025-1033 (2001).
79. IEEE, "IEEE Standard 802-4: Token Passing Buss Access Method and Physical Layer Specification", *IEEE*, 15-78 (1985).
80. Feng-Li, L., Moyne, J., Tilbury, D., "Network design consideration for distributed control systems", *Control Systems Technology, IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 10 (2): 297-307 (2002).
81. Alves, M., Tovar, E and Vasques, F., "On the Adaptation of Broadcast Transactions in Token-Passing Fieldbus Networks with Heterogeneous Transmission Media", *4<sup>th</sup> IFACFET Conference*, 67-73 (2001).

82. Kaplan, Y., "Veri haberleşmesi kavramları", **Papatya yayıncılık**, İstanbul, 95-106 (2000).
83. Güçsav, M. H., "Distributed network architecture and protocol for distribution automation system", Doktora tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi**, Ankara, 101-110 (1997).
84. Yılmaz, C., "Profibus Tabanlı Bina Güvenlik Sistemi Tasarımı", **GAP V. Mühendislik Kongresi** (Uluslararası Katılımlı), 26-28 Nisan 2006, Şanlıurfa, Türkiye, 1: 705-709 (2006).
85. Işık, M.F., Yılmaz, C., "Remote Controlling of DC Servo Motor by way of Profibus-DP Network", European University of Lefke, **4<sup>th</sup> FAE International Symposium**, 30 November-1 December 2006, Symposium proceedings, North Cyprus , 2: 591-593 (2006).
86. Zadeh, L. A., "fuzzy algorithms", **Information and control**, 12 (2): 94-102 (1968).
87. Zadeh, L. A., "Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", **Information Sciences**, 43-80 (1975).
88. Zadeh, L. A., Fu, K. S, Tanaka and K., Shimura, M., "Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes", **Academic Press**, New York, 1-39 (1975).
89. Zadeh, L. A., "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", **Fuzzy Sets and Systems**, 1:3-28 (1978).
90. Schwartz, D. G., Klir, G. J., Lewis, H. W., Ezawa, Y., "Applications of fuzzy sets and approximate reasoning", **Proc. of the IEEE**, 82 (4): 482-497 (1994).
91. Lee, C. C., "Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, part II", **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, 20 (2): 419-435 (1990).
92. Tsukamoto, M., "An approach to fuzzy reasoning method in GUPTA, RGRADE and YAGER", **Advances in Fuzzy Set Theory and Applications**, 137-149 (1979).
93. Sugeno, M., "An introductory survey of fuzzy control", **Information Science**, 36: 59-83 (1985).

94. Sugeno, M. And Yasukawa, T., "A fuzzy logic-based approach to qualitative modeling", *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, 1 (1): 7-31 (1993).
95. Takagi, T. and Sugeno, M., "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control", *IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics*, 15: 116-132 (1985).
96. Daijin, K., "An accurate COG defuzzifier design by the co-adaptation of learning and evolution", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2: 741-747 (2000).
97. Melgarejo, M. A., "Modified center average defuzzifier for improving the inverted pendulum dynamics", *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1: 460-463 (2002).
98. Mendil, B., Benmahammed, K., "Generalized adaptive defuzzifier", *IEEE World Congress on Computational Intelligence, Fuzzy Systems Proceedings*, 2: 1680-1683 (1998).
99. Chen, C.-Y., Huang, C.-Y., Liu, B.-D., "Current-mode defuzzifier circuit to realise the centroid strategy", *IEE Proceedings, Circuits, Devices and Systems*, 144 (5): 265-271 (1997).
100. Tao J., Yao L., "Generalized defuzzification strategies and their parameter learning procedures", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4 (1): 64-71 (1996).
101. Runkler, T. A., Glesner, M., "A set of axioms for defuzzification strategies towards a theory of rational defuzzification operators", *Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2: 1161-1166 (1993).
102. Pfluger, N., Yen, J., Langari, R., "A defuzzification strategy for a fuzzy logic controller employing prohibitive information in command formulation", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 717-723 (1992).
103. Halgamuge, S. K., Wagner, T., Glesner, M., "Validation and application of an adaptive transparent defuzzification strategy for fuzzy control", *Proceedings of the Third IEEE Conference on Fuzzy Systems*, 3: 1642-1645 (1994).
104. Saade, J. J., Diab, H. B., "Defuzzification techniques for fuzzy controllers", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 30 (1): 223-229 (2000).

