

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**WorldFIP/ATM YEREL KÖPRÜ TASARIMI VE  
CAN/PROFIBUS/WorldFIP AĞLARININ ATM  
OMURGA ÜZERİNDEN ARABAĞLAŞIMI**

**DOKTORA TEZİ**

**Tuncay AYDOĞAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. HÜSEYİN EKİZ**

**Haziran 2005**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**WorldFIP/ATM YEREL KÖPRÜ TASARIMI VE  
CAN/PROFIBUS/WorldFIP AĞLARININ ATM  
OMURGA ÜZERİNDEN ARABAĞLAŞIMI**

**DOKTORA TEZİ**

**Tuncay AYDOĞAN**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Bu tez 15 / 06 /2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr. Hüseyin EKİZ  
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Ethem KÖKLÜKAYA  
Üye**

**Doç. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU  
Üye**

**Doç.Dr. İsmail ERTÜRK  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAYRAK  
Üye**

## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım süresince değerli zamanlarını ayırarak, bilgi, ilgi ve katkıları ile çalıŐmalarıma yön veren danışmalarım sayın Prof.Dr. Hüseyin EKİZ ve sayın Doç.Dr. Akif KUTLU ile bilimsel desteklerinden dolayı sayın Doç.Dr. İsmail ERTÜRK, sayın Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZÇELİK ve değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Sevgili ailem *annem, babam* ve *kardeŐime* bana vermiŐ oldukları emek, destek ve her türlü katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Ve son olarak, destek, anlayıŐ ve hoŐgörüsünden dolayı değerli *eŐime* teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLOLAR LİSTESİ.....	xvi
ÖZET .....	xvii
SUMMARY .....	xviii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Endüstriyel Haberleşme Ağları .....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı, Literatürdeki Yeri ve Yöntemi.....	3
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları .....	8
1.4. Tez Organizasyonu.....	9

### BÖLÜM 2.

#### ENDÜSTRİYEL BİLGİSAYAR AĞLARININ KÜRESEL AĞLAR İLE

ENTEGRASYONU .....	11
2.1. Giriş .....	11
2.2. Bilgisayar Ağları .....	11
2.3. OSI Standardı Haberleşme Modeli ve Ağ Arabağlaşım Cihazları.....	15
2.3.1. Köprü (Bridge) .....	20
2.4. Endüstriyel İletişim Ağları .....	25
2.4.1. Kontrol Alan Ağı (CAN-Controller Area Network).....	27
2.4.2. Proses Saha Yolu (PROFIBUS-PROcess FIeld BUS).....	29
2.4.3. WorldFIP (World Factory Instrumentation Protocol).....	33
2.4.3.1. Ortam erişim mekanizması.....	37

2.4.3.2. Hat yönlendirme (Bus Arbitration) tablosu.....	38
2.4.3.3. Aperiyojik iletim isteği.....	40
2.4.3.4. Kabulsüz mesaj iletim isteği.....	42
2.4.3.5. Kabullü mesaj iletim isteği.....	43
2.4.3.6. Çerçeveler.....	44
2.4.3.7. WorldFIP işlemci teknolojisi.....	46
2.5. Asenkron Aktarım Tipi (ATM -Asynchronous Transfer Mode).....	47
2.5.1. Transfer modları ve ATM .....	48
2.5.2. ATM mimarisi ve katmanları .....	51
2.5.3. ATM bağlantı yapısı ve ATM anahtarlama .....	56
2.5.4. ATM 'in avantajları ve dezavantajları .....	59
2.6. Sonuç .....	61

### BÖLÜM 3.

#### WorldFIP/ATM KÖPRÜ TASARIMI, MODELLENMESİ, BENZETİMİ VE

BAŞARIM ANALİZİ .....	62
3.1. Giriş .....	62
3.2. WorldFIP Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi .....	67
3.2.1. WorldFIP protokol ağındaki düğümlerin işlevlerinin tanımlanması .....	71
3.2.2. WorldFIP protokol ağındaki düğümlerin modellenmesi.....	73
3.3. ATM Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi .....	74
3.3.1. ATM ağdaki düğümlerin işlevlerinin tanımlanması .....	75
3.3.2. ATM protokol ağındaki düğümlerin modellenmesi.....	77
3.4. WorldFIP/ATM Köprü Tasarımı ve Modellenmesi .....	78
3.4.1. Köprü işlevlerinin modellenmesi .....	83
3.4.1.1. Çerçeve/Hücre'lerin kabulü ve iletimleri .....	84
3.4.1.2. Öğrenme ve normal veri akış algoritmaları ile köprü bakış tablosu veritabanının oluşturulması ve kullanılması	94
3.4.2. WorldFIP-ATM köprünün birimlerinin işlevlerinin tanımlanması .....	106
3.4.2.1. WorldFIP AraBirimi (WAB).....	107
3.4.2.2. ATM AraBirimi (AAB).....	107

3.4.2.3. WorldFIP'den ATM'e Filtreleme, Dönüştürme, İlerletme Birimi (WAFDİB) .....	108
3.4.2.4. ATM'den WorldFIP'e Filtreleme, Dönüştürme, İlerletme Birimi (AWFDİB) .....	109
3.4.2.5. WorldFIP'den ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi (WABTOB) .....	110
3.4.2.6. WorldFIP AraBirim Tamponları (WABT).....	110
3.4.2.7. ATM AraBirim Tamponları (AABT).....	111
3.4.2.8. Bakış Tablosu Tamponu (BTT) .....	112
3.4.2.9. WAB Veri, WAB Haberleşme, AAB Veri, AAB Haberleşme ve WAB-AAB Haberleşme Hattı .....	113
3.5. WorldFIP-ATM Köprü'nün Benzetim Sonuçları ve Başarım Analizi	113
3.6. Sonuç .....	130

#### BÖLÜM 4.

WorldFIP, CAN ve PROFIBUS ENDÜSTRİYEL İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN ATM OMURGA ÜZERİNDEN ARABAĞLAŞIMI.....	133
4.1. Giriş .....	133
4.2. WAN Teknolojileri ve Omurga Yapıları.....	134
4.2.1. Omurga yapıları.....	136
4.3. ATM Omurgalar .....	138
4.3.1. ATM ağ arayüzleri .....	138
4.4. PROFIBUS, CAN ve WorldFIP Endüstriyel Ağlarının ATM Omurga Kullanılarak Arabağlaşımının Tasarımı, Modellenmesi ve Benzetimi	140
4.4.1. ATM omurganın benzetim sonuçları ve başarım analizi .....	144
4.5. Sonuç .....	147

#### BÖLÜM 5.

WorldFIP/ATM KÖPRÜ BAŞARIMININ BULANIK MANTIK KONTROL YÖNTEMİ İLE ENİYİLEMESİ.....	148
5.1. Giriş .....	148
5.2. Zeki Köprü Mimarisi.....	149
5.3. Ağ Denetim Mekanizmaları ve Kuyruk Yönetimi .....	151

5.4. Bulanık Mantık Kontrol ile Köprü Tamponlarının Kuyruk Yönetimi .....	152
5.4.1. Giriş/Çıkış Değişkenleri ve Özellikleri .....	154
5.4.2. Giriş/Çıkış Değişkenleri Arasındaki İlişkiler .....	155
5.5. Sistemin Modellenmesi, Simülasyonu, Benzetim Sonuçları ve Başarım Analizi.....	156
5.6. Sonuç .....	158
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	159
6.1. Tartışma ve Öneriler .....	161
KAYNAKLAR .....	163
ÖZGEÇMİŞ .....	170

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAL	: ATM Uyarlama Katmanı
ABHN	: ATM Tabanlı Heterojen Ağlar
ARE	: Tüm Yolları Araştırmacı
ATM	: Asenkron Aktarım Tipi
BA	: İletim Hattı Yönlendiricisi
B-ISDN	: Genişbant ISDN
BOM	: Mesaj Başlangıcı
BPDU	: Köprü Protokol Veri Birimi
CAC	: Bağlantı Kabul Kontrol
CAL	: CAN Uygulama Katmanı
CAD	: Kontrol ve Veri Alanı
CAN	: Kontrol Alan Ağı
CCITT	: Uluslararası Telgraf ve Telefon Danışman Kurulu
CDA	: Ortak Sayısal Mimari
CERN	: Nükleer Araştırmalar Avrupa Kurulu
CIM	: Bilgisayarla Tümüleşik Üretim
CLP	: Hücre Kayıp Önceliği
COM	: Mesaj Devamı
CS	: Çevirme Altkatmanı
CSMA/CD	: Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim/Çarpışma Sezme
CSMA/CD+AMP	: Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim/Mesaj Öncelik Denetimli Çarpışma Sezme
CSRD	: Çevrimli Cevaplı Veri Gönder ve İste
DCCS	: Dağıtık Bilgisayar Denetim Sistemi
DDC	: Doğrudan Sayısal Denetim
DDLML	: Direk Veri Bağı Haritalayıcı
DP	: Merkezileştirilmemiş Çevrebirim



DVA	: Uzaklık Vektörü Uygulaması
ED	: Bitiş Belirticisi
EOM	: Mesaj Sonu
FC	: Çerçeve Kontrol
FCS	: Çerçeve Kontrol Dizisi
FDL	: Sahayolu Veri Bağı
FED	: Çerçeve Sonu Sınırlayıcısı
FES	: Çerçeve Sonlandırma Dizisi
FMS	: Esnek İmalat Sistemleri
FMS	: Sahayolu Mesaj Özellikleri
FSD	: Çerçeve Başlangıcı Sınırlayıcısı
FSS	: Çerçeve Başlangıç Dizisi
HEC	: Başlık Hata Kontrolü
HMI	: İnsan-Makine Arabirimi
ISA	: Amerika Düzenleme Topluluğu
ISDN	: Tümüleşik Servisler Sayısal Şebekesini
ISO	: Uluslar Arası Standartlar Organizasyonu
IT	: Bilgi Türü
ITC	: Uluslararası Telgraf Kurulu
IU	: Birlikte Çalışabilirlik Birimi
ILAN	: Endüstriyel LAN
LAN	: Yerel Alan Ağları
LEC	: LAN Emulasyon İstemcisi
LES	: LAN Benzetim Sunucusu
LHC	: Büyük Çarpışma Tüneli
LLC	: Mantıksal Bağ Kontrol
LLI	: Düşük Katman Arabirimi
LSA	: Bağlantı Durumu Algoritması
MAC	: Ortam Erişim Kontrolü
MAN	: Ana Alan Ağları
MAP	: Üretim Otomasyon Protokolü
MID	: Mesaj Tanıtıcısı
MMS	: Üretim Mesaj Özellikleri

NC	: Sayısal Denetleyici
NNI	: Ağ-Ağ Ara Bağı
OP	: Operatör Paneller
OSACA	: Otomasyon Sistemleri İle Kontrol İçin Açık Sistem Mimarisi
OSI	: Açık Sistemler Arabağlaşım
P/C	: Üretim/Tüketim
PA	: Proses Otomasyonu
PC	: Kişisel Bilgisayar
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyiciler
PM	: Fiziksel Ortam
PRE	: Başlama Eki
PROFIBUS	: Proses Saha Yolu
PSDN	: Paket Anahtarlamaalı Veri Ağları
PSTN	: Anahtarlamaalı Telefon Ağı
PT	: Taşınan Veri Tipi
PVC	: Kalıcı Sanal Devre
QoS	: Hizmet Kalitesi
RF	: Radyo Frekans
SAP	: Servis Erişim Noktası
SAR	: Parçalama ve Tekrar Birleştirme Altkatmanı
SD	: Başlangıç Belirtici
SDA	: Kabullü Veri Gönderimi
SDN	: Kabulsüz Veri Gönderimi
SDS	: Akıllı Dağıtık sistemler
SONET	: Eşzamanlı Optik Ağ
SRB	: Kaynak Yönlendirmeli Köprüleme
SRD	: Cevaplı Veri Gönderimi ve İstemi
SRF	: Özel Yol Çerçevesi
SRTB	: Kaynak Yönlendirmeli Saydam Köprüleme
SS	: Son Kullanıcı İstasyonu
STP	: Çift Burgulu Kablo
SVC	: Anahtarlamaalı Sanal Devre
TB	: Saydam Köprüleme

TR	: İş Bitirme Süresi
UNI	: Genel Kullanıcı-Ağ Arayüzü
VC	: Sanal Kanal
VCI	: Sanal Kanal Belirteci
VP	: Sanal Yol
VPI	: Sanal Yol Belirteci
WAN	: Geniş Alan Ağları

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. CIM Mimarisinde Alan Ağlarının Yeri .....	2
Şekil 2.1. Topolojiler a) Star, b) Ring, c) Bus, d) Tree, e) Mesh.....	12
Şekil 2.2. OSI Referans Modeli .....	16
Şekil 2.3. Geçityolu ve Yönlendirici.....	18
Şekil 2.4. Köprü ve Tekrarlayıcı.....	19
Şekil 2.5. Köprülerin Sınıflandırılması .....	21
Şekil 2.6. Köprü Model Mimarisi .....	22
Şekil 2.7. Saydam Köprüleme.....	23
Şekil 2.8. Genel Köprü İşlevsel Blok Şeması .....	24
Şekil 2.9. Kaynak Yönlendirmeli Köprüleme.....	25
Şekil 2.10. OSI ve Alan Ağı Modelinin Karşılaştırılması .....	26
Şekil 2.11. CAN Modeli .....	27
Şekil 2.12. OSI Referans Modeline Göre PROFIBUS Protokol Yapısı .....	30
Şekil 2.13. WorldFIP Uygulama Mimarileri.....	33
Şekil 2.14. WorldFIP Protokolü Katmanları.....	34
Şekil 2.15. WorldFIP Çerçevesinin Genel Sinyal Yapısı .....	35
Şekil 2.16. WorldFIP Ağ İstasyonları .....	37
Şekil 2.17. WorldFIP Ağda Tanıtıcının Yayınlanması.....	37
Şekil 2.18. WorldFIP Ağda Tanıtıcının Yayınlanması.....	39
Şekil 2.19. WorldFIP Ağda Periyodik ve Aperiodyk Zamanlama Şemaları .....	39
Şekil 2.20. Temel Döngünün Bölümleri .....	40
Şekil 2.21. Aperiodyk İletişim-1 .....	41
Şekil 2.22. Aperiodyk İletişim-2.....	41
Şekil 2.23. Kabulsüz Mesaj İletim İsteği .....	43
Şekil 2.24. Kabullü Mesaj İletim İsteği .....	44
Şekil 2.25. WorldFIP Çerçevesi .....	45
Şekil 2.26. FULLFIP2 Blok Şeması .....	46

Şekil 2.27. FIELDDRIVE, MICROFIP ve FIELDDUAL Blok Şeması .....	47
Şekil 2.28. Devre ve Paket Anahtarlama Arasındaki İlişkileri .....	49
Şekil 2.29. a) Genel ATM Hücre Yapısı, b) ATM UNI Hücresi, c) ATM NNI Hücresi. ....	50
Şekil 2.30. B-ISDN Protokol Referans Modeli ve Katmanların İşlevleri.....	51
Şekil 2.31. AAL-1 PDU Yapısı .....	53
Şekil 2.32. AAL-2 PDU yapısı .....	54
Şekil 2.33. AAL-3/4 PDU Yapısı .....	54
Şekil 2.34. Bağlantı Tablosu Yapısı ve ATM Anahtarı Yapısı .....	57
Şekil 3.1. Network II.5 Modelleme Ekranı Genel Yapısı.....	65
Şekil 3.2. Network II.5 Modelleme Komut Menüleri.....	66
Şekil 3.3. Modellenen Sistemin Genel Yapısı .....	66
Şekil 3.4. Modellenen WorldFIP Ağdaki Düğümlerin Yapıları .....	68
Şekil 3.5. Tasarlanan Modelin Tanıtıcılarının Trafiğini Sağlayan Zamanlama Şeması .....	69
Şekil 3.6. BA'nın Periyodik ve Aperiodyik Mesajlar için BAT Çalışma Mekanizmasının Akış Şeması.....	72
Şekil 3.7. İstasyonların Üretici/Tüketici Durumlarda Çalışmalarının Akış Şeması ..	73
Şekil 3.8. Tasarlanan WorldFIP Ağ Modeli .....	74
Şekil 3.9. Tasarlanan ATM Ağın Blok Şeması.....	75
Şekil 3.10. ATM Düğüm İşlevlerinin Akış Şeması .....	76
Şekil 3.11. Anahtarın İşlevlerinin Akış Şeması .....	76
Şekil 3.12. Tasarlanan ATM Ağ Modeli.....	77
Şekil 3.13. ATM AAL3/4 Hücresinin Oluşması.....	78
Şekil 3.14. ATM AAL5 Hücresinin Oluşması.....	79
Şekil 3.15. AAL3/4 ATM Hücre, AAL5 ATM Hücre ve WorldFIP Çerçeve.....	80
Şekil 3.16. WorldFIP/ATM Köprünün İşlevsel Blok Şeması.....	83
Şekil 3.17. Modellenen Sistemin Genel Çalışma Akış Şeması ve İşlem Birimleri	84
Şekil 3.18. WAB Genel Çalışma Akış Şeması .....	86
Şekil 3.19. WorldFIP Çerçevenin AAL3/4 ATM Hücresinin Alanlarına Eşleştirilmesi .....	87
Şekil 3.20. WorldFIP Çerçevenin AAL5 ATM Hücresinin Alanlarına Eşleştirilmesi .....	89

Şekil 3.21. AAB Genel Çalışma Akış Şeması .....	91
Şekil 3.22. AAL3/4 ATM Hücresinin WorldFIP Çerçevesinin Alanlarına Eşleştirilmesi .....	92
Şekil 3.23. AAL5 ATM Hücresinin WorldFIP Çerçevesinin Alanlarına Eşleştirilmesi .....	93
Şekil 3.24. Öğrenme Algoritması ve Köprünün WorldFIP Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Oluşturulması .....	97
Şekil 3.25. Öğrenme Algoritması ve Köprünün ATM Tarafı İçin Anahtar Üzerinde Veritabanı Tablosunun Oluşturulması .....	100
Şekil 3.26. WorldFIP'den ATM'e ve ATM'den WorldFIP'e Öğrenme Algoritmalarının Köprü Birimleri Üzerindeki Veri Akışları .....	101
Şekil 3.27. Normal Veri Akış Algoritması ve Köprünün WorldFIP Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Kullanılması .....	103
Şekil 3.28. Normal Veri Akış Algoritması ve Köprünün ATM Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Kullanılması .....	105
Şekil 3.29. WorldFIP'den ATM'e ve ATM'den WorldFIP'e Normal Veri Akış Algoritmalarının Köprü Birimleri Üzerindeki Veri Akışları .....	106
Şekil 3.30. WAFİDB WorldFIP Uzak Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması.....	108
Şekil 3.31. WAFİDB WorldFIP Öğrenme Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması	109
Şekil 3.32. AWFİDB ATM Uzak ve Öğrenme Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması .....	109
Şekil 3.33. WABTOB Öğrenme Mesajlarını İşlenme Genel Akış Şeması.....	110
Şekil 3.34. ATM ve WorldFIP Yönündeki Veri Akışları İçin Tasarlanan WABT Tamponları Hafıza Haritaları .....	111
Şekil 3.35. ATM ve WorldFIP Yönündeki Veri Akışları İçin Tasarlanan AABT Tamponları Hafıza Haritaları .....	112
Şekil 3.36. Köprü Bakış Tablosu Tamponu İçin Tasarlanan Hafıza Haritası.....	112
Şekil 3.37. Tasarlanan WorldFIP-ATM Köprü Modeli.....	114
Şekil 3.38. Tasarlanan WorldFIP Ağdaki a)D <sub>CPS1</sub> , b)D <sub>CPS2</sub> , c)D <sub>CPS3</sub> , d)D <sub>CPS4</sub> , e)D <sub>CPS5</sub> , f)WAB ve g)BA'nın Kullanım Yüzdeleri.....	117
Şekil 3.39. AAL3/4 (a-c-e) ve AAL5 (b-d-f) Trafiklerindeki Farklı Yükler Altında WorldFIP Ağ Veriyolunun Kullanım Oranının Değişimi.....	120

Şekil 3.40. AAL3/4 (a-c-e-g) ve AAL5 (b-d-f-h) Trafiklerindeki Farklı Yükler Altında ATM Ağ Veriyollarının Kullanım Oranının Değişimi .....	122
Şekil 3.41. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde WorldFIP-ATM Süreç Zamanı.....	123
Şekil 3.42. AAL3/4 (a-c-e-) ve AAL5 (b-d-f) Trafiklerinde ATM-WorldFIP Süreç Zamanı.....	126
Şekil 3.43. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde Köprü WorldFIP Girişi İçin Kuyruklanmış Mesaj Sayısı .....	126
Şekil 3.44. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde Köprü ATM Girişi İçin Kuyruklanmış Hücre Sayısı .....	127
Şekil 3.45. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde C1A3 WorldFIP Mesajının Hedefe Ortalama Varış Zamanı .....	128
Şekil 3.46. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde A3C5 ATM Hücresinin Hedefe Ortalama Varış Zamanı .....	129
Şekil 3.47. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde Köprü Birimlerinin Kullanım Yüzdesinin Değişimi .....	130
Şekil 4.1. a) Noktadan Noktaya Bağlantı, b) Bulut Teknolojisi .....	134
Şekil 4.2. a) Hiyerarşik Topoloji Mimarisi, b) Mesh Topoloji Mimarisi .....	135
Şekil 4.3. a) Köprü Genişletilmiş Omurga, b) Köprü Daraltılmış Omurga.....	136
Şekil 4.4. IEEE 802.10 Anahtarlama Omurga.....	137
Şekil 4.5. Yönlendirilmemiş Omurga .....	137
Şekil 4.6. Omurgaların Geçityolu ile birleştirilmesi .....	138
Şekil 4.7. Ağ arayüzlerini gösteren ATM topolojisi .....	139
Şekil 4.8. Ağ arayüzlerindeki ATM protokol fonksiyonlarının etkileşimi .....	139
Şekil 4.9. Tasarlanan ATM Omurga Modeli .....	140
Şekil 4.10. a) CAN-ATM, b) PROFIBUS-ATM, c) WorldFIP-ATM Köprülerinin Portlar Arası Uçtan Uca Ortalama Gecikme Değerleri.....	142
Şekil 4.11. a) CAN-ATM, b) PROFIBUS-ATM, d) WorldFIP-ATM Ağ Düğümüleri Arası Uçtan Uca Ortalama Gecikme Değerleri .....	144
Şekil 4.12. WorldFIP, CAN, PROFIBUS Ağlar Arası Haberleşme İçin Tasarlanan ATM Omurga Modeli .....	145
Şekil 4.13. WorldFIP Ağ ile CAN ve PROFIBUS Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri .....	145

Şekil 4.14. CAN Ağ ile WorldFIP ve PROFIBUS Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri .....	146
Şekil 4.15. PROFIBUS Ağ ile WorldFIP ve CAN Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri .....	147
Şekil 5.1. Zeki Arabağlaşım Cihazları Blok Şeması.....	148
Şekil 5.2. Zeki Arabağlaşım Cihazları Akış Şeması.....	149
Şekil 5.3. Bulanık Kontrol Sisteminin Blok Şeması.....	153
Şekil 5.4. Köprüde Gecikme Oluşturan Öğeler .....	154
Şekil 5.5. Köprüde Gecikmeleri Arasındaki Bulanık İlişkiler.....	156
Şekil 5.6. Bulanık Giriş Çıkış Fonksiyonları .....	157
Şekil 5.7. Bulanık Algoritma ile WorldFIP-ATM Süreç Zamanı.....	157
Şekil 5.8. Bulanık Algoritma ile ATM-WorldFIP Proses Zamanı.....	158



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Alan ağları ve Diğer Ağların Karakteristikleri .....	2
Tablo 2.1. Bazı Alan Ağları Standartları .....	26
Tablo 2.2. Örnek Değişkenlere Ait Bilgiler (BA Tablosu).....	38
Tablo 2.3. AAL Servis Türleri İçin Trafik Sınıfları.....	53
Tablo 3.1. Haberleşme Sistemleri Modelleme Simülasyon Yazılımları.....	64
Tablo 3.2. WorldFIP Düğümlerinin Haberleşme Tablosu.....	71
Tablo 3.3. ATM Düğümlerinin Haberleşme Tablosu .....	75
Tablo 4.1. Uçtan Uca Haberleşme Modelinde Meydana Gelen Temel Gecikmeler	142

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Ağlar, Köprü, WorldFIP, CAN, PROFIBUS, ATM.

Endüstriyel haberleşme ağları; fabrika otomasyonları, otomotiv sistemleri, güvenlik sistemleri, vb. gerçek zamanlı iletişim gereksinimi duyulan alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fabrika otomasyonu ve bina güvenlik sistemlerinin uzak mesafelerden izlenmesi ve gerektiğinde müdahale edilebilmesi sektörün ihtiyaçlarındandır. Bu ihtiyaç, endüstriyel ağların küresel ağlar ile haberleştirilmesi sağlanarak karşılanabilir.

WorldFIP; otomasyon sistemlerinde algılayıcı, uyarıcı ve denetleyiciler arasında bağlantı sağlamak için kullanılan endüstriyel ağ protokolüdür. WorldFIP protokolünü kullanan fabrika otomasyon sistemlerine uzaktan erişebilmek için küresel ağ yapısına sahip ATM teknolojisi kullanılabilir. Bu durumda, WorldFIP/ATM arabağlaşım gereksinimi ortaya çıkar. Bu tez çalışmasında, WorldFIP ile ATM arasındaki protokol dönüşümünü gerçekleştiren bir köprü tasarımı yapıp, Network II.5 simülasyon programı ile modellenerek, başarımlı analizi gerçekleştirilmiştir.

WorldFIP, CAN ve PROFIBUS gibi endüstriyel ağ protokollerinden birisidir. Farklı yapıya sahip ağlarda, bir ağdan diğerine bilgi gönderimi veya alımı gerekirse; farklı iki protokolün haberleşmesi ihtiyacı ortaya çıkar. Oluşturulan ağ yapısında iki veya daha fazla endüstriyel ağ bulunması durumunda ATM omurga kullanımı önemli bir çözümdür. Bu tez çalışmasında, ATM omurga kullanılarak WorldFIP, CAN ve PROFIBUS ağlarının birlikte kullanımını sağlayacak bir ağ mimarisi tasarlanarak, tasarlanan sistemde bulunan endüstriyel ağların başarımlı analizleri sunulmaktadır.

Köprü birimlerinde oluşan gecikmeler, sistem başarımlı etkileyen en önemli ölçütlerdendir. Tasarlanan WorldFIP/ATM köprüünün başarımlı eniyilemesi amacı ile; köprü içi gecikmelerinin bulanık mantık yöntemi kullanılarak en aza indirilmesini sağlayan bir kontrol algoritması geliştirilip, geliştirilen algoritma WorldFIP/ATM köprü modeline uygulanmış ve ortaya çıkan modelin başarımlı analizi yapılmıştır.

# **DESIGN OF THE WorldFIP/ATM LOCAL BRIDGE AND COMMUNICATION OF CAN/PROFIBUS/WorldFIP NETWORKS OVER ATM BACKBONE**

## **SUMMARY**

Key words: Industrial Networks, Bridge, WorldFIP, CAN, PROFIBUS, ATM.

Industrial communication networks are widely used for industrial automation, automotive and security systems which require real time communication. Monitoring factory automation and building security systems remotely, conducting them when required are necessary for the sector. This can only be accomplished by connecting industrial networks to global networks.

WorldFIP is an industrial network protocol used to interconnect sensors, actuators and controllers of the automation systems. In order to access to a factory automation system remotely using WorldFIP protocol, as a global networking technology, ATM may be employed. In that case a WorldFIP to ATM bridge must be utilized. The goal of this study is to design a bridge that converts WorldFIP frames to ATM cells and vice versa. The WorldFIP/ATM bridge is modeled using Network II.5 simulation tool and performance analyses are also done.

WorldFIP is not the only industrial network protocol. There are also similar protocols such as CAN and PROFIBUS. If there is a need to receive or send information from such a network to another. The communication between two different protocols becomes necessary. If two or more industrial networks are far from each other, an ATM backbone is used. For such an interconnection system in this study, a network architecture is designed to interconnect WorldFIP, CAN and PROFIBUS over an ATM backbone. Performance requirements of these industrial networks are discussed and met considering the overall structure of the proposed system.

Delays resulted from the internal units of a bridge are one of the most critical aspects effecting the overall system performance. In order to improve the performance of the designed WorldFIP/ATM bridge, a delay reduction algorithm is developed using fuzzy logic and applied to the WorldFIP/ATM bridge which is being modelled.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Endüstriyel Haberleşme Ağları**

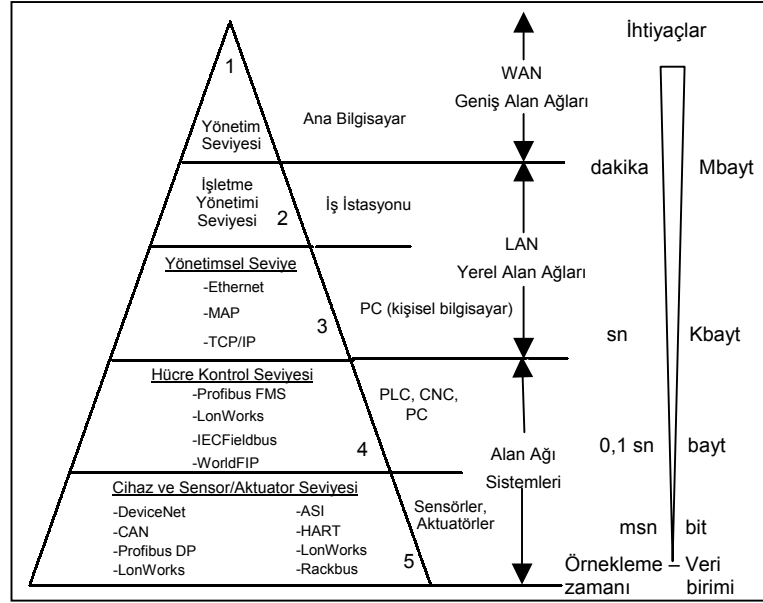
Haberleşme teknolojileri alanında, tarihin en önemli gelişmeleri telgraf ve telefonun icadı ile başlamış, bunu sonra elektronik ve bilişim teknolojilerindeki ilerlemeler takip etmiştir. Buna bağlı olarak günümüzde dijital haberleşmenin farklı kullanım alanları, araçları ve hizmet sınıfları (ses, resim, video, dosya transferleri gibi) ortaya çıkmıştır.

Bilgisayarlar, tüm hizmet sınıflarında veri işleyen, depolayan ve hızlı haberleşme sağlayan cihazlardır. Bilgisayarlar arasındaki haberleşmeyi temin etmek için bilgisayar ağları oluşturulur. Ağlar; çevrebirim cihazları, hafıza, veritabanı, bilgisayar uygulamaları gibi ağ kaynaklarının etkin bir biçimde kullanımı sağlayarak, uzak bilgiye kolay erişim ve bilgi paylaşımı ile hayatımıza birçok alanda kolaylıklar getirmiştir.

Ağların kullanıldığı alanlardan birisi de endüstriyel ortamlardır. Endüstriyel ortamlardaki robot, programlanabilir mantıksal denetleyici (PLC-Programmable Logic Controller), sayısal denetleyici (NC-Numeric Controller), mikrodenetleyici, vb. kontrol cihazları arasında oluşturulan ağlar, “Endüstriyel Ağ” veya “Sahayolu/Alan Ağı (fieldbus)” olarak isimlendirilir.

Endüstriyel üretim ortamlarındaki haberleşme yapısı, bilgisayarlı tümleşik üretim (CIM-Computer Integrated Manufacturing) mimarisi ile tanımlanır. Bu mimari, üretimin hangi seviyelerinde ne tür haberleşme ve kontrol sistemleri olduğu hakkında bilgi verir.

Şekil 1.1’de alan ağlarının, bilgisayarlı tümleşik üretim mimarisi içerisindeki konumunun en alt düzey olduğu görülmektedir. Tablo 1.1’de görüldüğü gibi, alan ağı düzeyindeki ağ haberleşmesinde, veri büyüklükleri bit, bayt ve iletişim zamanları msn (milisaniye) seviyesindedir. Bu özelliklerdeki haberleşme türüne gerçek zamanlı (real-time) haberleşme adı verilir [1, 2].



Şekil 1.1. CIM Mimarisinde Alan Ağlarının Yeri

Tablo 1.1. Alan ağları ve Diğer Ağların Karakteristikleri

	Alan Ağları	Diğer Ağlar(LAN)
Uygulama çeşitleri	Kontrol, otomasyon	Ofis, yönetim, görsellik
Kullanılan veri tipi	100 bayt'tan küçük katarlar	1 Kbayt'tan büyük dosyalar
Etkileşim zamanı	<< 1 sn	>>1 sn
İstasyon tipi	Sensörler, aktuatörler, cihazlar	Bilgisayarlar, yazıcılar, çevre birimler
Gerçek zamanlı çalışabilme	Güçlü	Zayıf

Zaman içerisinde çok farklı endüstriyel otomasyon cihazlarının birbiriyle bağlantısını sağlamak için BACnet, BITBUS, CAN, CEBus, IEC Fieldbus, Interbus, Profibus, P-NET, WorldFIP gibi onlarca alan ağları protokol standartları geliştirilmiştir [2]. Bu standartlar geliştirilirken, farklı üreticilerin yerel alan ağları ve veri yolları sistemlerinin uyumluluğunu sağlayan, uluslararası standartlar organizasyonunun (ISO-International Standards Organization) açık sistemler arabağlaşım (OSI-Open

Systems Interconnection-802) standardı ve üretim otomasyon protokolü (MAP-Manufacturing Automation Protocol) standartları kullanılmıştır. MAP, çok üreticili otomasyon cihazları arasındaki haberleşme problemlerinin üstesinden gelmek, farklı üreticilerin ağlarının haberleşmelerini uygunlaştırabilmek için geliştirilmiş ve fabrikalardaki veri haberleşmesi için yaygın bir endüstriyel standart olarak kabul edilmiştir.

Alan ağları için aşağıdaki beklentileri karşılayabilecek standartlaşma çalışmaları yapılmaktadır [3]:

- Alan ağının özelliklerine ait bilgiler tamamen kullanılabilir ve uygun bir maliyetle ulaşılabilir olmalıdır (Open System).
- Birbirine bağlanabilir olmalıdır (Interconnectivity).
- Uyumlu, birbiriyle çalışabilir olmalıdır (Interoperability).
- Birbirinin yerine geçebilmeli, kullanılabilir olmalıdır (Interchangeability).

Bu ölçütleri sağlayabilmek amacıyla üreticiler, tespit edilen problemler için sadece kendi ürünlerine özel yazılımsal ve donanımsal değişik çözümler ortaya koymuşlardır.

## **1.2. Tez Çalışmasının Amacı, Literatürdeki Yeri ve Yöntemi**

Farklı haberleşme teknoloji ve/veya protokollerini kullanan ağların birleştirilmesi ile oluşturulmuş ağlara heterojen ağlar denir. Heterojen ağlar, bazen farklı ağların özelliklerini birarada kullanma gereksiniminden, bazen de bir ağın zaman içerisinde farklı teknolojiler kullanılarak geliştirilmesi sonucu zorunluluktan oluşturulabilir.

Bir üretim otomasyonu sisteminin bileşenleri coğrafik olarak birbirinden uzak olabilir ve farklı ağ teknolojilerini kullanabilir. Üretimin planlandığı gibi devamlılığının sağlanması, bu sistemdeki bileşenlerin bir uyum ve bütünlük içerisinde çalışmasına bağlıdır. Dolayısıyla, heterojen ağ yapıları ile oluşan otomasyon sistemlerinin, alan seviyesi özelliklerine uygun bir şekilde

haberleştirilmesiyle ilgili sorunların giderilmesi, alan ağlarının çalışma ve araştırma konularından birisi olagelmıştır.

Gerçekleştirilen literatür araştırmalarında, bahsedilen sorunun çözümü için yazılımsal ve/veya donanımsal farklı yaklaşımların önerildiği ve uygulamaların yapıldığı çalışmalar tespit edilmiştir.

PROFIBUS, CAN ve INTERBUS alan ağlarının birleştirilmesini amaçlayan bir çalışmada, birleştirilecek alan ağlarına ait arabirim kartlarının üzerine takıldığı PC yönetimli, modüler bir denetim sistemi tasarlanmıştır [4]. Başka bir çalışmada, Lonworks ve PROFIBUS alan ağlarından oluşan dağıtık mimarili, heterojen endüstriyel bir sistemin birlikte çalışabilirliği için bir model geliştirilmiştir. Modelde, OSI katmanlarının üzerinde ortak mesajlar ve dil kullanılarak birlikte çalışabilirlik birimi (Interoperability Unit-IU) adında 8. bir katman tanımlanarak, yazılım çözümlü bir ağ mimarisi önerilmiştir [5]. [6]'da yapılan çalışmada, heterojen alan ağlarının birlikte çalışabilirliklerinin gerçekleştirilmesi için bir açık endüstri standardı cihaz arayüzü olan OPC (OLE for Process Control) önerilmiştir.

[7]'de geniş heterojen ağların yönetimi ve birleştirilmesi için yapılan bir çalışmada yerel alan ağ mimarisi tabanlı birleşimle, ağ yönetiminde köprü cihazlarının kullanılabilceği bir yapı tasarımı gerçekleştirmiştir. [8]'deki çalışmada, CAN/Ethernet köprü modellemesi, [9]'da ise CAN/Ethernet köprü aracılığı ile alan ağını bir PC'den internete bağlama çalışması yapılmıştır. [10] yaptığı bir çalışmada ise, ILAN (Industrial Local Area Network) olarak tasarlanan bir Ethernet ağı, ATM (Asynchronous Transfer Mode) teknolojisi tabanlı bir ağ ile geçityolu sistemi kullanarak birbirine bağlamıştır. Ethernet çerçeve ve ATM hücre dönüşümleri VHDL teknolojisi ile tasarlanmıştır.

Alt seviyedeki fabrika haberleşme sistemlerinde Ethernet kullanımına yönelik bir çalışmada PROFIBUS ve FIP protokolleri geçityolu aracılığı ile fabrika üst seviyesindeki Ethernet ağa bağlayarak başarı testi yapılmıştır [11]. [12]'deki çalışmada CAN-Bus/internet arasında, [13]'deki çalışmada fieldbus/internet arasındaki bağlantıları için, [14]'de ise ATM ağlar üzerinden heterojen protokoller

için geçityolu sistem tasarımları yapılmıştır. [15]'de FIP alan ağı için kablosuz geçityolu tasarlanmıştır. [16]'da alan ağı geçityollarına internet tabanlı erişim yöntemleri için işlem akış yöntemlerini incenlemiştir.

[17] ve [18]'deki çalışmalarda, FDDI-ATM-FDDI heterojen ağlarında gerçek zamanlı uygulamalar için bağlantıya dayalı ABHN (ATM-Based Heterogen Networks) adı verilen bir model geliştirilmiştir. [19, 20]'de MidART adında ATM ağ tabanlı, gerçek zamanlı, istemci-sunucu model geliştirerek tanıtmıştır. Sistem, genel amaçlı bir yerel alan ağı ile FDDI tabanlı bir kontrol veriyoluna bağlı alan ağları bir geçityolu cihazı ile haberleştirmiştir.

[21]'de donanımı ATM protokol tabanlı ve yazılımı MMS (Manufacturing Message Specification) uygulama katmanına göre tasarlanmış bir MMS/ATM yapısı modellenmiştir. Modelde ATM AAL-5 hizmet sınıfı seçilmiştir. [22, 23, 24] çalışmalarında, PROFIBUS ile ATM arasında geçityolu kullanarak alan ağlarının ATM üzerinden haberleşmesi üzerine çalışma yapmıştır. [25, 26] ise çalışmalarında CAN/ATM ve PROFIBUS/ATM haberleşmesi için köprü modeli geliştirmiştir. Modelinde ATM AAL-3/4 hizmet sınıfını kullanmış ve modellediği köprünün performans sonuçlarını analiz ederek modelin alan ağları gereksinimlerini karşıladığını ortaya koymuştur.

CERN'in LHC (Large Hadron Collider) tüneli projesi denetimleri için WorldFIP ağları ATM anahtarlar üzerinden PC geçityolu ile haberleştiren bir çalışma [27]'de sunulmuştur.

Bu çalışmalardan da anlaşılacağı gibi, endüstriyel alan ağlarının birlikte çalışabilmeleri ve heterojen ağların haberleşebilmeleri için bir çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda yazılımsal, donanımsal, karma çözüm önerileri ve yaklaşımları sunulmaktadır. Fakat standartların ve endüstriyel protokollerin çeşitliliği nedeniyle istenen ideal çözüm henüz ortaya konulamamış, olay hala bir sorun olarak kalmıştır. Literatürde uzak ve heterojen alan ağlarının birleştirilmesi ile ilgili ilk çalışmaların Ethernet üzerinden geliştirildiği, konuyla ilgili bazı modüller, köprüler ve geçityolları tasarlanarak çalışmalar yapıldığı görülmektedir. ATM teknolojisinin



standartlarının belirlenmeye ve kullanımının artmaya başlaması ile gerçek zamanlı gereksinimlere ATM’li çözümler üretilmeye başlanmıştır. ATM ile yapılan çalışmaların geçmişinin çok yeni olmaması ile birlikte çalışma sayısı da azdır.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel alan ağlarının birlikte çalışabilmeleri, uzak/yakın endüstriyel alan ağları ile oluşturulacak heterojen ağların haberleşebilmeleri ve bu haberleşmelerin gerçek zamanlı haberleşme ölçütlerinin en iyi koşulları içerisinde gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki yaklaşımlarla çözümler önerilmiştir:

i- WorldFIP endüstriyel otomasyon sistemi ile günümüz en hızlı haberleşme teknolojisi olan ATM ağ üzerindeki bilgisayarlar arasında veri alışverişini sağlayacak bir köprü ara bağlaşım cihazı tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu modele ait başarımlar analizleri yapılarak sonuçları incelenmiştir.

WorldFIP endüstriyel otomasyon sisteminin seçilme nedeni; WorldFIP’in CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)’in araştırmaları sonunda IEC 61158 ve EN50170 standartlarına uygun CAN, PROFIBUS ile birlikte önerdiği üçüncü protokol olmasıdır [28]. Ayrıca CAN/ATM ve PROFIBUS/ATM sistemlerine ait köprü ara bağlaşım cihazlarına ait çalışmalar yapılmış olup WorldFIP protokolüne ait sadece WorldFIP/ATM PC tabanlı geçityolu çalışması bulunmaktadır. Geçityolları, haberleşme yapıları birbirine benzemeyen sistemler arasında ağın 7 katmanının tamamında dönüşümler gerçekleştirerek iletim sağlar. Bu da gecikmenin istenmeyen derecede artmasına neden olmaktadır.

ATM teknolojisinin seçilmesinin nedeni; Bilgi çağını yaşadığımız günümüz küresel dünya koşullarında mesafe kavramı, kullandığımız uzay teknolojileri sayesinde uzakları yakın etmiştir. Bu teknolojilerden bir tanesi de haberleşme teknolojisindeki dönüm noktalarından birisi olan ATM protokolüdür. ATM, gerçek zamanlı haberleşme ihtiyaçlarını karşılayabilecek yapıya sahip en hızlı iletim teknolojisidir. ATM, verilerin 53 baytlık hücreler halinde anahtarlanarak iletildiği en hızlı haberleşme yöntemidir. Hücre boyutunun küçük ve sabit olması ve kullanılan yöntemler gereği protokolden bağımsız çalışan bu sistem her çeşit veriyi farklı hizmet sınıf ve kalitelerinde hedefe iletebilmektedir.

Çözüm için köprü arabağlaşım cihazının seçilme nedeni; köprülerin büyük ağları küçük bölümlere ayırarak ağ trafik yükünü düzenleyen, birbiri ile farklı teknolojilere sahip ağları haberleştirebilen, OSI haberleşme modelinin 2. katmanında (veri bağı katmanı) çalışan ağ arabağlaşım cihazları olmalarıdır. Bu işlevlerini farklı yöntemler ile yaparlar. Bu tez çalışmasında tasarlanan ve sunulan köprü “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü (Transparent Translation Bridges)” olarak modellendi.

Tasarlanan sistemler Network II.5 benzetim paket programı ile modellenip, başarıml analizleri sunulmaktadır.

ii- Köprü, ATM haberleşme teknolojisinin alan ağları gereksinimlerini karşılayabilecek AAL-3/4 ve AAL-5 hizmet sınıflarına ait trafikleri taşıyabilecek biçimde tasarlanarak modellenmiş ve bu modele ait sonuçlar incelenerek başarıml analizleri yapılmıştır. AAL-3/4 ve AAL-5 hizmet sınıflarına ait ATM’in dönüşüm alt katmanı, dilimleme ve birleştirme katmanları farklı mekanizmalar ile çalışmakta, dolayısıyla hücre yapıları da farklı olmaktadır. AAL-3/4 ATM hücresinde 44 bayt veri alanı bulunmasına karşın, AAL-5 ATM hücresinde 48 bayt veri alanı bulunmaktadır. Tasarımda bu farklılıklara dikkat edilmiştir.

iii- Seçilen alan ağlarının küresel bir haberleşme modelindeki başarımlını incelemek amacıyla, bir ATM bulut üzerindeki CAN, PROFIBUS ve WorldFIP alan ağlarıyla oluşturulan bir heterojen ağ sistemi ele alınmıştır.

iv- Köprü, işlevlerinden dolayı ağ sisteminde gecikme meydana getiren bir cihaz konumundadır. Bu çalışmanın son bölümünde, gerçek zamanlı haberleşmenin zamanlama özellikleri dikkate alınarak, köprü gecikmesini en aza indirmek için zeki köprü yönetimi modeli önerilmiş ve önerilen modelin başarıml analizi yapılmıştır.

### 1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

WorldFIP endüstriyel protokolü kullanan bir düğüm ile bir ATM ağ üzerindeki düğüm arasında gerçek zamanlı haberleşme sağlanabilmesi için gerekli bir köprü arabağlaşım cihazı tasarlanması, modellenmesi ve sistemin başarımlarının gerçekleştirilmesi çalışmanın en önemli katkısını teşkil etmektedir. Böylece ATM protokolünün gerçek zamanlı sistemlerdeki etkisini ve WorldFIP protokolünün ATM ağ ile haberleştirilebilme özellikleri ortaya çıkartılacaktır.

Tasarlanan köprüyü ATM AAL-3/4 ve AAL-5 hizmet sınıflarına ait trafikleri taşıyabilecek biçimde modelleyerek, bu hizmet sınıfları arasındaki gerçek zamanlı haberleşme farkını tespit etmek tezin ikinci katkısını oluşturmaktadır.

Tez çalışmasının üçüncü katkısı, CAN, PROFIBUS ve WorldFIP alan ağları arasında, ATM üzerinden oluşturulan bir küresel heterojen ağın, haberleşme başarımının test edilmesi ve ATM'in heterojen alan ağları için başarımının incelenmesidir.

Köprü gecikmelerini en aza indirebilmek amacıyla, zeki algoritmalar kullanılarak tasarlanan zeki köprü modelinin başarımlarının gerçekleştirilmesi ise tez çalışmasının dördüncü ana katkısını oluşturmaktadır.

Alan ağlarının mesafe problemlerinin üstesinden gelmesi için ATM haberleşme teknolojisi ile tasarlanan köprü cihazının kullanımı sadece literatür değil uygulama açısından da önem arz etmektedir.

Bu çalışma sonuçları sayesinde, ATM haberleşme teknolojisinin köprü arabağlaşım cihazı üzerinden alan ağları ile kullanılabilirliği değerlendirilmektedir. Önerilen zeki köprü yönetimi ile köprü gecikmeleri en aza indirilmektedir. WorldFIP endüstriyel otomasyon ağları ile çalışan işlem ve süreçlerin uzaktan denetimi yapılabilecek ve izlenmesi mümkün olabilecektir. Böylece, uzaktan üretim, yönetim, bakım imkanları sağlanabilecektir. Sonuçlar günümüzün üzerinde çalışılan konularından e-üretim, e-yönetim, e-bakım, e-izleme konularındaki araştırmalara basamak olabilecektir.