105. Kosko, B., "Fuzzy engineering", **Prentice Hall Inc.**, New Jersey, USA, 42-50 (1997).
106. Kosko, B., "Fuzzy systems as universal approximators", **Proc. IEEE 1992 Int. Conference Fuzzy Systems**, San Diego, 1153-1162 (1992).
107. Mendel, J. M., "Fuzzy logic systems for engineering: A Tutorial", **Proceedings of the IEEE**, 83 (3): 345–377 (1995).
108. Handschin, E., Hoffmann, W., Reyer, F., Stephanblome, T., Schlucking, U., Westermann, D., Ahmed, S. S., "A new method of excitation control based on fuzzy set theory", **Power Systems, IEEE Transactions**, 9: 533–539 (1994).
109. Yılmaz, C., "A Study About the Applicability and Performance of Fuzzy Logic Control at Profibus Based Network Structures", European University of Lefke, **4<sup>th</sup> FAE International Symposium**, 30 November-1 December 2006, Symposium proceedings, North Cyprus, 2: 345-348 (2006).
110. Pfister, G., "Trends Toward the Optimum Danger Dedection System" **Security Technology, Proceedings 25 th Annual 1991, IEEE International Carnahan Conference**, 253-260 (1991).
111. Hasdemir B., "Aydınlatma el kitabı", **TÜBİTAK Yapı araştırma enstitüsü**, Ankara, 15: 23-55 (1989).
112. Özkaya, M., "Aydınlatma Tekniği", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 7. Baskı, 56-85 (1997).
113. Üncü, İ. S., Gürdal O., "Işık şiddet eğrilerinin bilgisayar yardımı ile çıkartılması", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, **Politeknik Dergisi**, 3 (3): 77-81 (2000).
114. Anonymous, "Lighting Handbook", , **IES Publications**, New York, 2. Baskı 17-19 (1987).
115. Üncü, İ. S., "Işık şiddet eğrilerinin bilgisayar yardımı ile çıkartılması", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 24-86 (1996).
116. Yılmaz, C., Üncü, İ. S., "Profibus Ağ Temelli Bina Aydınlatma Denetimi", **6. Ulusal Aydınlatma Kongresi**, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 105-110 (2006).

117. CERBERUS, "General Fire Detection System Planning", **Novak Koruma Hizmetleri**, İstanbul, 26-63 (1196).
118. Yılmaz, C., Gürdal, O., "Bilgisayar Kontrollü Bir Bina Otomasyonunun Tasarımı ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, **Politeknik Dergisi**, 9 (4): 147-152 (2006).
119. Gürdal, O., "Algılayıcılar ve Dönüştürücüler", **Nobel Yayınevi**, Ankara, 471-488 (2000).
120. Yılmaz, C., "Profibus Tabanlı Bina Güvenlik Sistemi Tasarımı", **GAP V. Mühendislik Kongresi** (Uluslararası Katılımlı), 26-28 Nisan 2006, Şanlıurfa, Türkiye, 1: 705-709 (2006).
121. Khongkoom, N., Kanchanathep, A., Nopnakeepong, S., Tanuthong, S., Tunyasirrut, S., Kagawa, R. "Control of the position DC Servo Motor by Fuzzy Logic", **IEEE, TENCON 2000 Proceedings**, 3: 354-357 (2000).
122. Tamaki, K., Ohishi, K., Ohnishi, K., Miyachi, K., "Microprocessor-Based Robust Control of a DC Servo Motor, **Control Systems Magazine IEEE**, 6 (5):30-36 (1986).
123. Coşkun, İ., Işık M.F., "Servomotorun Mikrodenetleyici İle Konum ve Hız Denetimi ", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 17 (3): 115-125 (2004).
124. Hoang, L-H., Maher, H., "Control of a Direct-Drive DC servo motor by Fuzzy Logic", **IEEE**, 732-738 (1993).
125. Trzynadlowski A.M., "Control of Induction Motors", **Academic Pres**, London, 119-134 (2001).
126. Bottura, C., P. and al "Robust speed control of an induction motor: an H& control theory approach with field orientation and mu-analysis", **IEEE Transactions on Power Electronics**, 15 (5): 908-915 (2000).