## 1.4. Tez Organizasyonu

Tez çalışması altı ana bölümde sunulmaktadır.

Bölüm 1. Giriş: Bu bölüm, endüstriyel alan ağlarının haberleşmedeki yeri, önemi, mevcut kısıtlamaları, bu kısıtlamalar doğrultusunda tez çalışmasının amacı, konu ile ilgili literatür tarama sonuçlarının değerlendirilmesi ve çalışmada önerilen çözümler ile tez organizasyonunu içermektedir.

Bölüm 2. Endüstriyel Bilgisayar Ağlarının Küresel Ağlar İle Entegrasyonu: Tez çalışmasına alt yapı teşkil eden temel teknolojileri açıklamaktadır. Önce ağlar ve arabağlaşım cihazları hakkında temel bilgilerle köprü cihazının detayları anlatılmaktadır. Daha sonra endüstriyel haberleşme ağlarından CAN, PROFIBUS, WorldFIP protokolleri ile ATM haberleşme teknolojisine ait karakteristik bilgiler verilmektedir.

Bölüm 3. WorldFIP/ATM Köprü Tasarımı, Modellenmesi ve Başarım Analizi: WorldFIP/ATM köprü tasarımı, gerçekleştirilmesi ve başarım analizi anlatılmaktadır. Sırası ile WorldFIP ağ, ATM ağ, WorldFIP/ATM köprü tasarımı, modellenmesi ve başarım analizi yapılmıştır. Köprü, AAL-3/4 ve AAL-5 hizmet sınıfları trafiklerini destekleyecek biçimde tasarlanmıştır.

Bölüm 4. Farklı Endüstriyel İletişim Sistemlerinin ATM Omurga Üzerinden Arabağlaşımı: PROFIBUS, CAN, WorldFIP endüstriyel protokol ağlarının, ATM omurgaya sahip bulut üzerinden haberleştirilmesi için model geliştirilerek bu modele ait başarımın analizleri sunulmaktadır.

Bölüm 5. WorldFIP/ATM Köprü Başarımının Bulanık Kontrol Yöntemi İle Eniyilemesi: Köprü gecikmelerini en aza indirmek amacıyla gerçekleştirilen bir zeki köprü yönetim yaklaşımı, modeli ve başarım analizi verilmektedir. Bu yaklaşımda bulanık mantık kontrol ile çözüm önerisinde bulunmaktadır.

Bölüm 6. Sonuç ve Öneriler: Tez çalışmalarına ait sonuçlar ve katkılar vurgulanarak daha sonra yapılabilecek çalışmalara yön verilmektedir.

## **BÖLÜM 2. ENDÜSTRİYEL BİLGİSAYAR AĞLARININ KÜRESEL AĞLAR İLE ENTEGRASYONU**

### **2.1. Giriş**

Bilgisayar ağları coğrafik kapsamına, topolojilerine, iletim ortamlarına, iletim yöntemlerine, ağ ortamına erişim tekniklerine, haberleşme tekniklerine, kontrol türlerine, standartlarına ve kullanım/uygulama alanlarına göre sınıflandırılarak incelenebilir. Her bir ağ sınıfını niteleyen birçok teknoloji vardır.

Günümüzdeki haberleşme teknolojilerinin sunduğu yüksek hız ve hizmet kalitesi avantajları, küresel haberleşme sağlayan ağların geliştirilerek hemen her alanda uygulamalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Endüstriyel ağların, küresel ağlar üzerinden gerçek zamanlı olarak haberleştirilmelerinin uzaktan üretim, kontrol, izleme, bakım, vb. endüstriyel faaliyetler açısından büyük önemi bulunmaktadır. Böyle bir küresel ağ tasarlayabilmek için bilgisayar ağ yapıları, ara bağlaşım cihazları, endüstriyel ağlar ve küresel ağ protokollerinin yapıları incelenmelidir.

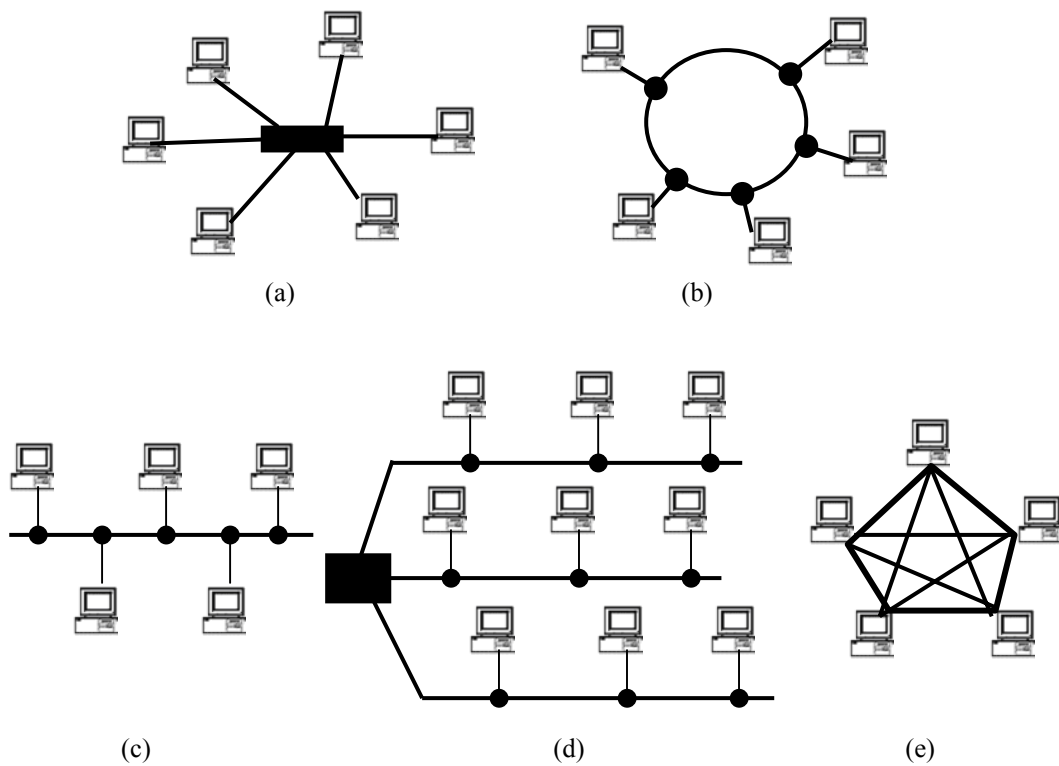
Bu bölümde; öncelikle tez çalışması kapsamında bilgisayar ağ yapıları, ara bağlaşım cihazları, daha sonra CAN, PROFIBUS ve WorldFIP endüstriyel ağları, ATM haberleşmesi hakkında gerekli genel bilgiler sunulmaktadır.

### **2.2. Bilgisayar Ağları**

Ağlar fiziksel büyüklük ve coğrafi yerleşimlerine göre Yerel Alan Ağları (LAN-Local Area Network), Şehir Alan Ağları (MAN-Metropolitan Area Network), Geniş Alan Ağları (WAN-Wide Area Network) olarak sınıflandırılırlar. LAN'lar yaklaşık 7 km'ye kadar mesafe içerisindeki aynı oda, bina veya kampüste bulunan, birbiriyle

bağlantı halindeki bilgisayarların oluşturduğu ağlardır. MAN'lar 7 km – 100 km arasındaki mesafeler içerisinde haberleşen ağlardır. WAN'lar ise 100 km'den daha büyük olan şehirler ve ülkelerarası sistemlerin haberleşmesini sağlayan büyük ağlardır.

Ağların kablolu bağlantı biçimlerine ağ mimarisi veya topolojisi denir. Ağ topolojileri; yıldız (star), halka (ring), yol (bus), ağaç (tree), örümcek ağı (mesh) türlerinden oluşur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Topolojiler a) Star, b) Ring, c) Bus, d) Tree, e) Mesh

Ağ iletim ortamları kablosuz ve kablolu olarak sınıflandırılır. Kablosuz iletim, kızıl ötesi ışık (IF-Infrared Frequency) veya radyo frekans (RF-Radio Frequency) ile yapılır. Kablolu iletim ise genelde çiftli burgulu (twisted pair), koaksiyel (coaxial), fiber optik (fibre optic) olarak üç tür kablo ile yapılır. Çift burgulu ve koaksiyel kablolar daha çok LAN'larda kullanılırken, fiber optik kablolar MAN ve WAN'larda kullanılır. Bu kabloların da sağladıkları veri iletim hızları, iki düğüm arasındaki kayıpsız en uzun veri iletim mesafeleri ve veri bozucu unsurlara karşı koruma

özelliklerine göre kendi aralarında çeşitleri vardır. Veri iletişimde kullanılan kablolar EIA-568/A ve ISO-11801 standartları ile sınıflandırılır. Kurulacak ağın özelliklerine göre en uygun kablo türü seçilir.

Ağ iletim yöntemleri Temelband (Baseband), Genişband (Broadband), Taşıyıcıband (Carrierband) olarak üç çeşittir. Band genişliği, verilen bir zamanda kaynaktan hedefe ne kadar bilgi iletebileceğinin ölçüsüdür. Band genişliğinin ölçü birimi “bps”dir (bit per second, bit/saniye). Tüm haberleşme sistemleri için ortak olarak tanımlanan bu terim, sistemlerin kapasitesini ifade etmek için kullanılır. Temelband iletimde, kablonun band genişliği herhangi bir anda sadece bir veri akışına izin verir. Genişband iletimde ise band genişliği alanlara bölünmüştür. Her bir alan kodlanmış bilgi taşır, tek kablo üzerinden aynı anda çoklu veri akışına izin verilir [29]. Taşıyıcıband iletimde tüm veri sinyalleri tek bir taşıyıcı frekans üzerine modüle edilerek taşınır [30].

Ağdaki düğümlerin ağ ortamına erişim teknikleri, Çarpışma Sezen, Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim (CSMA/CD-Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) ve jeton (token) izleme yöntemlerinden geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre farklı özellik ve faydaları vardır.

CSMA/CD yönteminde, ağdaki düğümler sürekli olarak ortamı dinlerler. Eğer ortam meşgul ise ortamın serbest kalmasını beklerler. Ortam boş iken mesajlarını yollarlar. Eğer aynı anda birden fazla düğüm ortama mesaj göndermişse bu mesajlarda çarpışma meydana gelir ve mesajlar bozulur. Ortamı dinleyen düğümler bu durumu sezince mesajlarının iletilemediğini anlarlar ve rastgele kısa bir süre bekleyip mesajlarını tekrar ortama yollarlar. Mesajlar ağ ortamındaki tüm düğümlere ulaşır; Fakat, sadece varması gereken hedef düğüm tarafından işlenir, diğer düğümler tarafından dikkate alınmaz. Her düğüm sadece kendisine yollanan mesajı işler.

Jeton izleme yönteminde, ağ içerisinde önceden belirlenen sıra veya koşullara göre jeton adı verilen bir kontrol mesajı üretilir. Jetonu alan düğüm ağa erişim ve mesaj yollama hakkına sahiptir. Mesajını yollayan düğüm daha sonra jetonu sıradaki düğüme iletir ve bu işlemler periyodik olarak tekrarlanır.



Ağlardaki haberleşme teknikleri yayın (broadcasting) ve anahtarlama (switching) olmak üzere iki tiptir [31].

Yayın haberleşme tekniğinde, ağdaki tüm düğümler tarafından paylaşılan tek bir hat/kanal vardır. Ağdaki düğümlerden birisi bağlı olduğu hatta bir mesaj veya paket yolladığı zaman tüm düğümler bu mesajı alırlar. Mesajı alan düğümler mesajın adres kısmını kontrol ederler. Sadece mesajın iletiildiği düğüm bu mesajı işlerken diğerleri dikkate almazlar.

Anahtarlama haberleşme tekniğinde, ağ oluşturan düğümler arasında çok sayıda hat vardır. Bu tekniğe uçtan uca haberleşme sistemi de denir. Haberleşme, mesajların bu hatlar üzerinden anahtarlama ile yapılır. Anahtarlama ağların Devre Anahtarlama (Circuit Switching), Mesaj Anahtarlama (Message Switching) ve Paket Anahtarlama (Packet Switching) çeşitleri vardır.

Devre Anahtarlama tekniğinde, düğümler arasında haberleşme başlamadan önce elektriksel devrelerle fiziksel bir hat açılır/kurulur, bağlantı gerçekleştirilir. Daha sonra düğümler arasında bu hat üzerinden veri aktarımı yapılır. Haberleşme ihtiyacı sona erdiğinde kurulmuş devre/hat kapatılır.

Mesaj Anahtarlama tekniğinde, kaynak ve hedef düğüm arasında önceden fiziksel bir yol atanmamıştır. Mesajlar kaynak düğümden hedef düğüme ortam durumuna göre farklı hatlar üzerinden ulaştırılabilir.

Paket Anahtarlama tekniği mesaj anahtarlama tekniğine benzer. Aradaki fark, paket anahtarlama mesaj uzunluklarının çok kısa olması, dolayısı ile gecikmelerin çok az olmasıdır.

Ağa bağlı düğümlerin kontrolü merkezi (centered), dağıtık (distributed) ve rastgele (random) olarak sınıflandırılabilir [31].

Merkezleştirilmiş kontrolde, tüm düğümler star topoloji kullanılarak merkezdeki bir kontrol ve izleme birimi tarafından kontrol edilir. Merkezi birim gerektiği zaman,

ilgili düğümler ile haberleşir [32, 33]. Merkezileştirilmiş kontrolde kablolama maliyetlerini düşürmek için bus topoloji de kullanılabilir [33].

Dağıtık kontrolde, ağdaki tüm düğümler gerektiği zaman ilgili düğümler ile doğrudan haberleşir. Düğümler zaman zaman usta (master) adı verilen yönetici, köle (slave) adı verilen yönetilen durumlarında çalışır. Farklı topolojiler bir arada kullanılabilir [33].

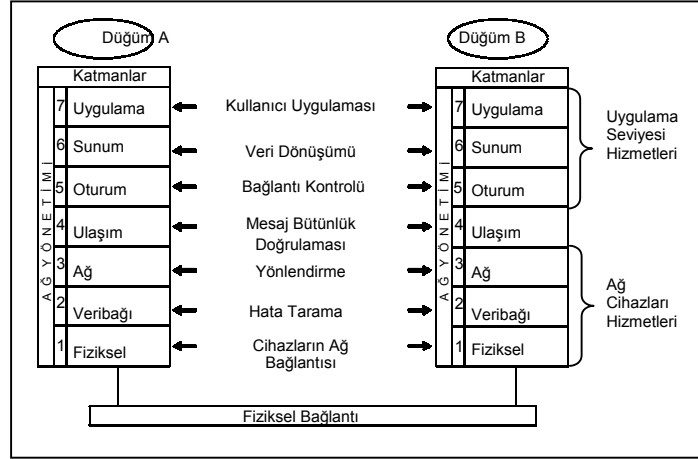
Rastgele kontrol yönteminde, ağdaki düğümler hattı izleyerek, boş olduğu zamanlarda kullanmaya çalışırlar. Eğer hat meşgul ise rastgele bir bekleme süresinden sonra aynı işleme devam ederek mesaj iletirler. Bu yöntemde farklı topolojiler kullanılabilir [31].

Ağ teknolojileri geliştirilmeye başlandığında, ilgili şirketler, merkezler ve kurumlar kendi standartlarını oluşturarak, teknolojilerinin üstünlüklerini iddia etmiştir. Standartlar “De\_Facto” ve “De\_Juri” olarak iki sınıfta toplanmaktadır. De\_Facto standartları IBM PC ve UNIX gibi kendi isimlerinde standartlaşmış ve kabul görmüş ürünleri olan şirketlerin standart ve markalarıdır. De\_Juri standartları ise bazı kabul görmüş otoriteler tarafından konulan kanuni ve resmi standartlardır. International Standards Organisation (ISO), Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) ve Consultative Committee of International Telegraph and Telephone (CCITT) (ismi şimdi International Telecommunications Union -ITU- olarak değiştirildi) bilgisayar haberleşme teknolojisi geliştirip üreten uluslararası en önemli kuruluşlardır. ISO ve IEEE bilgisayar üreticileri tarafından kullanılmak üzere standart geliştirirken, CCITT ulusal ve uluslararası farklı telefon ağlarının bağlantılarını sağlayacak cihaz ve birimlerin standartlarını tanımlar.

### **2.3. OSI Standardı Haberleşme Modeli ve Ağ Arabağlaşım Cihazları**

OSI (Open System Interconnection) standardı ağlardaki haberleşme hizmetlerini yedi katmana ayıran, hizmet, özellik ve haberleşme kuralları ile mekanizmalarını

tanımlayan genel, temel bir standarttır. Şekil 2.2’de görülen katmanlar ve görevleri aşağıda katman sıra numaralarına göre verilmiştir [30].



Şekil 2.2. OSI Referans Modeli

7- Uygulama Katmanı (Application Layer): Uygulama programlarının ağa erişimi için gerekli işlevleri kapsar. Kullanıcının etkileşimde bulunduğu uygulama programları doğrudan bu katmanla iletişim içindedir. Bu katman için dosya aktarımı, elektronik mektuplaşma, uzaktan dosya erişimi, ağ yönetimi, terminal protokolleri, vb. standartlar geliştirilmiştir.

6- Sunum Katmanı (Presentation Layer): Bilginin iletimde kullanılacak biçiminin düzenlenmesini sağlar. Sıkıştırma/açma, şifreleme/şifre çözme dönüşümü gibi işlevlerin yerine getirilmesini sağlar.

5- Oturum Katmanı (Session Layer): Uç düğümler arasında gerekli oturumun kurulması, yönetilmesi ve sonlandırılması işlerini kapsar. İletişimin mantıksal sürekliliğinin sağlanması için, iletişimin kopması durumunda bir senkronizasyon noktasından başlayarak iletimin kaldığı yerden devam etmesini sağlar.

4- Ulaşım Katmanı (Transport Layer): Bu katman, bilginin son alıcı düğümde her türlü hatadan arındırılmış olarak elde edilmesini sağlar. Ulaşım katmanının oluşturduğu bilgi bloklarına parça (segment) denir. Bunlar son alıcıya sırası

bozulmuş olarak gelirse, burada düzgün olarak sıralanır. Bunun için bölümler numaralandırılmıştır.

3- Ağ Katmanı (Network Layer): Bu katman, veri paketlerinin bir uçtan diğer bir uca ağdaki çeşitli düğümler (yönlendirici gibi), üzerinden geçirilip, yönlendirilerek alıcısına ulaşmasını sağlayan işlemlere sahiptir. Veri paketinin alıcısına giderken ağ koşullarına, önceliklere ve diğer parametrelere göre hangi yolun uygun olacağı bu katmanda değerlendirilir. Bu amaçla düğümlere ağ adresi denilen numaralar verilir. Ağ adresi taşıyan bilgi bloklarına paket adı verilir.

2- Veribağı Katmanı (Data Link Layer): Bu katmanın, gönderilecek bilginin hatalardan arındırılmış bir yapıda mantıksal işaretlere (1, 0) dönüştürülmesi, alıcıda hataların sezilmesi, düzeltilemiyorsa doğrusunun elde edilmesi için göndericinin uyarılması gibi işlevleri vardır. Gönderilen/alınan lojik işaret bloklarına çerçeve (frame) denir. Çerçevelerin içerdiği bit sayısının alt ve üst sınırları standartlarla belirlenmiştir ve genellikle değişken uzunluklardadır.

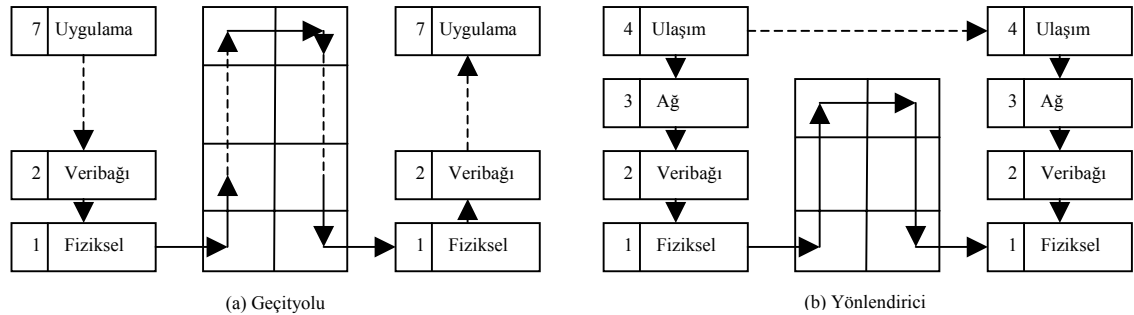
1- Fiziksel Katman (Physical Layer): Bu katman, verinin fiziksel olarak hat üzerinden aktarılması için gerekli işlevleri kapsar. Veri, bu katman için sıradan bir bit dizisi olarak algılanır, bitlerin taşıdığı bilgi bu katmanda yorumlanmaz. Bu katman için tanımlanan standartlar taşıyıcı işaretin şekli, verici ve alıcı konumundaki uç noktaların elektriksel ve mekanik özelliklerini belirler. Kablo standartları, tanımlamaları, işaret şekilleri, gerilim seviyeleri, işaret hızları bu katman için anlamlıdır.

OSI başvuru modelinin yukarıdan üç katmanı (7., 6. ve 5. katmanlar) uygulama programları düzeyinde hizmetleri sunan özelliklere sahiptir. İlk üç katmanı ve 4. katmanın bir kısım özellikleri ise ağ cihazlarında kullanılan işlevleri yerine getirirler.

Bir bilgisayar ağını oluşturmak için gerekli, ağlara özel tasarlanmış cihazlara ağ bağlantı cihazları denir. Bu cihazların, ağın donanımsal ve yazılımsal özelliklerine göre kendi aralarında çeşitleri vardır. Ağ bağlantı cihazlarının genel çalışma karakteristikleri ve özellikleri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Geçityolu (Gateway); OSI haberleşme modelinde tanımlanmış 7 katmanın tamamının fonksiyonlarını içeren bir ağ cihazıdır (Şekil 2.3-a). Protokolleri tamamen birbirinden farklı ağların bağlanması için iki yönlü protokol dönüşümü yaparak çalışır.

Yönlendirici (Router); veri paketlerinin bir uçtan diğer uca, ağdaki uygun düğümler üzerinden geçirilerek alıcısına ulaştırılması işini gerçekleştirirler (Şekil 2.3-b). Paketleri gönderen ve alan düğümler arasında birden fazla yol varsa yönlendirme tablolarında tuttıkları yol uzunluğu, güvenilirlik, gecikme, yolun band genişliği, trafik yoğunluğu, iletişim maliyeti gibi parametrelerden birkaçını kullanarak bir metrik değer hesaplarlar. Daha sonra “uzaklık vektörü uygulaması” (DVA-Distance Vector Algorithm) ve “bağlantı durumu algoritması” (LSA-Link State Advertisements) algoritmalarından birisini kullanarak en uygun yolun seçilmesini sağlarlar. Ağ tasarımında kullandıkları yere göre kenar ve merkez yönlendiriciler olarak isimlendirilirler. Yönlendiriciler OSI haberleşme modelinin 3. katmanında çalışırlar.



Şekil 2.3. Geçityolu ve Yönlendirici

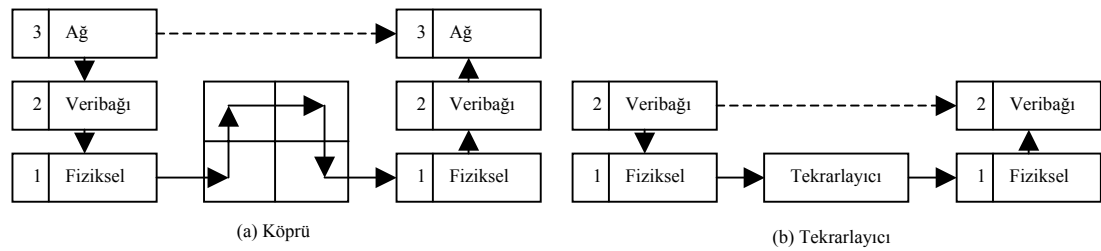
Anahtar (Switch); birden çok uç sistemini bir noktada toplayıp, uçlar arasında anahtarlama yöntemi ile bağlantı kurulmasını sağlayan cihazlardır. İşlevsel olarak Hub cihazına benzetilse de çalışma mekanizması ve amacı çok farklıdır. Veri bağı katmanında çalışmalarına rağmen bazı türleri ağ katmanının bazı işlevlerini yapacak şekilde de tasarlanmışlardır. Farklı ağ sistemleri için veri paketi anahtara gelir gelmez karşı tarafa geçiren “hemen geçir” (cut-through) ve tüm paketlerin anahtara gelmesini bekleyip, daha sonra adrese bakılarak karşı tarafa tamamı geçiren “al ve sonra gönder” (store-and-forward) anahtarlama yöntemleri vardır. Paketin yolda

bozulma olasılığı fazla olan yerlerde ikinci yöntem tercih edilir. Veri paketi üzerinde hata denetimi yapılmadığından, aktarım ortamı güvenilir olan yerlerde ikinci yöntem daha hızlıdır. Anahtarlar ağ tasarımında kullanıldıkları yere göre “kenar anahtar” (edge switches) ve “merkez anahtar” (core switches) olarak isimlendirilirler.

Ağ kartları (NIC-Network Interface Card); ağ üzerindeki düğümlerin ağa fiziksel bağlantılarını sağlayan elektronik devreler şeklinde tasarlanmış kartlardır. Bu kartlar ağın haberleşme özelliklerine göre oluşturulur. Ağ kartlarının çeşitleri, ağın kullandığı ortam erişim yöntemi (Ethernet, Token Ring, FDDI, ATM, vs.), veri iletim hızı (10 Mbps, 1 Gbps, vs.), kablolama/ortam çeşidi (TP, CX, FO, IR, RF) ve düğümün özellikleri (mikroişlemcisi, veri hattı türü ve hız özellikleri vs.) gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Ağ kartları, OSI haberleşme modelinin 1. ve 2. katmanları fonksiyonlarının tamamı veya bir kısmını gerçekleştirir.

Tekrarlayıcı (Repeater); ağın iletim ortamı üzerindeki sinyal seviyelerini yükseltmek, kuvvetlendirmek için kullanılır (Şekil 2.4-b). Ağın özelliklerine göre ağ düğümleri arasındaki maksimum mesafe sınırlıdır. Çünkü düğümlerden ortama verilen elektriksel sinyaller doğal koşullardan dolayı zayıflayarak veri kaybına neden olur. Tekrarlayıcılar bu sinyallerin zayıfladığı noktalarda kullanılarak sinyali yükseltirler ve ağın uzunluğu arttırırlar.

Hub; çok portlu tekrarlayıcı olarak düşünülebilir. Fakat çalışma ilkesi benzer olsa da işlevi hublardan farklıdır. Çeşitli yerlere dağıtılmış uç düğümlerin birleştirilmesi için önemli bir çözümdür. Küçük ofis uygulamalarında veya trafik yoğunluğu az olan LAN’larda çalışma grupları oluşturmak için kullanılır.



Şekil 2.4. Köprü ve Tekrarlayıcı

### 2.3.1. Köprü (Bridge)

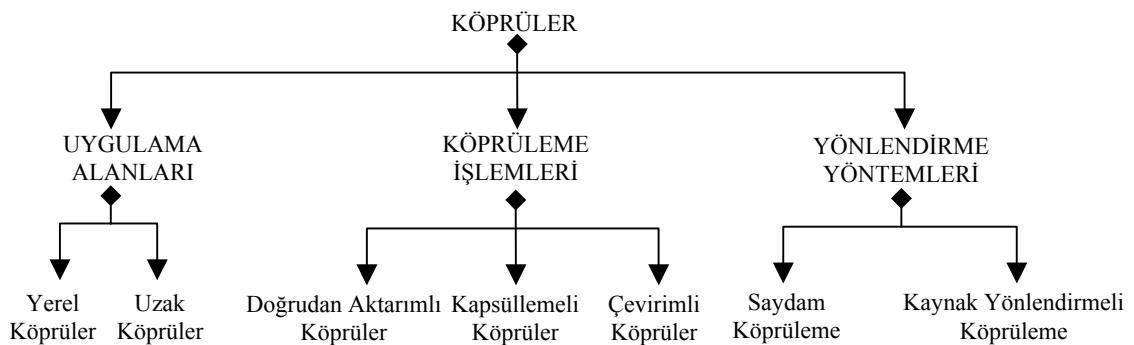
Köprü cihazı LAN'ları birbirine bağlamak için kullanılır. Köprüler OSI haberleşme modelinin 2. katmanında (veri bağı katmanı) çalışırlar (Şekil 2.4-a). Köprüler veri paketinin adres kısmını kontrol ederek gerekirse diğer ağa iletirler. Bağlanacak LAN'ların teknolojilerine göre kullanılacak köprülerin çalışmaları da değişiklik gösterebilir. Paketin geldiği kaynak ağ ile geçirildiği hedef ağın teknolojileri farklı ise paket yapısında gerekli dönüşüm yapılarak, değilse paket aynı yapı ile diğer ağa geçirilir. Paketin diğer ağa iletilmesi gerekmiyorsa köprü tarafından filtrelenir. Böylece köprülenmiş ağlar arasında aşağıda belirtilen faydalar sağlanır [34];

- Birbirine bağlanacak çok sayıdaki istasyon arasındaki mesafeye bağlı bağlantı kısıtlamalarını ortadan kaldırarak, bir LAN'ı oluşturan bölüm (segment) sayısının artmasını, dolayısı ile ağın genişlemesini sağlar. Bu özellik geniş coğrafik alanlar üzerindeki büyük dağıtık LAN'ların kurulması açısından önemlidir.
- Köprüler yalnız çerçevelerin ortam erişim denetimi (MAC-Medium Access Control) alt adreslerine göre iletim işlevi görürler, üst katman protokollerine bağımlı değildirler. Bundan dolayı köprüler LAN'ların desteklediği farklı protokoller ile kullanılabilir.
- Köprüler büyük ağların kolaylıkla ve en etkili biçimde yönetimine izin verirler. Örneğin köprü tasarımı içerisine dahil edilen yönetim yazılımları ile performans, güvenlik ve çıkışların durum kontrolleri sağlanır.
- Köprüler, LAN'ları daha küçük parçalara ayırarak toplam ağın genel güvenlik, kullanılabilirlik ve hizmet kalitesi geliştirirler.

Bunlarla birlikte köprülerin ve kullanımlarının çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır [34];

- Köprü aldığı tüm çerçeveleri iletmeden önce “depola ve ilet” işlevinden dolayı karşılaştırma ve tekrarlama gecikmesine neden olur.
- Köprünün MAC alt katmanında herhangi bir akış kontrolü yoktur. Bu nedenle köprüler yüksek trafik esnasında aşırı yüklenmeden dolayı daha fazla çerçeve depolama ihtiyacı duyabilirler.
- Farklı MAC protokolleri ile işleyen ağları birleştiren köprüler farklı çerçeve yapılarını düzenlemelidirler. Çerçeveler karşı tarafa iletilirken herhangi bir hata ile karşılaşmaması için, köprünün her bir tarafında yeni çerçeveler için kontrol sırası meydana getirilir.

Köprüler uygulama alanlarına göre Yerel Köprüler (Local Bridges) ve Uzak Köprüler (Remote Bridges) olarak iki tür, köprüleme işlemlerine göre Doğrudan Aktarımlı Köprüler (Pass-through Bridges), Kapsüllemeli Köprüler (Encapsulation Bridges) ve Çevirimli Köprüler (Translation Bridges) olarak üç tür, köprü yönlendirme metoduna göre Saydam Köprüleme (TB-Transparent Bridging) ve Kaynak Yönlendirmeli Köprüleme (SRB-Source Routing Bridging) olmak üzere de iki tür olarak sınıflandırılır [25] (Şekil 2.5). IEEE 802 komisyonu ayrıca Saydam ve Kaynak Yönlendirmeli Köprüleme yöntemlerinden oluşan Kaynak Yönlendirmeli Saydam Köprüleme (SRTB- Source Routing Transparent Bridging)'yi tanımlamıştır [35].



Şekil 2.5. Köprülerin Sınıflandırılması

Yerel köprüler, LAN'ları altağlara ayırırlar. Bu işlem, verimi (throughput) artırır [36].

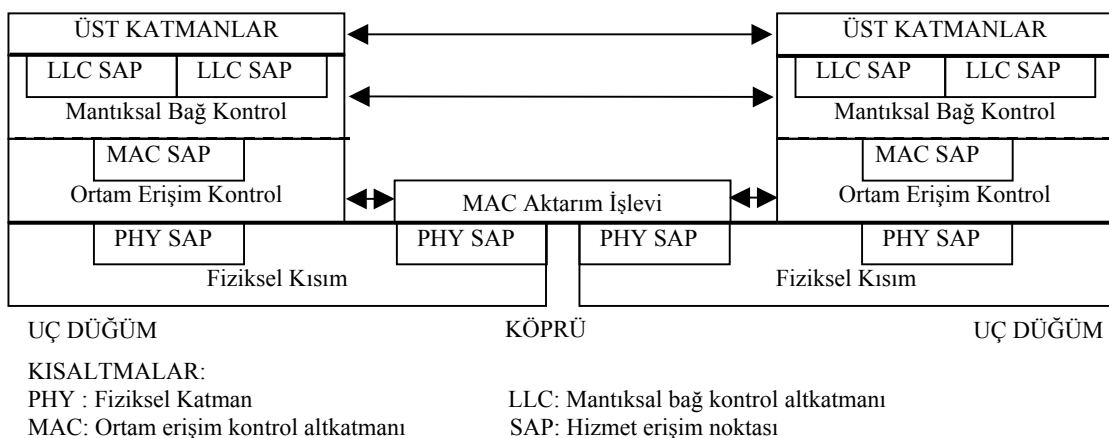


Uzak köprüler, farklı coğrafik ortamlarda bulunan LAN'ları birbirine bağlamak için kullanılır ve bağlama işleminde kiralık hatlar (leased lines) kullanılırlar [34].

Doğrudan aktarmalı köprüler, çerçeveleri değiştirmeden iletmeleri nedeni ile en basit köprü işlevine sahiptirler. Bu köprü işlevi, aynı çerçeve biçiminde ve aynı ortam erişim kontrolüne sahip olan iki ağın birbirine bağlanması durumunda kullanılır ve çerçeveleri değiştirmeden karşı tarafa iletir [25].

Kapsülleme işlevi kullanan köprüler, kaynak LAN'dan aldığı çerçeveyi, hedef LAN'ın başlık ve kuyruk alanları arasına koyarak kapsüller ve bu çerçevenin en son halini arada bulunan LAN üzerinden iletir. Ara LAN üzerinden çerçeveyi alan diğer köprü, başlık ve kuyruk kapsülünü kaldırır ve hedef LAN'a orijinal çerçeveyi iletir [37].

Şekil 2.6'da köprü model mimarisi ve uç düğümler arasındaki protokol ilişkisi görülmektedir [38, 35]. Görüldüğü gibi, sağ veya soldaki her bir bölümün kendisine ait fiziksel ve ortam erişim kontrol katmanları vardır. Mantıksal bağ katmanı ve üst seviyedeki katmanların protokolleri köprü üzerinden direk geçerler, yani köprü üst katmanlardan bağımsızdır. Her bir tarafın bu katmanları arasında bir tutarlılık olmasına gerek yoktur. Uçlar farklı haberleşme protokollerine sahip olabilirler.

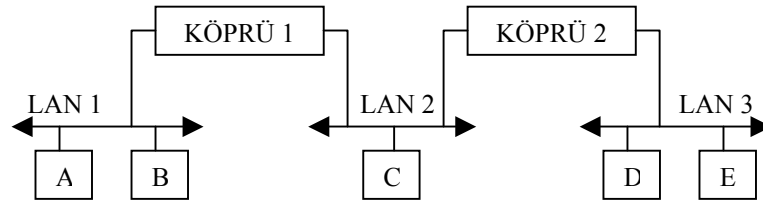


Şekil 2.6. Köprü Model Mimarisi

Çevirimli veya MAC dönüştüren köprüler, benzer olmayan LAN'ları birbirine bağlamak için kullanılır [39, 34, 30]. Haberleştirilecek LAN'lar farklı çerçeve

biçimlerine sahiplerse veya farklı veri bağı katmanı protokolleri kullanıyorlarsa dönüşüm işlemi gerekir [37].

Saydam Köprü (Transparent Bridging), bağlandığı iki ağ parçası arasında tek iletişim yolunun bulunduğu durumlarda kullanılır (Şekil 2.7). Bu tür ağlarda alternatif yol veya döngü bulunmamaktadır [40].



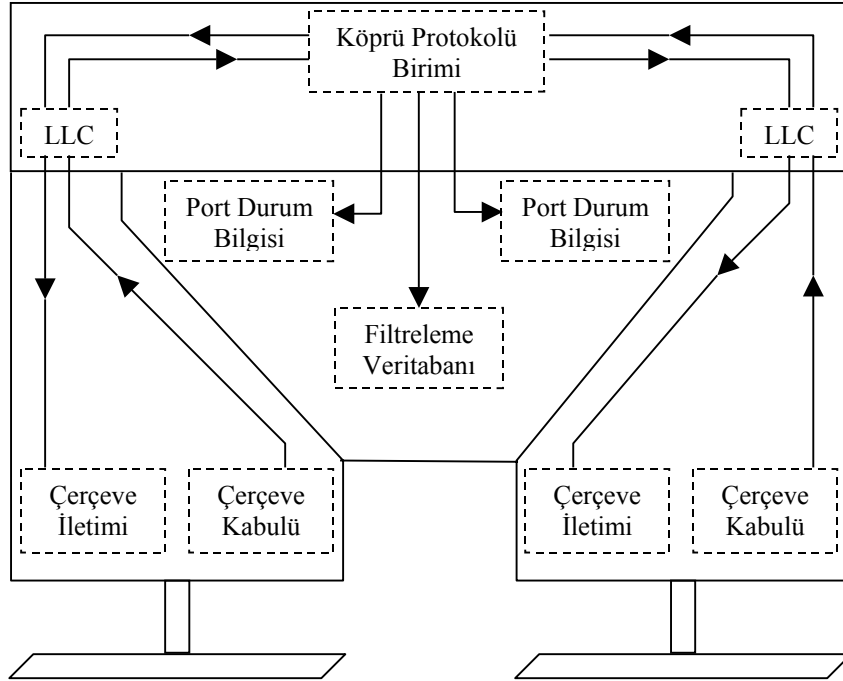
Şekil 2.7. Saydam Köprüleme

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi LAN1'de A, B istasyonları, LAN2'de C istasyonu ve LAN3'de D, E istasyonları trafik oluşturmaktadır [41, 42, 43, 44]. KÖPRÜ 1, LAN1 ve LAN2 arasında (örneğin A'dan C'ye), KÖPRÜ 2, LAN2 ve LAN3 arasında (örneğin C'den D'ye), KÖPRÜ 1 ile KÖPRÜ 2 ise LAN1 ve LAN3 arasında (örneğin A'dan E'ye) çerçeve iletmektedir.

Diğer bir işlev olarak saydam köprüler Şekil 2.8'de görülen yapılarıyla portlarına gelen ve giden çerçeveleri izleyerek istasyonların adreslerini öğrenirler ve veritabanında saklarlar. Bu bilgiler iletim ve filtreleme işlemlerinde kullanılır.

Köprü Protokolü Birimi, köprü ile birleştirilmiş iki LAN arasında yalnız bir yol tanımlayan ve bu sayede sonsuz döngülerin oluşmasını önleyen kapsayan ağaç (Spanning Tree) algoritmasını işleterek Saydam Köprü'nün son işlevinin gerçekleştirilmesini sağlar [45].

Köprülerin bağlandıkları ağ parçaları arasında birden çok yol seçeneği ve döngü varsa, kapsayan ağaç algoritması kullanılır. Bu yöntemde, tüm köprüler birbirleriyle düzenli olarak Köprü Protokol Veri Birimi (BPDU-Bridge Protocol Data Unit) adı verilen özel iletilerle haberleşir [40].



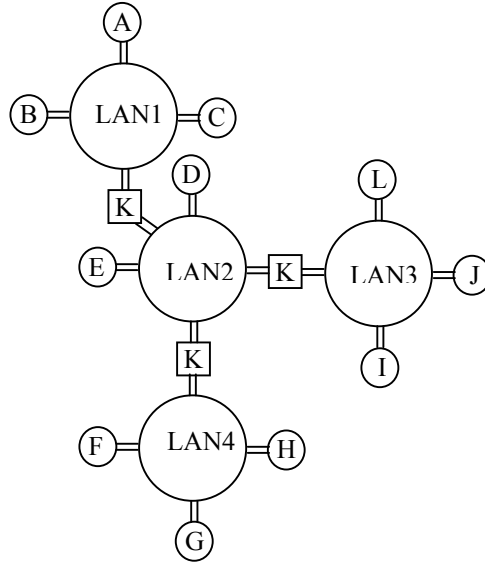
Şekil 2.8. Genel Köprü İşlevsel Blok Şeması

Kaynak Yönlendirmeli Köprü (Source Route Bridging), genellikle Token Ring halka ağlarını birleştirmek için kullanılır (Şekil 2.9). Kaynak Yönlendirmeli Köprüler, paketlerin nereye gönderileceği konusunda herhangi bir karar vermez ve ana bilgisayarların MAC adres listelerini oluşturmazlar. Bu köprüleme türünde, yönlendirme işlevini ağa bağlı uç istasyonlar sağlar [40].

Kaynaktan yönlendirmeli köprü yönetiminde bir çerçeve gönderilmeden önce kaynak bilgisayar tarafından çerçevenin izleyeceği yollar araştırılır ve doğrulanır. Yol bilgisi çerçeve ile birlikte (çerçevenin başına eklenerek) gönderilir. Yönlendirme bilgisi, her köprüye özgün bir köprü numarası ve o köprüye bağlı her yerel ağa özel bir tanıttıcı halka numarasına ait bilgiler içerir. Köprü çerçeveyi aldığı anda, bu bilgilerden yararlanarak iletim işlemini gerçekleştirir.

Kaynak düğüm tüm rotaların bulunmasını sağlayacak özel bir ileti (ARE-All Routes Explorer) çerçevesi gönderir. ARE çerçevesinde yol belirleyicilerinin boş bir listesi bulunur. Çerçeveyi alan her köprü, yol belirleyici listesine köprü ve ağ numaralarını ekleyerek çerçeveyi aldığı kapı dışındaki tüm kapılara iletir. Hedef düğüm, olası tüm rotalardan birer ARE çerçevesi alacaktır. Hedefe ulaşan her ARE çerçevesi için bir

belirlenmiş yol çerçevesi (SRF-Specified Route Frame) yanıt olarak gönderilir. Hedefe gidecek yol, çerçeve iletecek düğüm tarafından seçilir.



Şekil 2.9. Kaynak Yönlendirmeli Köprüleme

Veri gönderileceği zaman birden fazla rota seçeneği bulunursa hangisini kullanılacağını belirlemek, kaynak düğümün sorumluluğundadır. Gönderilen her paket için yeniden yol bulma gerçekleştirilmez, yol bilgisi tekrar kullanılabilir.

#### 2.4. Endüstriyel İletişim Ağları

Endüstriyel ortamlarda kullanılan ağların haberleşme yetenekleri sadece basit veri aktarımı ile sınırlı kalmamış, geçen zaman içerisinde sensör sinyallerinin işlenmesi, denetlenmesi, depolanması, daha uzak mesafelere iletilmesi gibi yeni ihtiyaçları da karşılayabilecek duruma gelmiştir. Bu amaçlarla BACnet, BITBUS, CAN, CEBus, IEC Fieldbus, Interbus, Profibus, P-NET, WorldFIP gibi endüstriyel ağlar geliştirilmiştir.

Alan ağlarının, ağ erişim metodu (Token Passing, Polling, Collision Detection vb.), haberleşme yapısı (Master/Slave, Multi-Master, Peer to Peer vb.), iletim ortamı (bakır tabanlı kablo, fiber optik kablo, RF vb.), topoloji (Bus, Star, Ring vb.),

maksimum düğüm sayısı, sistem maliyeti, veri iletim hızı ve tepki zamanı gibi bazı genel karakteristiklere göre çeşitleri bulunmaktadır [33].

Bu çeşitlilik üzerine uluslararası seviyelerde standartlaştırma çalışmalarına başlanılmıştır. Avrupa’da IEC (International Electrotechnical Commission), ABD’de ISA (Instrumentation Society of America) ile ülkeler kendi ulusal standartlarını oluşturdu. Bu çalışmalar süresince OSI referans modeline uygun LAN yapısının işlevleri geliştiricileri yönlendirmiştir. Alan ağları için 3 katmanlı model öngörülmektedir (Şekil 2.10).

OSI Referans Modeli	Alan Ağı Modeli
Uygulama Programı	
1-Uygulama Katmanı	1-Uygulama Katmanı
2-Sunum Katmanı	
3-Oturum Katmanı	
4-Ulaşım Katmanı	
5-Ağ Katmanı	
6-Veribağı Katmanı	2-Veribağı Katmanı
7-Fiziksel Katman	3-Fiziksel Katman

Şekil 2.10. OSI ve Alan Ağı Modelinin Karşılaştırılması

Fabrika otomasyonu olarak bilinen saha otomasyonları, CIM, bina otomasyonları, ulaşım araçları otomasyonları, yüksek seviyede güvenilirlik gerektiren işlem otomasyonları için 50’den fazla alan ağı haberleşme standardı ve protokolü geliştirilmiştir. Tablo 2.1’de bunlardan bazıları görülmektedir [46].

Tablo 2.1. Bazı Alan Ağları Standartları

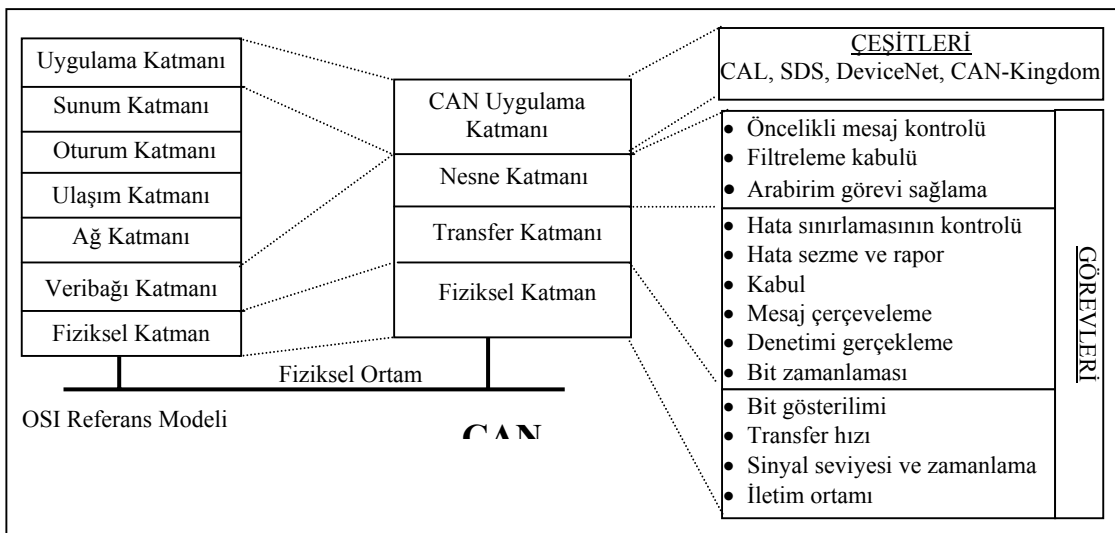
Alan Ağı	Standart Numaraları
BACnet	ASHRAE Std. 135-1995
BITBUS	IEEE 1118
CAN	ISO 11898, ISO 11519
IEC Fieldbus	IEC 1158-2
Profibus	DIN 19245 T1 to T4, EN 50170, IEC 1158-2
P-NET	EN 50170
CEBus	EIA IS 60
Interbus	DIN E 19258
WorldFIP	NF C46-602 to 07, EN 50170, IEC 1158-2

### 2.4.1. Kontrol Alan Ağı (CAN-Controller Area Network)

Kontrol Alan Ağı (CAN), bir araç içerisinde bulunan elektronik kontrol birimleri arasındaki iletişimi sağlamak üzere bir Alman firması olan Robert Bosch GmbH tarafından tasarlanmış, ilk olarak 1989 yılında otomotiv endüstrisinde kullanılarak bir otomotiv standardı haline gelmiştir [47, 48, 49]. Aynı zamanda yüksek hız, düşük maliyet ve yüksek başarımlar gibi özelliklerinin sağladığı avantajlar nedeniyle, çok kısa bir süre içerisinde endüstriyel iletişim ortamlarında kullanılan veri yolları arasında yerini almıştır [50, 48].