**ÖZGEÇMİŞ****Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : YILMAZ, Cemal  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 03.01.1975 Gümüşhane  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (312) 202 85 51  
Faks : 0 (312) 212 00 59  
e-mail : cemal@gazi.edu.tr

**Eğitim**

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet tarihi</b>
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Ens. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı	2001
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fak. Elektrik Eğitimi Bölümü	1997
Lise	Sultanahmet Teknik Lisesi	1992

**İş Deneyimi**

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
1997-1998	Milli Eğitim Bakanlığı Çiğdemtepe EML	Elektrik Öğretmeni
1998-	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

**Yabancı Dil**

İngilizce

## Yayınlar

### Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

1. Yılmaz, C., Gürdal, O., Irmak, E., “Merdiven Aydınlatmasının Pasif Kızılötesi Yaklaşım Sensörü ile Kontrolü”, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi, cilt 3, sayı 1, 45-50 (2000).
2. Yılmaz, C., Üncü, İ. S., “ Profibus-DP Ağ Tabanlı Bina Otomasyonu Tasarımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2): 161-166, (2006).
3. Yılmaz, C., Daldal, N., “ Pulse-DTMF Arama Tabanlı Bina Güvenlik Sistemi Tasarımı ve Uygulaması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3): 423-428, (2006).
4. Yılmaz, C., Gürdal, O., “Bilgisayar Kontrollü Bir Bina Otomasyonunun Tasarımı ve Uygulaması”, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi, cilt 9, sayı 4, 147-152, (2006).
5. Yılmaz, C., “Bina İçi Mekanlarda Profibus-DP Ağı Üzerinden Dinamik Aydınlatma Denetimi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(1): 7-13, (2007).

### Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

6. Yılmaz, C., Gürdal, O., “Profibus İle Klasik Ağ Sistemleri Arasında Bir Karşılaştırma”, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, BMYS'2005, Kocaeli, 557-564, (2005).

7. Yılmaz, C., Üncü, İ. S., “Profibus Ağ Temelli Aydınlatma Denetimi”, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 105-110 (2006).
8. Üncü, İ. S., Yılmaz, C., “Aydınlatma Eğitiminde Armatürlerin Modellenmesinin Önemi”, 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 77-83 (2006).
9. Yılmaz, C., “Güvenlik sistemlerinde Profibus-DP uygulaması ve ağ gecikmesi” Akademik Bilişim, Kütahya, (2007),
10. Öztürk, N., Yılmaz, C., “Ağ tabanlı endüstriyel otomasyonda ağ gecikmesinin incelenmesi” Akademik Bilişim, Kütahya (2007),

**Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler**

11. Sayan, H.H., Yılmaz, C., Doğan, N., “Ağ Kontrol Sistemlerinin Genelleştirilmiş Matematiksel Modelinin Çıkartılması ve Ağ Gecikmesi Üzerine Bir İnceleme”, 1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, MTET’2005, İstanbul, 2005.
12. Yılmaz, C., “Profibus-DP Tabanlı Kontrol Tekniği Uygulamaları için Bir Eğitim Seti Tasarımı”, IETC, Proceedings of 6<sup>th</sup> International Educational Technology Conference 19-21 April 2006, vol 3 (1676-79), Famagusta, North Cyprus, 2006.

13. Yılmaz, C., Daldal, N., "Online Sınav Sistemi", IETC, Proceedings of 6<sup>th</sup> International Educational Technology Conference 19-21 April 2006, vol 3 (1680-1686), Famagusta, North Cyprus, 2006.
14. Yılmaz, C., "Profibus Tabanlı Bina Güvenlik Sistemi Tasarımı", GAP V. Mühendislik Kongresi (Uluslararası Katılımlı), 26-28 Nisan 2006, cilt 1 (705-709), Şanlıurfa, Türkiye, 2006.
15. Sayan, H.H., Yılmaz, C., Doğan, N., "Mathematical Model of Network-Induced Delay Control System" The Association of Modeling and Simulation in Enterprises, AMSE'06, 28-30<sup>th</sup> August 2006, University of Selçuk, Konya, Türkiye, 2006.
16. Yılmaz, C., "A Study About the Applicability and Performance of Fuzzy Logic Control at Profibus Based Network Structures", European University of Lefke, 4<sup>th</sup> FAE International Symposium, 30 November-1 December 2006, Symposium proceedings, North Cyprus , 2: 345-348 (2006).
17. Yılmaz, C., Döngel, N., "Implementation of Controlled System in the Building Automation with GSM", European University of Lefke, 4<sup>th</sup> FAE International Symposium, 30 November-1 December 2006, Symposium proceedings, North Cyprus , 2: 575-578 (2006).
18. Işık, M.F., Yılmaz, C., "Remote Controlling of DC Servo Motor by way of Profibus-DP Network", European University of Lefke, 4<sup>th</sup> FAE International Symposium, 30 November-1 December 2006, Symposium proceedings, North Cyprus , 2: 591-593 (2006).

### **Hobiler**

Masa Tenisi, Futbol, Yüzme, Bilgisayar teknolojileri, Seyahat