CAN, tasarım saydamlığı ve esnekliğini sağlamak için yapısal olarak katmanlı halde geliştirilmiştir [53]. Şekil 2.11’de, OSI’nin yedi katmanlı yapısına paralel olarak CAN katmanlı mimarisi ve görevleri gösterilmektedir.

CAN için ISO 11898 ve 11519 standartları bulunmaktadır. ISO 11898 standardı 1 Mbit/sn’ye kadar gerçek zaman kontrolüne izin veren yüksek hızlı uygulamalarda kullanılırken, ISO 11519 standardı üst sınırı 125 Kbit/sn olan düşük hızlı uygulamalarda kullanılır [31, 48]. CAN protokol uygulamalarında TP, CX, FO kablolar kullanılır [49].



Şekil 2.11. CAN Modeli

Bir CAN ağı için maksimum veriyolu uzunluğu, kullanılan bit hızına bağlıdır. CAN konfigürasyonu, yaklaşık 50 m'lik bir veriyolu uzunluğu ile maksimum 1 Mbit/sn hızı destekler. 1 Mbit/sn'den daha düşük bit hızlarında, veriyolu uzunluğu artar. 50 Kbit/sn'lik bir veri hızı, 1 km'lik veriyolu uzunluğu sağlar. Diğer mesafelere göre desteklenebilecek veri hızları [51, 52]'de ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır.

CAN'in birçok endüstriyel uygulamada hızla yayılan kullanımı, kısa zaman içerisinde DeviceNET, SDS (Smart Distributed Systems), CAN Kingdom, CAN Open ve CAL (CAN Application Layer) gibi özel CAN tabanlı ağ çözümlerini ortaya çıkartmıştır [31].

CAN, birden çok aktif düğümün (master) birbirine "bus" topolojisi ile bağlandığı ve tanıtıcı alan üzerine dayalı olan Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim/Mesaj Öncelik Denetimli Çarpışma Sezme (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Arbitration on Message Priority–CSMA/CD+AMP) ortam erişim kontrol mekanizmasının kullanıldığı gerçek zamanlı bir protokoldür. Dolayısıyla CAN arabirimi, iki veya daha fazla düğümün aynı anda veriyolu erişimini kazanmak isteme ihtimalinden dolayı, veriyolu üzerindeki ortaya çıkabilecek çatışmaları önler.

CAN veriyolu üzerinde herhangi bir düğüm tarafından iletilen mesajlar, ne gönderen düğüm (kaynak) ne de alan düğüm (hedef) adresleri hakkında herhangi bir bilgi içermez. Buna karşılık mesaj çerçevesi, mesajın içerdiği bilgi tipini (mantıksal adres) ve mesajın önceliğini gösteren bir denetim (arbitration) alanı içerir. Mesaj çerçevesinin başında bulunan bu alan, sadece mesajı tanımlamak ve önceliği belirlemek için değil ortam erişim kontrolünde de kullanılır [52, 31]. Aynı zamanda mesajın önceliğini de belirler. En düşük sayısal değerli tanıtıcı alanı, en yüksek önceliğe sahiptir. Yüksek öncelikli mesajın, veriyolunda sadece kendisi varmış gibi, erişimi kazanması garantilenir. Böylece düşük seviye gönderen düğüm, erişimi kazanıp verisini iletebilir. Bu karşılaştırma, erişim isteği yapan tüm düğümlerin tanıtıcı alanlarında uygulanır. Erişimi kaybeden mesaj(lar), bir sonraki veriyolu çevriminde otomatik olarak yeniden gönderilir.

Erişim kazanılmasından sonra CAN'ın yayın (broadcast) iletişim tekniğini kullanmasından dolayı ağ üzerindeki tüm düğümler veriyoluna çıkartılan mesajı alırlar. Düğümlerden her biri, mesajın kendisi ile ilgili olup olmadığını belirlemek amacıyla tanıtıcı alan üzerinde bir kabul testi gerçekleştirir. Eğer mesaj kendisine hedeflenmiş ise, düğüm aldığı mesajı işler, aksi takdirde önemsemez.

CAN mesaj çerçevesinde veri, 1–8 bayt arasında değişken uzunluğa sahip olarak gönderilir. Her bir CAN düğümü, Veri çerçevesi, Uzak (Remote) çerçeve, Hata çerçevesi ve Aşırıyük (Overload) çerçevesi olarak dört farklı çerçeve üretebilir [53].

CAN protokolünde diğer veriyolu sistemlerinin aksine kabul mesajları kullanılmaz. Bunun yerine CAN standardında tanımlı olan hata sezimi, sinyalleşme ve hata sınırlama gibi özellikler bulunmaktadır. Bu özellikler bilginin doğru ve tutarlı olmasını sağladığından dolayı CAN veriyolunu haberleşme açısından oldukça güvenli yapar [52].

Bir CAN denetleyicinin hangi uygulamada kullanılacağını belirlemek için denetleyiciler sınıflandırılmıştır. CAN denetleyicileri, mesajın kabul/filtreleme ve tamponlama tarzına göre FullCAN ve BasicCAN olarak sınıflandırılır. Diğer bir sınıflamaya göre standart tanıtıcı 11 bit uzunluğuna sahipken, genişletilmiş tanıtıcı 29 bit uzunluğuna sahiptir. Yonga konfigürasyonuna göre ise Stand-alone, tümleşik CAN ve SLIO CAN olarak üç çeşittir. En son sınıflandırma da uygulama alanına bağlı olarak A, B, C ve D tiplerindedir. A tipi elektronik kontrol uygulamalarını, B tipi bilgi paylaşımı gerektiren uygulamaları, C tipi gerçek zamanlı kontrolü ve D tipi mobil uygulamaları kapsar [54, 31].

#### **2.4.2. Proses Saha Yolu (PROFIBUS-PROcess Field BUS)**

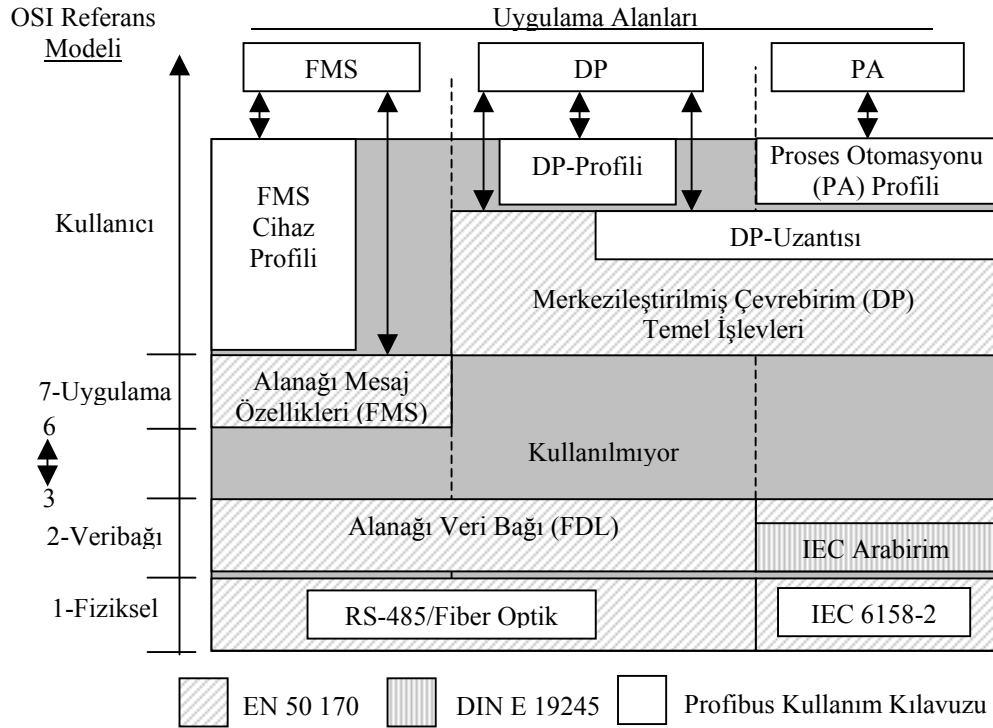
Proses Saha Yolu, uluslararası standartlarla (IEC 61158, EN 50170) tanımlanmış bir endüstriyel iletişim protokolüdür. PROFIBUS, içerisinde Siemens, ABB, Bosch, Klockner-Moeller gibi 12 firma ile 5 farklı Alman araştırma enstitüsünün dahil olduğu bir grubun çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır.



PROFIBUS, birden fazla aktif istasyonlu (master) bir sistemdir. Bu yapı, dağıtık çevreirim cihazlarının aynı anda tek bir veri yolu üzerinden kontrol edilmesi ve izlenmesini sağlar. Ayrıca, saha seviyesinden hücre seviyesine kadar yayılmış sayısal kontrol cihazlarının bir ağ üzerinden haberleşmesini temin eden bir iletişim protokolü olduğundan üretim, proses ve bina otomasyonu gibi farklı endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir [55].

PROFIBUS, birbirlerine göre işlevsel farklılıklar gösteren aktif/ana (master) ve pasif/uydu (slave) iki tip istasyonu destekler. Farklı üreticilerin ürettiği PROFIBUS cihazları arasındaki iletişim, herhangi bir uygunlaştırıcı arabirim gerektirmeden yapılabilir. Bu özellik PROFIBUS'ın açık bir standart olmasını sağlar. Bu özelliğe ek olarak PROFIBUS, hem yüksek hızlı ve zamana karşı duyarlı uygulamalarda hem de karmaşık iletişim işlerinde kullanılabilir.

PROFIBUS protokol yapısı, IEC 61158 ve EN 50170 standartları ile tanımlı olup OSI katmanlı modelini referans almaktadır (Şekil 2.12) [56].



Şekil 2.12. OSI Referans Modeline Göre PROFIBUS Protokol Yapısı

OSI referans modeline göre oluşturulan PROFIBUS mimarisinde her katman, kendisi için açık olarak tanımlanmış görevleri gerçekleştirir. Katman 1 (fiziksel katman), fiziksel taşıma karakteristiklerini belirlerken; Katman 2 (veri bağı katmanı), veriyolu erişim protokolünü belirler. Katman 7 (uygulama katmanı) ise uygulama fonksiyonlarını tanımlamaktadır.

PROFIBUS, endüstriyel uygulamaları gerçeklemek için Uygulama Profilleri, Fiziksel Profiller, İletişim Profilleri olmak üzere üç farklı yapılandırma sunar [55].

Uygulama Profili olarak proses otomasyonu (PA-Process Automation) profili kullanılır.

Taşıma güvenliği, mesafe veya transfer hızı gibi temel isteklere cevap verebilmek için haberleşme hızı, kablo uzunluğuna bağlı olarak 9,6 Kbit/sn ila 12 Mbit/sn arasında değişebilen RS 485, 31,25 Kbit/sn hızlı senkron iletim kullanan IEC 1158-2 standardı ve fiber optik fiziksel profiller kullanılmaktadır.

Kullanıcıların ortak bir iletim ortamı vasıtasıyla verilerini seri olarak nasıl göndereceklerini tanımlayan ‘Merkezileştirilmemiş Çevreirim’ (DP-Decentralized Periphery) ve ‘Sahayolu Mesaj Özellikleri’ (FMS-Fieldbus Message Specification) adında iki adet iletişim profili tanımlanmıştır.

Bir istasyon veri göndermek istediğinde uygulanacak olan prosedür, ortam erişim kontrolü (MAC) tarafından belirlenir. PROFIBUS protokolü, MAC için iki temel ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmıştır [55, 57]:

Birincisi; her master cihaz, jeton aktarma prosedürü sayesinde veriyoluna önceden tanımlanmış zaman aralığı kadar sahip olabilir. Veriyoluna erişim hakkı, bir master cihazdan diğerine özel bir paket olan “jeton” vasıtasıyla aktarılır. Bu paket, mantıksal bir jeton halkasındaki (token ring) tüm master cihazları, önceden tanımlanmış olan maksimum jeton dönüş süresi (token rotation time) içerisinde dolaşmalıdır. Bu süre, daha sonraki güncellemeler için tekrar yapılandırılabilir. Jeton aktarma prosedürü, yalnız karmaşık istasyonların kendi aralarındaki haberleşmelerinde kullanılır.

İkincisi; ana-uydu prosedürüdür. Jetona sahip olan ana cihaz uydu cihazlara erişebilir. Ana cihaz, uydu cihazına mesaj gönderebilir veya onun gönderdiği mesajı okuyabilir.

Erişim sistemindeki bu prosedürler sayesinde, ana-uydu sistem (tek-ana sistemi), ana-ana sistemi (uydunun bulunmadığı jeton aktarma prosedürü) veya bu iki sistemin karışımı yapılandırılmalarla gerçekleştirilebilir.

Veriyoluna erişim sırasında aktif istasyonlardaki MAC'in görevi, bu mantıksal devreyi kurmaktır. MAC, normal işlem sırasında bozuk cihazların halkadan çıkarılmasına veya yeni cihazların sisteme dahil edilmesine izin verir. Bir istasyondaki adresleme hatası, jeton taşıma sırasındaki hatanın (örneğin birden fazla jeton paketi veya jeton paketinin kaybolması) tespiti de PROFIBUS ortam erişim kontrolünün görevleri arasındadır.

PROFIBUS'da, erişim kontrolünü gerçeklemek için kullanılan jeton, bir istasyondan diğerine ortama bağlı olan tüm istasyonlar tarafından anlaşılabilir ve uyulan kurallara göre aktarılır [58]. Jeton, bir ana istasyondan diğer ana istasyona nümerik olarak artan adres sırasıyla aktarılır. En yüksek adresli istasyonun, jetonu en düşük adresli istasyona göndermesiyle de ana cihazlar arasında bir mantıksal jeton halkası oluşturulur.

PROFIBUS sistemi, genel parametrelerin (istasyon adresi, iletim hızı) haricinde birtakım zaman parametrelerinin de ayarlanmasını gerektirir. Bu parametrelerin hepsi, her bir ana ve uydu PROFIBUS cihazına başlangıçta yüklenir.

PROFIBUS, kabulsüz veri gönder, kabullü veri gönder, cevaplı veri gönder/iste ve çevrimli cevaplı veri gönder/iste olarak dört adet veri iletim hizmeti sunar [59].

Sahayolu veribağı katmanının diğer önemli bir görevi de veri güvenliğidir. Tüm paketler, Hamming Distance 4'e göre kodlanarak hata denetimleri yapılır.

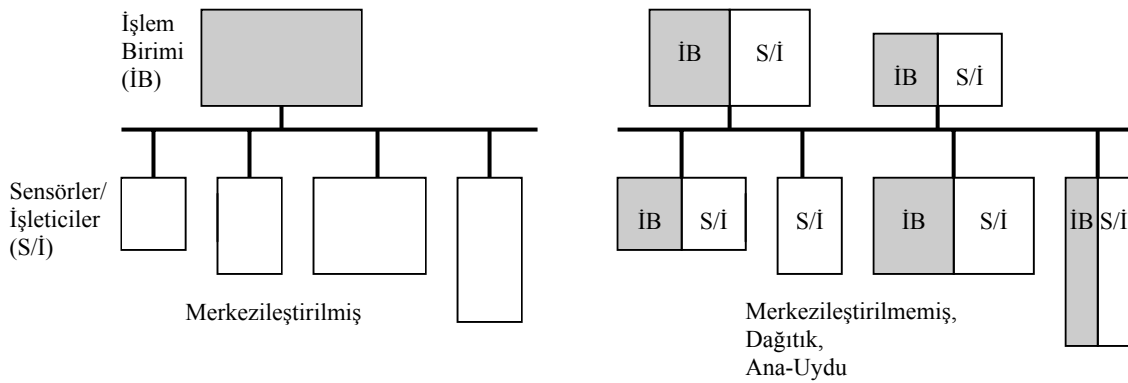
PROFIBUS işlemciler, basit uydu cihazlar, zeki uydu cihazlar ve kompleks ana cihazlar olarak sınıflanırlar. Her türlü tasarım ihtiyacı için gerekli olan donanım/ yazılım bileşenleri, farklı üreticiler tarafından geliştirilmiştir. Bu gereksinimleri karşılayabilmek için Siemens ve Smar firmalarının özel işlemcileri bulunmaktadır.

### 2.4.3. WorldFIP (World Factory Instrumentation Protocol)

WorldFIP, otomasyon sistemlerinde sıfırıncı seviye (sensör/işletici) ve birinci seviye (PLC'ler, denetleyiciler vb.) arasında bağlantı sağlamak için tasarlanan bir endüstriyel ağ protokolüdür [60, 61].

WorldFIP'in başlıca özellikleri; sensörler ve işlem birimleri arasındaki kablolama maliyetinin az ve basit olması, kolay bakım ve düzenleme imkanı tanınması, kurulum ve işçilik kolaylığı, garantili veri iletimi, değişkenlerle erişebilirlik ve güvenilirlik olarak sıralanabilir [28].

WorldFIP, Şekil 2.13'de görüldüğü gibi merkezileştirilmiş, merkezileştirilmemiş, dağıtık ve ana-uydu gibi uygulama mimarilerinin tümüyle kullanılabilir. Dağıtık senkron ve asenkron uygulamalar gerçekleştirilebilir [62]. WorldFIP'in farklı üreticilerin cihazlarının bağlantı yapmalarına izin veren açık bir sistem olması nedeniyle heterojen sistemlerde WorldFIP kullanılarak tasarlanabilir.



Şekil 2.13. WorldFIP Uygulama Mimarileri

WorldFIP protokolü, özellikleri tamamen belirlenmiş olan EN50170 Avrupa alan ağları standardının bir bölümüdür [60]. Şekil 2.14'de WorldFIP protokolünü

oluşturan 3 katman ve bunlara ait referans bilgilerine ulaşılabilecek kaynaklar görülmektedir.

Avrupa standardı WorldFIP EN50170 -Volume 3-, Fransız standardı FIP C46 601'i C46 607 olarak değiştirilmiştir.

<u>MPS</u> Üretim Periyodik/Aperiyodik Hizmetleri	<u>subMMS</u> Mesajlaşma Hizmetleri Altkomutları	Ağ Yönetimi
	<u>MCS</u> Mesaj Kontrol Hizmetleri	
Veribağı Katmanı		
Fiziksel Katman		

Şekil 2.14. WorldFIP Protokolü Katmanları

WorldFIP protokol mimarisinin en altında fiziksel katman, daha sonra veribağı katmanı bulunmaktadır. 3. katman olarak periyodik ve aperiyodik üretim hizmetleri, mesaj iletim hizmetleri alt birimi ve mesaj kontrol hizmetleri birimi bulunmaktadır. Ağ yönetiminin işlevi, tüm katmanların işlevlerini kontrol altında tutmaktadır.

WorldFIP'in fiziksel katmanı, iletim hattına bağlı olan bir cihazdan diğerlerine bilgi bitlerinin iletimini sağlar. İletim ortamı olarak korumalı çift burgulu kablo (STP) veya fiber optik kablo (FO) kullanılabilir.

Fiziksel katmanda çift burgulu kablo için üç iletim hızı tanımlanmıştır;

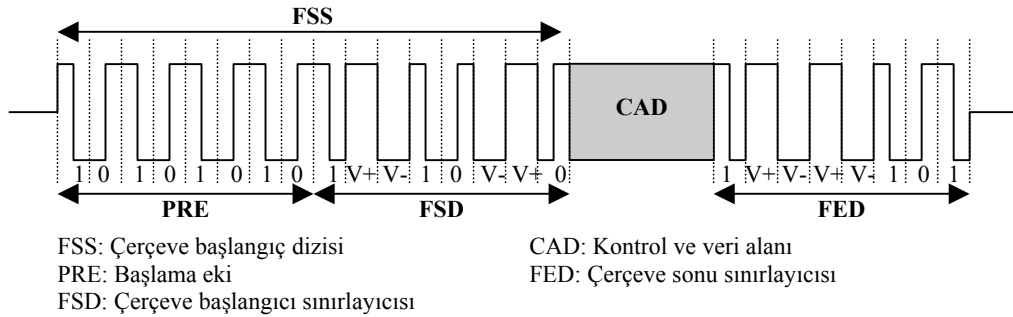
- S1: 31,25 Kbit/sn (düşük hız)
- S2: 1 Mbit/sn (yüksek hız)
- S3: 2,5 Mbit/sn (yüksek hız)

S2 standart hızdır. S1 ve S3 sadece özel uygulamalarda kullanılır. Fiber optik için hız 5 Mbit/sn olarak tanımlanmıştır.

Fiziksel katmanda iletilen bitler, veribağı katmanında Manchester kodlama yöntemi kullanarak kodlanmıştır. Bu kodlama veri ve sinyallerin eş zamanlı iletimini sağlar. Bit kodlaması Şekil 2.15'deki gibi, her zaman aralığında bitin ikiye bölünmesiyle "1" ve "0" kodları ile T/2 periyotlarda yapılır. "V+" ve "V-" ile gösterilen kodlar bozuk bitleri temsil etmektedir.

WorldFIP çerçevesinin tamamı üç bölümden oluşur (Şekil 2.15);

- Çerçeve başlangıç dizisi (FSS-Frame Start Sequence)
- Kontrol ve veri alanı (CAD-Control and Data)
- Çerçeve sonu sınırlayıcısı (FED-Frame End Delimiter)



Şekil 2.15. WorldFIP Çerçevesinin Genel Sinyal Yapısı

Çerçeve başlangıç dizisi (FSS) aşağıdaki alanları içerir;

- Başlama eki (PRE-Preamble): Bu 8 bitlik dizi, alıcının verici ile uyum içerisinde çalışmasını sağlayabilmesi için senkronizasyon amacıyla kullanılır.
- Çerçeve başlangıcı sınırlayıcısı (FSD-Frame Start Delimiter): Bu bit dizisi veribağı katmanı için kullanılacak CAD bilgisinin başlangıcını belirler.

Kontrol ve veri alanı (CAD-Control and Data): Veribağı katmanından sadece mantıksal bilgi ("0" ve "1") içerir.

Çerçeve sonu sınırlayıcısı (FED-Frame End Delimiter): Bu bit dizisi veribağı katmanı tarafından CAD alanının sonunu belirlemek için kullanılır. Fiziksel katman her frame iletiminde 24 bit ekler.

Veribağı katmanı, tanımlı değişkenlerin değişimi ve mesaj iletimi olarak iki tür hizmet sunar. Bu değişimler periyodik ve aperiodyk olarak meydana getirilir. Bu konu ilerideki bölümlerde detaylandırılacaktır.

WorldFIP adresleme modeli, değişken adresleme ve mesaj adresleme olarak iki farklı bölümden oluşur.

Değişken adreslemede, dağıtık sistemdeki her bir değişken sadece kendisini karakterize eden bir değişken olan bir belirleyici ile ilişkilendirilmiştir. Adresleme globaldir. Tanıtıcılar 16 bit tamsayı kullanılarak kodlanmıştır ve teorik olarak 65536 değişken isimlendirilebilir. Değişkenler aslında üretim (production) veya tüketim (consumption)'leri tanımlayan belirleyicilerdir. Verilen bir tanımlayıcı için sadece bir üretici (producer) ve birkaç tüketici (consumer) olabilir. Değişken değişimleri yayın (broadcasting) ile tamamlanır.

Mesaj adreslemede, her bir mesaj kaynak ve hedef birimlerin adreslerini içererek yapılır. Bu adresler 24 bit kodlanmıştır ve bir ağ bölümündeki istasyon adresini belirtir.

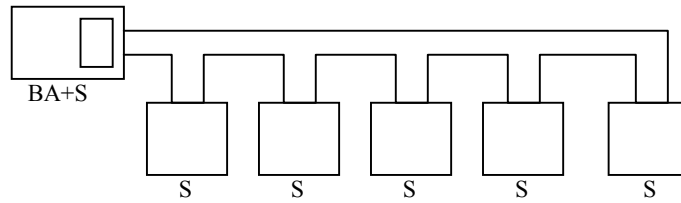
Veribağı katmanı, fiziksel katman hizmetlerini kullanır ve uygulama katmanına hizmetler sunar. Veribağı katmanı üretilen (produced) ve tüketilen (consumed) tamponlarıyla desteklenir. Bu tamponlar kullanıcı veya ağ tarafından en son güncellenen değerleri içerir. Yeni bir değer üretilen veya tüketilen tamponlarına tanıtıldığı zaman önceki değer üzerine yazılır. Bu tamponlar tanıtıldıkları kaynaklara, istasyonların başlangıçta yapılandırıldıkları zaman yerleştirilir [63]. Tampon iletimini başarmak için iletim hattı yönlendiricisi (BA-Bus Arbitrator) ID\_DAT soru çerçevesini ileterek tanıtıcı numarayı belirtilir. Eğer istasyon, bir üreten tanıtıcı olarak tanımlandıysa, veribağı katmanı RP\_DAT cevap çerçevesi kullanarak değişkenin değeri ile cevap verir. Eğer istasyon bir tüketen tanıtıcı olarak tanımlandıysa, veribağı katmanı bir sonraki RP\_DAT cevap çerçevesinin değerini kabul eder. Tampon boyutu en fazla 128 bayttır. Tampon sadece tanıtıcı değişken değerlerinden oluşur, mesaj içermezler.

### 2.4.3.1. Ortam erişim mekanizması

WorldFIP ağlar, farklı işlevlere sahip iki tip istasyon ile desteklenir;

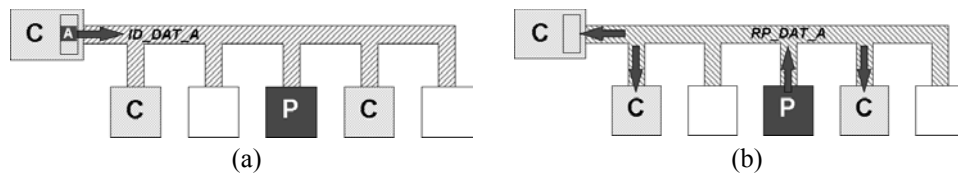
- İletim hattı yönlendiricisi (BA-Bus Arbitrating), ortam erişim yönetimi işlevleri.
- İstasyonlar (Stations), üretim/tüketim (Production/Consumption) işlevleri.

Herhangi bir WorldFIP istasyonu bu iki işlevi eşzamanlı yerine getirebilir; fakat, aynı anda sadece bir istasyon etkin iletim hattı yönlendiricisi işlevini yerine getirebilir (Şekil 2.16) [63, 61].



Şekil 2.16. WorldFIP Ağ İstasyonları

BA, sistem yapılandırıldığı zaman tanımlanan değişkenleri taramak için ihtiyaç duyacağı kaynaklara sahiptir. BA'da iletim hattı üzerindeki tanıtıcıların listesi ile tarama tablosu vardır. BA, tanıtıcı ismini iletim hattı üzerine ID\_DAT soru çerçevesini kullanarak yayımlar. Bu soru eşzamanlı olarak iletim hattına bağlı tüm istasyonların veribağı katmanlarına kaydedilir. Bu istasyonlardan sadece bir tanesi tanıtıcı üreticinin (P) kendisi olduğunu algılar. Diğer istasyonlardan bir veya daha çoğu ise değişkenin onları tüketici (C) yaptığını algılar (Şekil 2.17-a).



Şekil 2.17. WorldFIP Ağda Tanıtıcının Yayınlanması



Değişkenin üreticisi daha sonra RP\_DAT cevap çerçevesindeki tanıtıcının değerini yayımlar. Bu değer eşzamanlı olarak tüketici istasyonlar tarafından kabul edilir. BA daha sonra tarama tablosundaki sıradaki tanıtıcıya geçer ve aynı soru-cevap süreci tekrar eder (Şekil 2.17-b).

Hat üzerinde üreticinin değer iletimi veya tüketicinin değer kabulü, tampon iletim mekanizmasını gerektirir. Tampon transferi BA'nın girişimiyle meydana gelir ve tamamen kullanıcılardan bağımsızdır. Bir veya daha fazla yeni tüketici istasyon hatta bağlandığında yeni istasyonlara değişken sağlamak için ilave zamana gerek yoktur. Mekanizma aynı şekilde kalır.

#### 2.4.3.2. Hat yönlendirme (Bus Arbitration) tablosu

BA, ağın bir orkestra şefi gibi yöneticisidir. Sistem yapılandırıldığı zaman BA verilen değişkenler listesini tarar ve bu işlem periyodik olarak devam eder. Eğer bu yapılandırma hala geçerliyse ve listelenen değişkenlerin değişimi için yeterli zaman varsa BA yukarıda tanımlanan mekanizmayı tekrarlar. Değişken taraması rasgele değil, önceden belirlenmiştir. WorldFIP verilen periyotlarda değişkenlerin uygun anlarda taranacağını garanti eder.

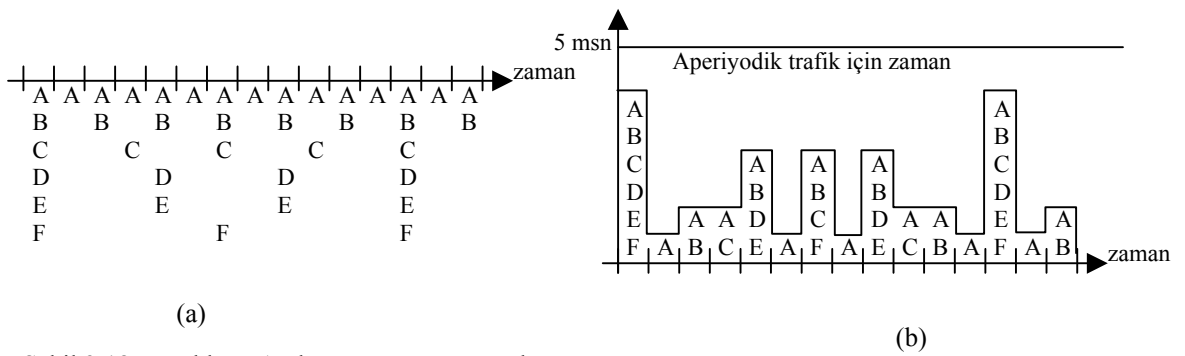
Aşağıdaki örnekte tanıtıcı taramanın garanti edilmesi için BA'nın nasıl yapılandırıldığı görülmektedir. Tablo 2.2'de görüldüğü gibi BA, altı periyodik değişken taramalıdır. BA, her bir değişken için onun milisaniye ile ifade edilen periyodu ve uygulama tipi olduğunu bilir.

Tablo 2.2. Örnek Değişkenlere Ait Bilgiler (BA Tablosu)

Değişken	Periyot	Tip	Zaman (µsn)
A	5	INT_8	170
B	10	INT_16	178
C	15	OSTR_32	418
D	20	SFPOINT	194
E	20	UNS_32	194
F	30	VSTR_16	290

Kullanılan iletim süresi (burada 1 Mbit/sn) ve dönüş süresi yardımıyla BA, temel işlemleri yapması için gerekli zamanını, soru çerçevesi için iletim zamanını, ilgili cevap çerçevesi için iletim zamanını hesaplayabilir.

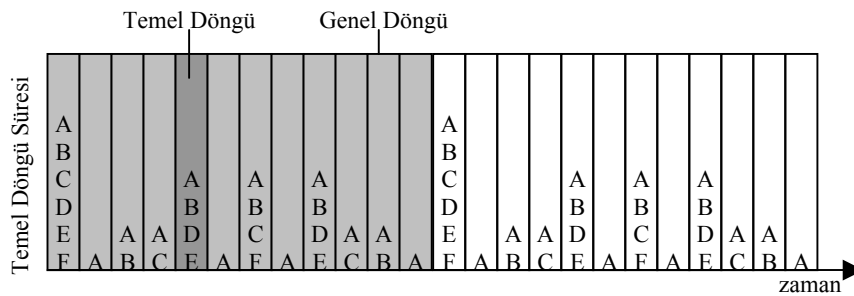
Şekil 2.18-a'da X ekseninde A...F tanımlayıcılarının değişkenlerin her birinin periyodik işlevli olarak dağıtıldığı görülüyor. Şekil 2.18-b'de zamanın her bir periyodu bir temel döngü oluşturmaktadır. Bu örnekteki temel döngünün tümü aynı uzunlukta (5 msn)'dir. İlk temel döngüde BA tüm değişkenleri tarar. İkincide sadece A değişkenini tarar.



Şekil 2.18. WorldFIP Ağda Tanıtıcının Yayınlanması

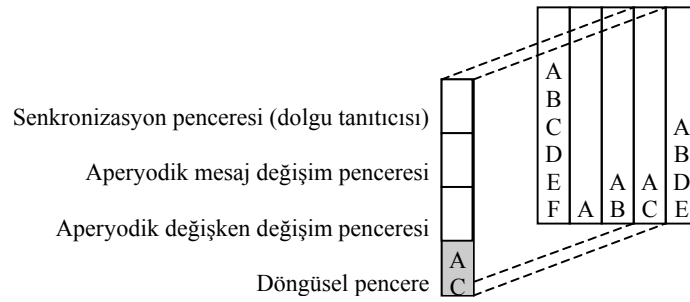
Yukarıdaki bilgiler kullanılarak ağ ile ilgili hesaplamalar yapılarak istasyona yüklenir. Dikey eksen her bir temel döngü için tarama zamanına karşılık gelir. Bu süre, temel döngüyü yapan tüm işlem zamanlarının toplamıdır. Yatay eksen, zamandaki temel döngünün akışına karşılık gelir. Temel döngünün 5 msn sınırının ötesine gidemeyeceğine dikkat edilmelidir. BA tablosu bir periyot sınırları içerisinde yapılmıştır.

Aperiyojik trafik için ayrılan zaman, her bir temel döngünün taramasının sonunda artakalan süredir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. WorldFIP Ağda Periyodik ve Aperiyojik Zamanlama Şemaları

Genel döngü, temel döngülerin yan yana gelmesiyle oluşur. Genel döngüdeki temel döngülerin sayısı, periyodikliğin en az ortak çarpanının (Least Common Multiple), periyodikliğin en yüksek ortak bölenine (Highest Common Denominator) oranıdır. İlk temel döngüde iletilen değerinde D değişkeninin üretici tarandığı zaman, BA aperiodyk iletim isteğini tamamlamak için kalan zamanı kullanabilir (Şekil 2.19). Eğer böyle bir istek yoksa BA temel döngünün sonuna kadar hala işler durumda olduğunu ağa göstermek için dolgu (padding) değişkeni iletir. Doldurulmuş değişken herhangi bir istasyonun tanıtıcı üretici değildir. Bu genel döngü tipi, senkron temel döngüden oluşturulmuştur. BA asenkron temel döngünün yönetimini de yapabilir. Bu durumda doldurulmuş değişken verilmez. Başlangıçtaki periyodikliklere uyulmaz, böylece tanımlayıcılar daha sık taranabilmelidir. Her bir senkron temel döngü dört pencereden oluşur (Şekil 2.20) [60].

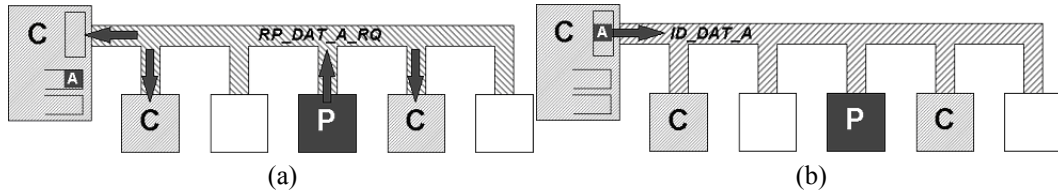


Şekil 2.20. Temel Döngünün Bölümleri

### 2.4.3.3. Aperiodyk iletim isteği

Dağıtık uygulamalarda tüm değişkenlerin BA'nın tarama tablosuna mutlaka dahil edilmesi gerekmez. Bazı değişkenler nadiren değiştirilebilir. WorldFIP aperiodyk iletim mekanizması sağlar [62, 63]. Bu mekanizma üç seviyelidir:

Seviye 1: BA periyodik trafik için bir kenara koyduğu penceredeki A tanımlayıcısıyla ilgili soru çerçevesini yayımlar (Şekil 2.21-a).

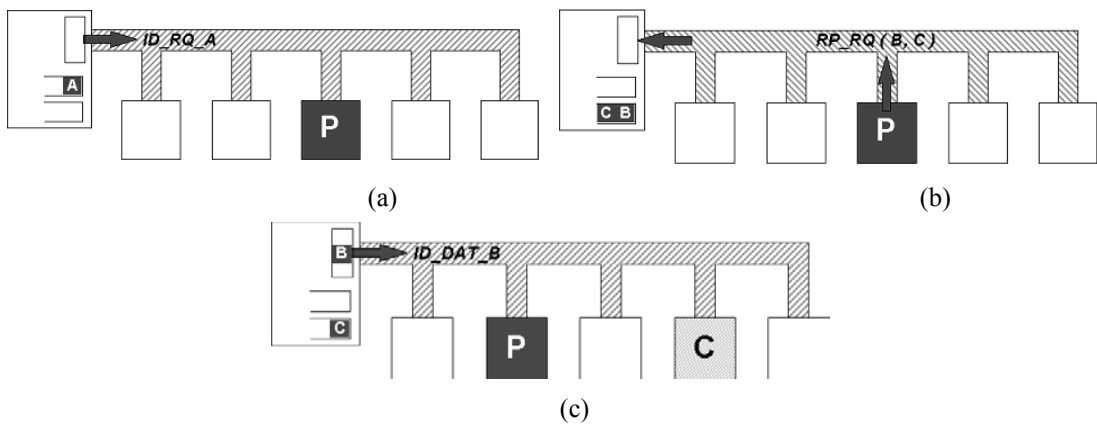


Şekil 2.21. Aperiyojik İletişim-1

A değişkeninin üretici uygun değişkenle cevaplar ve (RQ) cevap çerçevesinin kontrol alanındaki aperiyojik istek bitini ayarlar. BA değişken transferi için istekler kuyruğuna A değişkenini not eder (Şekil 2.21-b).

Aperiyojik iletim isteğinde acil ve normal olmak üzere iki öncelik seviyesi vardır. BA her öncelik seviyesi için bir kuyruğa sahiptir.

Seviye 2: Aperiyojik değişken trafiği için bir kenara konulan pencerelerin zamanı geldiğinde, BA (ID\_RQ) tanıttıcı istek çerçevesini isteğini iletmek üzere A tanıttıcısının üreticine sormak için kullanır Şekil 2.22-a). A üretici tanıttıcılar listesi olan RP\_RQ çerçevesi ile cevaplar (Şekil 2.22-b). Tanıttıcılar listesi, BA tarafından başka bir kuyrukta listesi depolanarak tutulur. Cevap istek çerçevesi 1–64 tanıttıcı içerebilir. BA, istekler kaydedildikten hemen sonra veya daha sonra tanımlayıcı istek çerçevesini iletebilir. Hizmet gecikmesi, periyodik yüke ve devam eden isteklere bağlıdır.



Şekil 2.22. Aperiyojik İletişim-2

Seviye 3: Son seviye aperiyojik pencerede gerçekleşir ve BA kuyruğunda, depolanan aperiyojik iletimler için bekletilen istekler meydana gelir (Şekil 2.22-c).

BA bir veya daha fazla isteği bu tip trafik için temel döngüdeki zaman boşluğuna göre bekletir. Böylece BA yukarıda tanımlı aynı mekanizmayı kullanır. Yani tek bir üretici tarafından üretilen değişkene bağlı tüm istasyonlar tarafından alınan tanıtıcıyı yayımlar.

Bir istasyon sadece döngü trafiğinde yapılandırılmış ve üretilmiş değişkenlere cevap olarak aperiodyk iletim isteği yapabilir.

Aperiodyk iletim isteğinin iki tipi vardır:

Serbest istekler (L\_FREE\_UPDATE.req (list\_ID, priority)): Uygulama katmanı aperiodyk pencerede dolaşan veribağı katmanı tanıtıcı veya tanıtıcılarına bu hizmeti sunar. Veribağı katman hizmeti, tanıtıcı veya tanıtıcıların durumunu kuyruğa ekler. Bu kuyruk tamamen tanıtıcı isteklerini içerir. İstek, istasyon tarafından üretilmek için BA'ya iletilecektir.

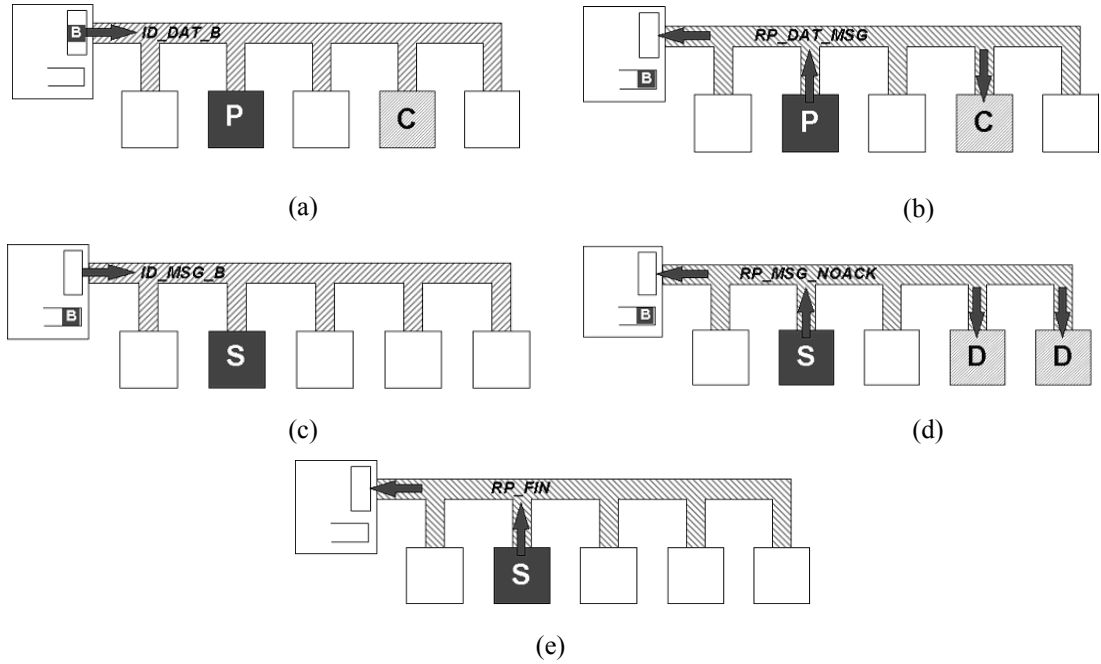
Özel istekler (L\_SPEC\_UPDATE.req (ID\_Spec, ID\_requested)): Bu mekanizma işlevleri serbest istek mekanizması işlevleriyle hemen hemen aynıdır. İstek, BA (ID\_Spec) özel tanımlayıcı parametresi çağırdığı zaman BA'ya iletir. İstenilen tanıtıcı veya tanıtıcılar bu durumda aynı kuyrukta depolanmazlar. Tanımlayıcı ile ilişkilendirilmiş istek tamponunda gösterilirler. Bu hizmet sadece veri tutarlığı mekanizması için uygulama katmanı tarafından kullanılır.

#### **2.4.3.4. Kabulsüz mesaj iletim isteği**

WorldFIP veribağı katmanı uçtan uca veya yayımlama modunda kabulsüz mesaj iletimini sağlar. Aperiodyk mesaj iletim istek prensibi aperiodyk değişken iletim isteğine benzer. Mekanizma üç seviyelidir.

Seviye 1: BA, A tanıtıcısını çağırır (Şekil 2.23-a). A'nın üretici A'nın değeri ile cevap verir ve mesaj iletimi için istek olan çerçeve kontrol alanında (MSG biti) belirtilir. BA, mesaj istek kuyruğundaki taşınan A istek tanıtıcısını not eder (Şekil 2.23-b).

Seviye 2: Aperiyyodik mesaj iletim istekleri taraması penceresinde BA, A tanıtıcısının üreticine “konuşma izni” verir. A üretici daha sonra mesajını iletir (Bkz. Şekil 2.23-c). Bu mesaj RP\_MSG\_NOACK tip çerçeve de kendi adresini ve hedef istasyon veya istasyonların adreslerini içerir (Bkz. Şekil 2.23-d). BA daha sonra mesaj iletim işleminin bittiğini gösteren alma çerçevesini bekler.

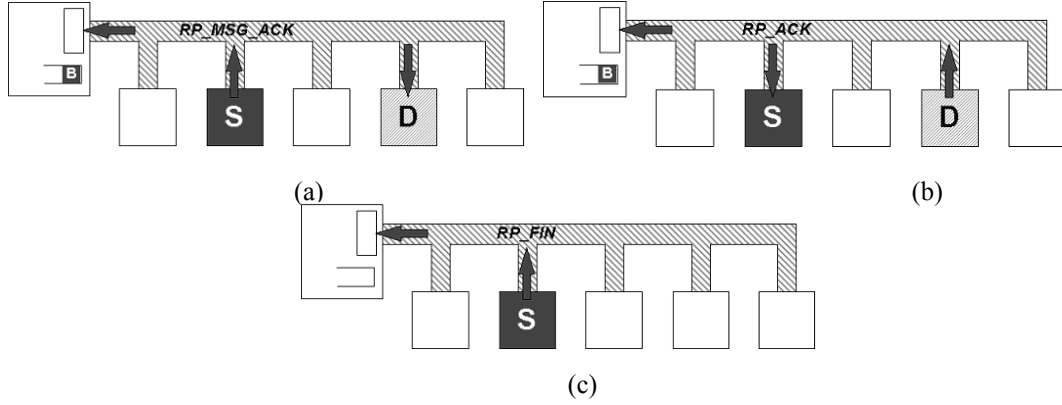


Şekil 2.23. Kabulsüz Mesaj İletim İsteği

Seviye 3: İletim hattı kontrolü BA'ya döner (Bkz. Şekil 2.23-e). Hat üzerindeki mesajı gönderildikten sonra mesaj göndericisi, RP\_FIN çerçevesini iletir. BA mesajın üreticini doğru kullandığı ağa verirken, bu isteğin kabul edilip edilmediğini kestiremez. Dolayısıyla BA, isteğin tamamı için temel döngüde yeterince zaman olduğunu kontrol etmelidir. BA mesaj iletiminin bittiğini gösteren çerçeveyi sürekli beklememek için zamanlayıcısını ayarlar.

#### 2.4.3.5. Kabullü mesaj iletim isteği

WorldFIP veribağı katmanı uçtan uca daha güvenilir değişim olan kabullü mesaj iletimini de sağlar. İşlem prensibi, üç seviyeli olan hizmet, kabulsüz hizmete oldukça benzer. Mesaj göndericisi, RP\_MSG\_NOACK çerçevesi yerine RP\_MSG\_ACK çerçevesi ile karşılık verir (Şekil 2.24-a, b). Değişim uçtan ucadır.



Şekil 2.24. Kabullü Mesaj İletim İsteği

Hedef istasyon kabul çerçevesi ile karşılık verir ve daha sonra gönderici, (RP\_FIN) mesaj sonu işaretini BA'ya gönderir (Şekil 2.24-c).

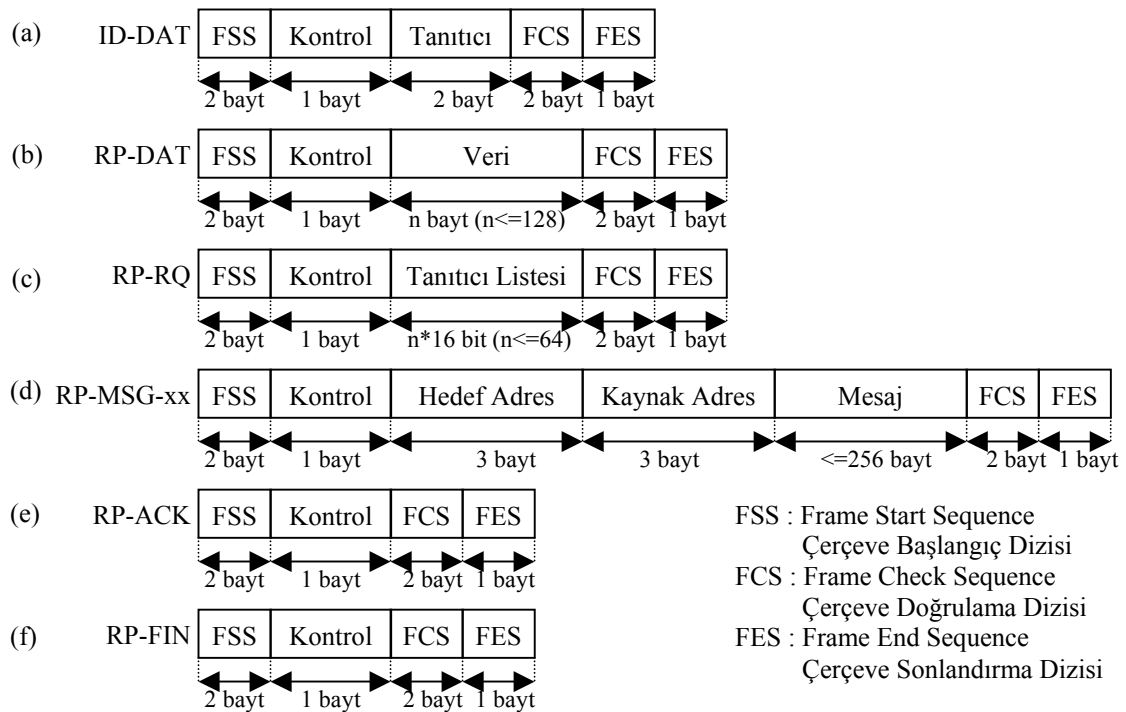
Bu hizmet, mesajın kayıp veya çift olduğunu kontrol eden hedef istasyonun izin verdiği mekanizmayı 2 mesaj sayısı ile kullanır. Kabul edilebilir olmama durumunda tekrar sayısı 0 ve 2 arasındadır. Bu parametreler WorldFIP ağın genel işlem parametreleridir.

#### 2.4.3.6. Çerçeveler

WorldFIP ağındaki düğümler birbirleriyle haberleşirken ortama erişim, kabullü/kabulsüz mesaj iletimleri ve periyodik/aperiyodik iletişim yöntemlerini kullanırlar. Bu yöntemler veri aktarımlarını, Şekil 2.25'de yapıları görülen çerçevelerle gerçekleştirir. Çerçeveler 'tampon iletimi', 'cevap istek iletimi', 'cevap mesaj iletimi', 'cevap kabul edildi iletimi' ve 'mesaj işlem cevap çerçevesi sonu' görevlerini yerine getirirler. Çerçevelerin görevleri, önceki bölümlerde kullanıldıkları yöntemler içerisinde detaylandırılmıştır.

Tampon iletimi: ID\_DAT ve RP\_DAT olmak üzere iki ayrı çerçeve tipi kullanır. Her WorldFIP çerçevesi fiziksel katmandan bilgiler arasında 'sıkıştırılarak' iletilir. Çerçeve DTR alanı (çerçeve başlangıcı) ve FTR alanı (çerçeve sonu) arasına yerleştirilir. Bu alanlar fiziksel katman bölümünde açıklanmıştır. Tüm WorldFIP çerçeveleri ağ üyeleri tarafından kullanılan, onların alacakları çerçeve tipini

tanımlayan kontrol alanı baytı ile başlar. Tüm WorldFIP çerçeveleri çerçeve alıcısı tarafından alınan bütünlük doğrulamasında kullanılan (FCS-Frame Check Sequence) iki bayt ile biter. FCS, önceki baytlar üzerinde yapılan birtakım işlemlerin sonucudur. Tüm soru çerçeveleri (ID\_RQ veya ID\_MSG çerçeveleri) ID\_DAT çerçevesi yapısındadır, sadece kontrol alanında birkaç bit ile birbirlerinden ayrılmışlardır. ID\_DAT çerçevesine karşılık olarak iletilecek olan RP\_DAT çerçeve formatı aşağıda görülmektedir. RP\_DAT'ın veri alanı en fazla 128 bayt veri içerebilir. Kontrol alanı, herhangi bir aperiodyik değişken veya mesaj iletim isteği olup olmadığını gösterir (Şekil 2.25-a, b).



Şekil 2.25. WorldFIP Çerçeveleri

(RP\_RQ) cevap istek iletimi: Değişken iletim isteği yapan istasyon, ID\_RQ aldığı zaman aşağıda gösterilen RP\_RQ çerçeve kodu ile cevap verir. İstek çerçevesi 64 tane 16 bit tanıtıcı tutabilir (Şekil 2.25-c).

(RP\_MSG\_xxx) cevap mesaj iletimi: Mesaj iletim isteği yapan istasyon, ID\_MSG çerçevesi aldığı zaman aşağıda gösterilen RP\_MSG\_NOACK veya RP\_MSG\_ACK çerçeve kodu ile cevap verir. Kontrol alanındaki bit, mesaj iletiminin kabul edilip



edilmediğini gösterir. Hedef ve kaynak alanlar haberleşen birimlerin adreslerini gösterir (Şekil 2.25-d).

(RP\_ACK) cevap kabul edildi iletimi: Hedef istasyon, kabul edilebilme isteği ile mesajı aldığı zaman kabul edildi çerçevesini iletir. Bu kontrol alanında kabul edildi bilgisi içeren çerçeve çok kısadır (Şekil 2.25-e).

(RP\_FIN) mesaj işlem cevap çerçevesi sonu: Mesaj gönderici tarafından iletildikten sonra eğer gerekliyse mesaj işlem çerçevesinin sonunun iletimi kabul edilebilir olması için beklenilir. Bu kontrol alanında işlem tamamlandı bilgisi içeren çerçeve çok kısadır (Bkz. Şekil 2.25-f).

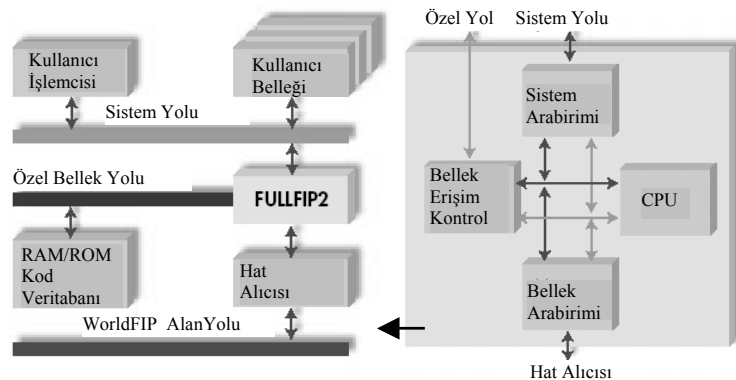
#### 2.4.3.7. WorldFIP işlemci teknolojisi

WorldFIP ağların kurulumunda aşağıda özellikleri açıklanan işlemciler kullanılmaktadır [64, 65, 66].

FULLFIP2: IEC 61158-2 ve EN 50170 standartlarının veribağı katmanı ve uygulama katmanı protokollerinin standart dört hızını gerçekleştiren bir işlemcidir (Şekil 2.26). Veri bağı katmanı, mesaj servisleri olarak periyodik ve aperiodyk özelliklere sahiptir. Uygulama katmanı, çabukluk, yenilenme ve senkronizasyon mekanizmalarıyla desteklenmiştir. Kullanıcı, asenkron iletim isteyebilir. FULLFIP2 PLC, I/Omux, sürücü, uç birim (console), zeki sensör ve işleticiler içeren çok sayıdaki değişkeni yönetebilecek şekilde donatılmış olan cihazlar için tasarlanmıştır. 160000'den fazla transistör içermekte ve CMOS teknolojisine ait 0,8 µm yüksek yoğunluktadır.

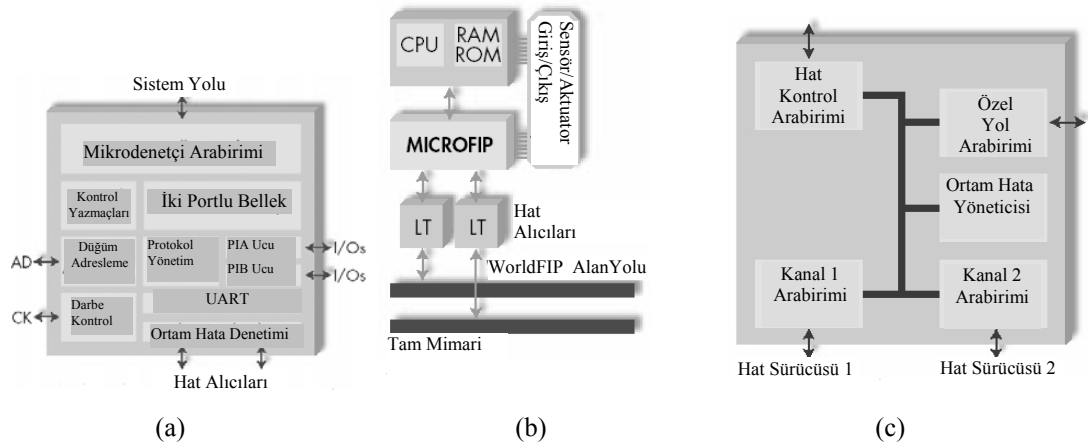
40MHz'de 31,25 Kbit/sn  
64MHz'de 1 Mbit/sn  
80MHz'de 2.5 Mbit/sn  
80 Mhz'de 5 Mbit/sn

hızlarda veri işleyebilmektedir.



Şekil 2.26. FULLFIP2 Blok Şeması

FIELDDRIVE: FULLFIP2 ve MICROFIP haberleşme işlemcilerine bağlantı için tasarlanmıştır (Şekil 2.27-a). FIELDDRIVE hat sürücüsünde, hat alıcısı, iletim hata tespit devresi, arabirim izleme ve sınaama arabirim devreleri bulunur.



Şekil 2.27. FIELDDRIVE, MICROFIP ve FIELDDUAL Blok Şeması

MICROFIP: WorldFIP cihaz tasarımında kullanımı kolay, direkt olarak veri işlemek üzere I/O'dan veri toplamak için tasarlanmış bir işlemcidir (Şekil 2.27-b).

FIELDDUAL: İletim ortamı hata denetimini yönetmek için tasarlanmıştır (Şekil 2.27-c). FULLFIP2'nin çevre birimi olarak ve iki FIELDDRIVE ile kullanılır.

## 2.5. Asenkron Aktarım Tipi (ATM -Asynchronous Transfer Mode)

Bilgisayar teknolojisinin ve dolayısıyla bilgisayar ağlarının büyük bir hızla gelişmesi sonucu, bilgisayarların kullanım amaçları ve üstlendikleri hizmetler son yirmi yılda çok geniş bir alana yayılmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak önceleri düşük hızlarda veri transferi sağlayan teleks ağları, daha sonraları POTS (Plain Old Telephone Service) adıyla da bilinen ve PSTN (Public Switched Telephone Network) üzerinden sağlanan iki yönlü ses iletişimi için tasarlanan ağlar, X.25 ve benzeri PSDN (Public Switched Data Networks) paket anahtarlamalı veri ağları, CATV (Community Antenna TV), kablolu televizyon ağları ve yerel iletişim ağları gibi yeni kullanım alanları doğmuş, ancak bir süre sonra varolan yapılar hızla artan ve değişen taleplere

cevap veremez hale gelmişlerdir. Ayrıca, bu tür ağların tasarım, bakım, üretim maliyetleri de yükselmiştir [67].

Bu alandaki tıkanıklığı aşamak amacıyla çalışmalar seksenli yılların başlarında başlatılmış ve ISDN (Integrated Switched Digital Networks) olarak adlandırılmıştır. Daha sonra veri iletişiminde ortaya çıkan VLSI (Very Large Scale Integration), fiber optik ve anahtarlama teknolojilerindeki gelişmeler bu ihtiyaçlara cevap verebilecek B-ISDN (Broadband ISDN) yapısının oluşmasına imkan sağlamıştır .

ATM, B-ISDN gerçekleştirmek için uluslararası standartlar kuruluşu ITU-T tarafından gerçekleştirilen araştırmalar ve çalışmalar sonucu 1988 yılında seçilen teknolojidir. Bu yeni dijital iletişim teknolojisi modern telekomünikasyonun HDTV (High Definition TV) servisleri, Video-konferans servisleri, isteğe bağlı video servisleri, karşılıklı etkileşime dayalı (interaktif) servisler, mesaj servisleri, veri aktarım servislerini karşılayacak şekilde geliştirilmektedir. ATM ağlar, mobil haberleşmenin ihtiyaçlarını da karşılayabilmektedir. ATM, B-ISDN'nin temelini oluşturmakta olup özetle bir taşıma ve anahtarlama teknolojisidir.

### **2.5.1. Transfer modları ve ATM**

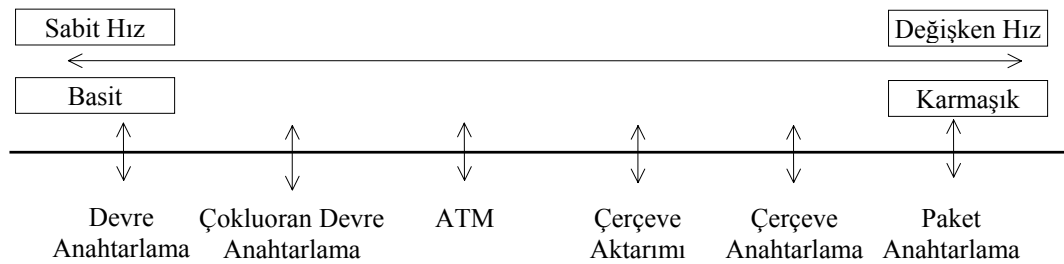
Transfer modu, bir telekomünikasyon ağında kullanılan iletim (transmission), çoklama (multiplexing) ve anahtarlama (switching) tekniklerinin tümüne verilen isimdir.

STM (Synchronous Transfer Mode), eş zamanlı bir transfer modu olup aynı saatten üretilen sabit bir zaman ilişkisi bulunan tekniklerdir.

ATM (Asynchronous Transfer Mode), asenkron bir transfer modu olup bilgi hücre teknolojisi ile taşınır. Bilgi, sabit boyuttaki hücreler ile transfer edilir. Hangi taşıma çeşidi kullanılırsa kullanılsın, aynı konteynerlerin kullanılması gibi, ATM de çeşitli tipteki telekomünikasyon ağları arasında sabit boyutta hücreler kullanarak ağ boyunca kesintisiz haberleşmeyi sağlar. Bir kullanıcıya ait hücreler periyodik olarak iletilmezler. Sabit bir zamanlama ilişkisi yoktur. Gelen hücreler giden hücreler

akımındaki dilimlere yerleşmeye çalışırlar. Eğer yerleşecek dilim yoksa hücre, ATM anahtar içerisindeki kuyrukta bekler. Bu durum ATM anahtar boyunca trafiğe bağlı olarak değişken bir hücre gecikmesi meydana getirir. Bu değişken hücre gecikmesinden dolayı ATM hücrelerinin, ATM anahtar boyunca asenkron aktarıldığı söylenilir [68].

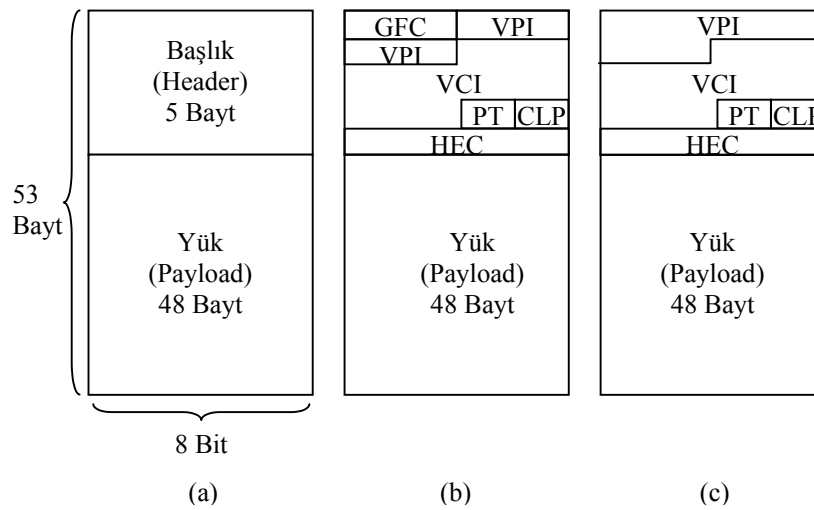
Transfer modu konusunda devre anahtarlama ve paket anahtarlama olarak temel iki yöntem bulunmaktadır. Bu iki yöntem birbirlerine karşı doğal olarak çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Zamanla bu iki zıt yöntemin de avantajlarını kullanan çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bunların bir kısmı aralarındaki ilişkilere göre Şekil 2.28'deki şemada sıralanmıştır .



Şekil 2.28. Devre ve Paket Anahtarlama Arasındaki İlişkileri

ATM'de bilgi aktarımı için Şekil 2.29'da yapısı görülen 53 bayt'lık sabit uzunlukta olan ve hücre (cell) olarak adlandırılan özel bir tür paket kullanılır [69, 70]. Hücrelerin ilk 5 bayt'lık kısmı başlık (header) olarak adlandırılır ve hücrenin ağ içinde ilerleyebilmesi için gerekli olan temel bilgileri içerir. Paket anahtarlama yönteminde bulunan ve ileri düzeyde işlevsellik sağlayan alanlar, hücre başlıklarında olabildiğince azaltılmıştır. Başlığın fonksiyonelliğinin düşük düzeyde tutulması da ATM anahtarlarına yüksek hızda işlem yapma imkanı verir. Geriye kalan 48 bayt ise iletilecek olan bilgiyi içerir.

Şekil 2.29'da görüldüğü gibi ATM şebekesinde kullanıcı-ağ ara bağı (UNI) ve ağ-ağ ara bağı (NNI) olmak üzere iki arabirim bulunmaktadır. Bu iki arabirimdeki ATM hücre başlıkları farklı olup, NNI'da GFC alanı yerine VPI alanınının 4 bayt daha fazla olduğu görülmektedir. ATM hücre yapısını oluşturan alanlara ait bilgiler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.



Şekil 2.29. a) Genel ATM Hücre Yapısı, b) ATM UNI Hücresi, c) ATM NNI Hücresi.

GFC (Generic Flow Control): 4 bitten oluşmakta olup kontrollü transmisyona uygulanan uç donanımlar için kullanılır. Değişken bit hızındaki servisler için uygun kapasiteyi belirler, trafiği kontrol eder. Kontrolsüz transmisyona uygulanan uç donanımlarda kullanılmaz ve bu alan sıfır yapılır.

Sanal Yol Belirteci (VPI) - Sanal Kanal Belirteci (VCI): ATM, bağlantı temelli bir teknolojidir. Her bir hücre, bağlantı kurulduğunda belirlenen aynı güzergahtan iletilirler. ATM'de düğümler arası bilgi aktarımı, sanal bağlantılar (VC) aracılığıyla sağlanır. Aynı iki son nokta arasındaki VC'ler yönetim kolaylığı amacıyla VP'ler içinde gruplandırılırlar. Başlık içindeki VPI ve VCI ise düğümler arasında çok sayıda bulunan bu bağlantılardan hangilerinin kullanılacağını belirlerler. Bu tanımlayıcıların değerleri lokal özelliğe sahiptirler. Diğer bir ifadeyle bir hücre düğümler arasında ilerlerken farklı düğümlerde farklı VPI ve VCI değerlerine sahip olabilirler.

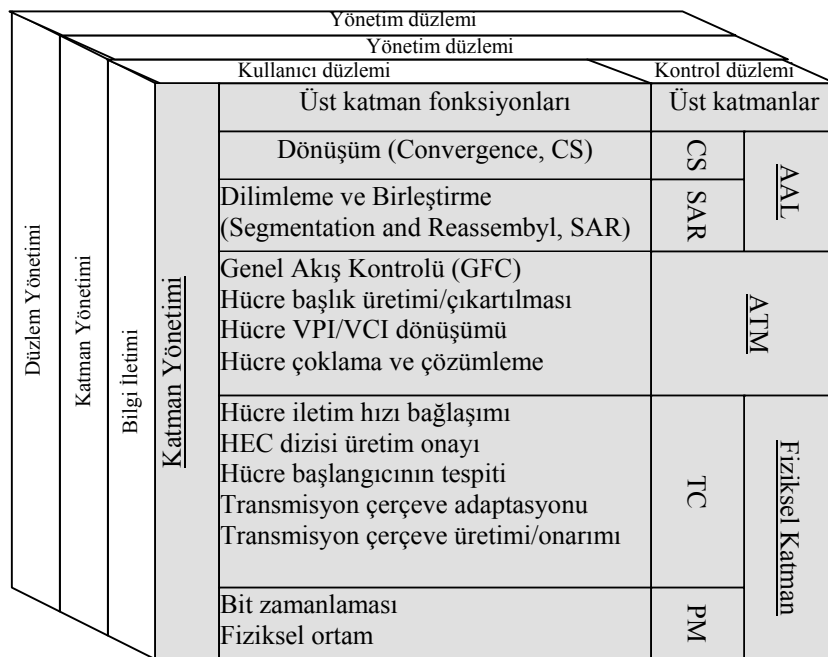
Başlık Hata Kontrolü (HEC): Hücrelerin başlıklarında oluşacak hatalar, yanlış yönlendirmeden dolayı hücrelerin tamamının kaybolmasına neden olabilir. Bunu önlemek için hücre başlıklarına 8 bit uzunluğunda, CRC değeri içeren HEC konulmuştur. HEC aynı zamanda hücre sınırlarının (Cell Delineation) belirlenmesinde de kullanılır.

Hücre Kayıp Önceliği (CLP): 1 bit uzunluğundaki bu alan hücrenin kayıp önceliğini belirler. Değerinin 1 olması ağ içinde bir sıkışıklık olduğunda bu hücrenin gerekirse yok edilebileceğini gösterir.

Taşınan Veri Tipi (PT): 3 bitlik bu alan hücredeki trafiğin tipini belirler. ATM Forum bu alanın işlevini geliştirerek işletme ve bakım amaçlı trafik tıkanıklığı hakkında bilgi vermesini de sağlamaktadır .

### 2.5.2. ATM mimarisi ve katmanları

ATM modeli OSI başvuru modelinin ilk iki katmanına karşılık gelen işlevlerine sahiptir [30]. Şekil 2.30'da ATM'in, katmanlar ve düzlemlerden oluşan B-ISDN referans modelindeki yeri görülmektedir. B-ISDN protokol referans modeli (B-ISDN PRM) üç düzlemden oluşur. Bunlar kullanıcı düzlemi, kontrol düzlemi ve yönetim düzlemdir [68, 72].



Şekil 2.30. B-ISDN Protokol Referans Modeli ve Katmanların İşlevleri

Kullanıcı düzlemi, katmanlardan oluşan yapısı ile kullanıcı bilgi akışı, bu bilgi ile ilgili kontrol bilgisi, akış kontrolü ve hataları düzeltmeyi içeren bir taşıma mekanizmasıdır. Kontrol düzlemi, katmanlardan oluşan yapısı ile çağrı kontrol ve

bağlantı kontrol işlevlerini gerçekleştirir. Çağrı ve bağlantıları kurmak, izlemek ve sonlandırmak için gerekli işaretleşme ile ilgilenir. 155,520 Mbit/sn ve 622,080 Mbit/sn olmak üzere iki farklı arayüz bit iletim hızı öngörülmüştür. 150 Mbit/sn arayüz bit iletim hızı açısından simetriktir. Yani kullanıcı-ağ ve ağ-kullanıcı yönünde aynı iletim hızı imkanı sunar. Bu arayüz çeşidi, telefon, video-telefon ve veri servisleri gibi interaktif servislerde yaygın olarak kullanılması öngörülmektedir [73]. Yönetim düzlemi, katman yönetimi ve düzlem yönetimi işlevlerini sağlar.

Düzlem yönetimi işlevleri bir bütün olarak sistem ile ilgili yönetim işlevlerini gerçekleştirir ve bütün düzlemler arasındaki koordinasyonu sağlar. Düzlem yönetiminin katman yapısı yoktur.

Katman yönetimi kaynaklar ve ilgili protokoller içindeki parametreler ile ilgili yönetim işlevlerini gerçekleştirir. Katman yönetimi ilgili katman ile ilgili işletme ve bakım bilgilerinin akışını sağlar.

**ATM uyarılama katmanı (AAL)**, ATM ile diğer katmanlar arasında arayüz görevini yürüterek daha yüksek katmanlardaki bilgilerin ATM hücrelerine uyarlanmasından sorumludur. AAL, CS (Dönüşüm Altkatmanı) ve SAR (Dilimleme ve Birleştirme Altkatmanı)'dan oluşur. SAR, parçalama ve tekrar birleştirme altkatmanının temel işlevi daha yüksek katmanlardan gelen farklı uzunluk ve formattaki PDU (Protokol Veri Birimi)'ları (yani iletilecek veri paketlerini) ATM hücrelerinin bilgi sahasına yerleşecek 48 sekizlik boyutta parçalar ve alıcı tarafta tersi işlemi gerçekleştirir. CS, çevirme altkatmanının ana işlevi daha üst katmanlara farklı servis erişim noktaları üzerinden (Servis Erişim Noktası-SAP) AAL servisi sağlar. CS'nin fonksiyonları AAL tarafından işlenen trafiğin tipine göre değişir [73].

Tablo 2.3'de görüldüğü gibi, AAL'de kullanılan protokol sayısını azaltmak için sol sütundaki parametrelerin durumlarına göre A, B, C, D olmak üzere dört trafik sınıfı oluşturulmuştur.

Tablo 2.3. AAL Servis Türleri İçin Trafik Sınıfları

Servis Sınıfları →	Sınıf A	Sınıf B	Sınıf C	Sınıf D
Kaynak ve gideceği yer arasında zamanlama ilişkisi	Gerekli	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil
Bit iletim hızı	Sabit	Değişken	Değişken	Değişken
Bağlantı modu	Bağlantı Temelli	Bağlantı Temelli	Bağlantı Temelli	Bağlantısız
Örnek Kullanım Alanları	Yüksek kalite sabit bit hızında ses ve video	Değişken bit hızında ses ve video	Bağlantı temelli veri iletimi	Bağlantısız veri iletimi
AAL Türü →	AAL 1	AAL 2	AAL 3	AAL 4
			AAL 5	

- **AAL-1**

A Sınıf trafiği destekler ve PDU yapısı 48 sekizlikten oluşur. Kullanıcı Verisi, 46 veya 47 sekizlik olabilmektedir. SN (Sequence Number)'nin, 3 biti sıra sayısı tutmak için, 1 biti ise CSI (Convergence Sublayer Indication) işaretçi alanın kullanılıp kullanılmayacağını gösterir. CSI'nin sıfır olması, işaretçinin kullanılmadığını ve kullanıcı verisinin 47 sekizlik olduğunu gösterir. İşaretçi, verilerin hücre içinde yerleşimini tutmaktadır (Şekil 2.31).

SN	SNP	İşaretçi (İsteğe Bağlı)	VERİ YÜKÜ
4 Bit	4 Bit	8 Bit	46 veya 47 Sekizlik

Şekil 2.31. AAL-1 PDU Yapısı

SNP (Sequence Number Protection), SN üzerinde hata kontrolü yapar. SNP sahası, ancak 1 bitlik hataları düzeltebilmektedir.

- **AAL -2**

B Sınıfı trafiği destekleyen protokoldür. Başlık kısmında SN ve IT (Information Type) bulunur. IT alanı, BOM (Beginning Of Message), COM (Continuation of Message) ve EOM (End Of Message) alanlarından oluşur. Kuyruk kısmında, LI (Length Indicator) alanı veri yükü alanındaki sekizlik sayısını tutar, CRC'de hata kontrolünde kullanılır (Şekil 2.32).





Şekil 2.32. AAL-2 PDU yapısı

- **AAL-3/4**

İlk olarak, bağlantılı VBR trafiğini destekleyen AAL-3 ve bağlantısız VBR trafiği için AAL-4 protokolleri tanımlanmıştır. Sonra bu iki tip birleştirilerek, AAL-3/4 protokolü oluşturulmuştur.

SN, IT, LI ve CRC alanları AAL-2 protokolünde kullanılan yapıyla aynıdır, ama AAL-3/4’de bu alanların uzunlukları bellidir (Şekil 2.33). MID (Message Identifier) mesaj tanıtıcısıdır. Tek VC üzerinden aynı anda çok sayıda paketlerin geçmesine izin verir. Belli bir bağlantıdan gelen trafiğin birleştirilmesinde kullanılır. BOM, COM, EOM mesajın başlangıç, devam eden ve son olduğunu gösterir [74].



Şekil 2.33. AAL-3/4 PDU Yapısı

- **AAL-5**

ATM Forum tarafından, yüksek hızda, bağlantısız servis kullanıcılarına hizmet veren, hata bulma oranı yüksek olan protokoldür. Frame Relay trafiğinde uygundur. AAL5, AAL3/4’ün basitleştirilmiş şeklidir. Bu, MID, COM, BOM, EOM gereksinimi ortadan kaldırır. Böylece protokol verimliliği artar ve gerçekleşmesi çok kolaylaşır. Fakat burada da çerçeve sınırı tanımlamasına gerek vardır. Bu, ATM başlığındaki PT bitlerinin birisi kullanılarak “MORE” (DAHA) ve “LAST” (SON) belirteçleri ile yapılır [74].

- **AAL-6**

ATM-Forum tarafından ortaya çıkarılan, MPEG-2 video aktarımı için tanımlanmış, geliştirilmekte olan bir AAL yapısıdır [68].

**ATM katmanı**, güzergah seçimini, trafik yönetimini ve ATM hücrelerinin çoklanmasını sağlar. Servis katmanlarından ve fiziksel katmanlardan bağımsızdır. ATM katmanının 4 ana işlevi bulunmaktadır.

1. Hücre çoklaması ve tekrar çözülmesidir. Veriş yönünde hücre çoklama işlevi farklı bağlantılardan alınan hücreleri bir tek hücre akımına çevirir. Alış yönünde ise bunun tersini yapar.
2. Anahtarlarda VPI ve VCI değerlerinin değiştirilmesidir. Bu işlev, ATM anahtarlama sahasında ve/veya çapraz bağlantı noktalarında yapılır. Gelen ATM hücrelerinin VPI ve VCI bilgisi yeni değerle değiştirilir. Duruma göre değiştirme yapılmayabilir.
3. ATM uyarılama katmanı ile haberleşme yapabilmek için hücre başlığı oluşturulması ve çıkarılmasıdır. Alışta başlık bilgisi çıkarılarak hücredeki asıl bilgi daha yüksek katmana aktarılır.
4. Akış kontrolünün uygulanmasıdır.

**Fiziksel katman**, hücre akımını çerçeve yapısına çevirerek bağlı olduğu ortamdan nakleder.

Fiziksel katman, fiziksel ortam (PM) ve transmisyon çevirici (TC) alt katmanlarından oluşur. PM doğrudan iletişimin yapıldığı aktarım ortamı ile çalışma şeklini belirler ve genel olarak bit zamanlama (bit timing) ile hat kodlama (line coding) işlevini yerine getirir. TC, transmisyon çerçeve oluşturulması ve tekrar elde edilmesi, transmisyon çerçeve uyarlaması, hücre sınırlarının belirlenmesi, HEC sinyal oluşturulması ve doğrulanması, hücre hızı uyarlanması görevlerini yerine getirir.

ATM'in üzerinde kurulduğu fiziksel tabaka yapısı SONET/SDH, DS3, FDDI veya daha farklı olabilir. Sayısal hiyerarşi farklı hızlarda aktarım gereksimlerini karşılamak için tanımlanmış band genişliklerini gösterir. Geniş kabul görmüş Kuzey Amerika sayısal işaret (DS) hiyerarşisi ve Avrupa için sayısal iletim hiyerarşisi bulunmaktadır. Bunlar DS-0, DS-1 vb. kodlu işaret düzeyleri ile T1, T2 ve E1, E2 vb. gibi kodlu taşıyıcı sınıflarında çok farklı band genişliklerinde sayısal iletim hizmeti altyapısı vermektedirler.

ATM, fiziksel ortamdan bağımsızdır; ancak, geniş tabanlı genel taşıyıcı olarak, eş zamanlı bir iletim yapısı olan SONET tercih edilir. SONET, OC-1, OC-2 vb. gibi kodlarla işaretlenmiş farklı band genişliklerinde fiber optik kablo üzerinden yüksek hızlarda sayısal sinyal iletimini sağlamak için tasarlanmıştır. Esnek yapısıyla, gelecekte ortaya çıkacak yeni teknolojilere ayak uydurabilir.

### 2.5.3. ATM bağlantı yapısı ve ATM anahtarlama

ATM'de mantıksal bağlantılar, sanal kanal bağlantıları (VCC-Virtual Channel Connection) olarak adlandırılır. Bir VCC, iki son kullanıcı arasında sinyalleşme aracılığıyla kurulur. Değişken oranlarda, sabit boyutlu hücreler çift yönlü akışla bağlantı üzerinden taşınır. VCC'ler aynı zamanda kullanıcı kontrol sinyalleşme ve ağ yönetimi ve yönlendirme için kullanılır.

Sanal yol bağlantısı (VPC-Virtual Path Connection) tekniği, ağ içinde ortak yolları paylaşan bağlantıları gruplar. VPC'lerin kullanımı basitleştirilmiş ağ mimarisi, artırılmış ağ performansı ve güvenilirlik, azaltılmış işlem ve kısa bağlantı kurulma zamanı ve geliştirilmiş ağ servisleri gibi avantajlar sağlar [71].

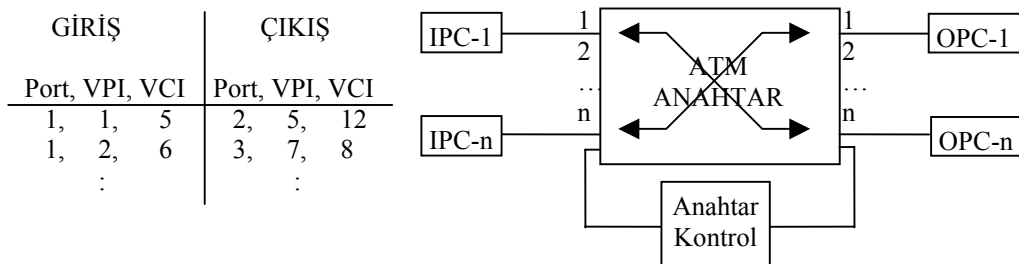
ATM ağa bir uç cihaz iletişim yapma gereksinimi duyarsa, karşı tarafla aralarında bir kalıcı sanal devre (PVC-Permanent Virtual Circuit) ya da, dinamik bağlantı kurma yöntemi olan anahtarlama sanal devre (SVC-Switched Virtual Circuit)'nin kurulması isteğinde bulunmalıdır. SVC kurulurken, o bağlantı için VPI/VCI değerleri belirlenir ve bu oturumda aktarılacak hücreler aynı VPI/VCI değerini kullanırlar [30]. ATM'de bağlantılar VCI ve VPI ile tanımlandıktan sonra, verilen herhangi bir yöne giden sanal yollar çoklanarak fiziksel hatta sunulur. Sanal kanal bağlantıları son kullanıcılar arasında anlamlıdır. Fakat bu bağlantı tanımlayıcıları, hücreler ATM ağı içinde ilerlerken değişebilir. Bu yüzden belli bir VCI değerinin kullanıcı açısından bir önemi yoktur. Sorumluluk ATM ağındadır.

ATM hücre anahtarlamaındaki temel fikir, mantıksal bir kanaldan anahtara giren bilginin yol üzerindeki bir sonraki noktaya iletilmesi için başka bir ATM kanalına yönlendirilmesidir. Genelde bir anahtardan çıkan çok sayıda mantıksal ATM kanalı

olmasından dolayı, yönlendirmeden önce ilgili çıkış kanalı seçilmelidir. Bu seçim, giriş portunun numarasına, yönlendirme tablosundan hücrenin çıkış portu ve yeni VPI, VCI değerlerine bağlı olarak yapılır [68].

ATM hücreleri düğümden düğüme geçerken, başlık kısmı içerisinde bulunan VPI ve VCI numaraları değişir. Bu geçiş UNI ile NNI arasında oluyorsa başlık formatında da kısmen bir değişim olur. Bu değişim işlemleri anahtar tarafından yapılır. ATM anahtarlardaki tablolarda hangi düğümler arasında hangi numaralarla sanal bağlantı kurulacağı bilgileri tutulur. Şekil 2.34'de bağlantı tablosu yapısı görülmektedir.

Şekil 2.34'de görüldüğü gibi her porta ait konumuna göre ya bir IPC (Giriş Port Kontrol) ya da OPC (Çıkış Port Kontrol) bulunmaktadır. Ayrıca anahtar içindeki yönlendirme tablolarını güncelleyen bir anahtar kontrol birimi (switch controller) de vardır [75].



Şekil 2.34. Bağlantı Tablosu Yapısı ve ATM Anahtarı Yapısı

Bazen verilerin çok yoğun bir şekilde anahtara gelmesi halinde aynı anda farklı kapılara gelen ATM hücreleri aynı kapıya yönlendirilmesi gerekebilir. Böyle bir durumda ilgili çıkış portu boşalınca kadar bazı hücreler geçici olarak bir tampon alanda saklanmak zorundadırlar. Bu hücreleri sıraya sokma işlemi kuyruklama olarak adlandırılır. Bunun için bir tampon belleğe (buffer) gereksinim duyulur. Toplam tampon bellek kapasitesi, yük bağımlı bir usulde her bir çıkışa bir FIFO (First In First Out) gelecek şekilde mantıksal olarak bölünebilir. Birden fazla hücre, bir tampondan değişik çıkışlara eşzamanlı olarak gönderilebiliyorsa daha iyi sonuçlar alınabilir. Bu tip çalışma, çok çıkışlı veya düşük erişim zamanlı bir tampon bellek gerektirir [73, 76, 77].

ATM anahtarları işlevsel olarak, sanal yol (VP) ve sanal kanal (VC) anahtarları olmak üzere kendi aralarında ikiye ayrılırlar. Sanal yol anahtarları yönlendirme sırasında sadece başlıktaki VPI değerini yenilerler. Halbuki sanal kanal anahtarları başlıktaki hem VPI hem de VCI değerlerini yenilerler. Anahtarlar için böyle bir ayrıma gidilmesinin nedeni ağ içerisindeki ara noktalarda yapılan işi azaltarak anahtarlamayı hızlandırmaktır. Ara noktalarda sanal yollar değişmekte ancak bunların içerdiği kanallar aynı kalmaktadır. Böyle durumlarda sadece VPI değerlerini inceleyen bir anahtar kullanmak daha etkin bir yoldur.

ATM ağ'ı içinde kullanıldığı konumlarına göre Kurum Anahtarları, Erişim Anahtarları ve Omurga Anahtarları olmak üzere üç tip anahtar görev yapmaktadır.

Sonuç olarak bir ATM anahtarının temel görevleri hücreleri anahtarlamak (switching), gerektiğinde hücreleri kuyruklamak (queuing), gelen hücrelerin başlıklarındaki VPI ve VCI değerlerini yönlendirme tablosundaki karşılıkları ile değiştirmek olarak özetlenebilir. ATM anahtarlarının performansı ise bağlantı bloklama, hücre kayıpları, hücre eklenmeleri, anahtarlama gecikmesi faktörlerinden etkilenirler [68].

ATM, yapı ve geliştirme bakımından esnek bir topolojiye sahiptir. Bunun yanında mevcut ağ topolojilerine uygulanabilir ve etkin bir yapı oluşturulabilir. ATM'in topoloji yapısında iki türlü arabirimden söz edilir. Bunlardan birincisi Genel UNI (Public User-to-Network Interface), diğeri ise Özel UNI (Private User-to-Network Interface) olarak adlandırılmaktadır [78]. ATM ağa UNI arayüzü ile bağlı bir uç sistemin karşı bir sistemle SVC kurulması imkanı verilir. İki uç düğüm arasında PVC kurulacaksa, bununla ilgili tanımlama cihazların konfigürasyonu düzeyinde yapılır, yani manuel olarak girilir [30].

ATM gelecekteki genişbant çoklu-ortam servislerinin destekleyecek bir teknolojidir. Bununla beraber, iletişimde IEEE 802 tabanlı yerel ağlar ve bu ağlar üzerinde kullanılan uygulamalar günümüzde oldukça yaygındır. Mevcut LAN uygulamalarının ATM ağlarında desteklenebilmesi, sunulan uyarılama çözümü ATM LAN Emülasyonudur. LAN Emülasyonu, bağlantı uyumlu ATM ağları üzerinde

bağlantısız IEEE 802 ağları servislerinin nasıl gerçekleştirilebileceği üzerinde durur. Diğer bir deyişle, noktadan noktaya bağlantı sağlayan ATM anahtarının sanal paylaşılmış iletim ortamı görüntüsünü vermesini sağlamaktır. LAN Emülasyonu, ATM uç sistemleri ve ATM-LAN köprülerinde ağ katmanının altında gerçekleşir [68]. LAN Emülasyon servisi LAN Emülasyon İstemcisi (LEC-LAN Emulation Client), LAN Emülasyon Yapılandırma Sunucusu (LECS-LAN Emulation Configuration Server), BUS (Broadcast and Unknown Server), LAN Emülasyon Sunucusu (LES-LAN Emulation Server) birimlerden oluşmuştur.

#### 2.5.4. ATM 'in avantajları ve dezavantajları

ATM 'in Avantajları;

1. ATM hızla gelişen bir teknolojidir. ITU-T ve ATM Forum, standartlaşma çalışmalarında bulunmaktadır. Gelecekte belirecek talepler şimdiden birçok büyük firmanın bu konuda araştırmalara başlamasına yol açmaktadır. Büyük firmalar bu konuda iş yapan küçük firmaları kendi bünyelerine katarak bu konuda çalışmalarını hızlandırmaktadır [79].
2. ATM ile verileri çok büyük hızlarda taşımak mümkündür. Hızı arttırmak amacıyla hata kontrolü minimum düzeyde tutulur. Bu durumda, hata kontrolü son kullanıcının sorumluluğuna bırakılmaktadır.
3. Video, ses, TV, metin gibi değişik veri tiplerinin hepsini destekleyen ve bütün ağların bir ortamda entegrasyonu amacıyla ortak zemin oluşturacak BISDN için ITU-T tarafından anahtarlama modeli olarak ATM seçilmiştir.
4. ATM, fiziksel (taşıma) ortamından bağımsızdır. Kablolar koaksiyel kablo olabileceği gibi fiber de olabilmektedir. Fiziksel katman olarak SONET tavsiye edilmektedir.
5. ATM, mevcut sistemlerle uyumludur. Bu her tür ağ ortamıyla sorun olmadan bağlantı imkanı sağlamaktadır.
6. ATM, veri iletiminde esnektir. Değişken bit hızlarını destekler niteliktedir. Kullanıcı isteğine göre iletişim hızı belirlenir. "Hatta bazı anahtarlar, kullanıcılara ait bant genişliği de sunabilirler" [79]. ATM ağında hata oranı ve gecikme değeri bildirilerek istenilen bir kalite seviyesinde hizmet alınabilir. Bu

bilgiler, ağına bağlanıldığında kullanıcı tarafından ağ ortamına bildirilir. Yüksek iletim hızları istenildiğinde hata oranı göz önüne alınmayabilir. Hata oranı önemliyse bu durumda da veri iletim hızından ödün vermek gerekecektir .

7. ATM, sabit boyuttaki küçük hücreleri anahtarladığından ağ kaynaklarını optimum kullanabilir. Devre anahtarlama yönteminin aksine devre, bütün bağlantı için kapatılmaz. Paket anahtarlama tekniği kullanılarak sadece bilgi transfer edilirken devre kullanılır . Diğer taraftan anahtarlar, yalnızca iletişimin gerekli olduğu düğümler arasında kurduğu bağlantılarla, ağ bant genişliğinin etkin kullanımını sağlamaktadır [79].
8. ATM ağ yapısı büyümeye elverişlidir.
9. ATM, standartları yorumlayan ve kullanan firmaya göre bazı değişiklikler arzedebilir. Belirli şartları sağladıkları sürece değişik ATM-LAN'lar birbirleriyle iletişim yapabilirler.
10. ATM istatistiksel çoklama tekniğini kullanarak çok kullanıcının veri trafiğini tek bir ağ üzerinde birleştirir. Böylece sistem kaynakları en optimum şekilde kullanılabilir.
11. ATM anahtarlama, yönlendiricilere göre daha kolay anlaşılır, uygulaması kolay ve daha ekonomik bir çözümdür. Yönlendiricilerin mevcut yazılımlarının düzeyi, karmaşıklığı, mimarisi ve maliyeti, anahtarlar karşısında devre dışı kalmalarına yol açmaktadır [79].
12. ATM anahtarları mevcut ağ ekipmanı üzerinde hiç değişiklik yapmadan ya da çok küçük bazı değişiklikler yaparak ağına eklenebilir [79].

ATM 'in Dezavantajları;

1. ATM pahalı bir teknolojidir. Fakat yakın bir zamanda bu teknolojinin ucuzlaması ve yaygınlaşması beklenmektedir.
2. ATM, yeni bir teknoloji olduğundan henüz yaygın donanım ve yazılım desteği bulunmamaktadır. Bunda en önemli etken standartların zamanında ve hızla oluşmamasıdır. Özellikle yazılım konusunda büyük eksiklikler bulunmaktadır [79].
3. ATM anahtarları, yönlendiriciler tarafından verilmekte olan hizmet sınıflarının pek çoğunu kendi yapısı içinde kullanıcılara sunmaktadır. Ancak henüz standartların oluşmaması yüzünden güvenli WAN erişimi, güvenlik duvarları

(Firewall), çoklu protokol desteği gibi yönlendiricinin yapabildiği fonksiyonları anahtarlar henüz yapamamaktadır [79].

## 2.6. Sonuç

Bilgisayar ağları ve endüstriyel ağlar coğrafik kapsamına, topolojilerine, iletim ortamlarına, iletim yöntemlerine, ağ ortamına erişim tekniklerine, haberleşme tekniklerine, kontrol türlerine, standartlarına ve kullanım/uygulama alanlarına göre sınıflandırılarak incelendiğinde birçok teknoloji geliştirildiği görülmektedir.

Günümüzdeki küresel ağ haberleşme teknolojilerinden ATM, farklı veri türleri ve hizmet sınıflarında kullanıcılara sağladığı yüksek hız ve hizmet kalitesi avantajları ile ilk sıraya yükselmiştir. ATM'in sunduğu haberleşme hizmet sınıfları, gerçek zamanlı haberleşmeyi sağlayacak seviyededir.

Endüstriyel ağların, ATM ağ üzerinden gerçek zamanlı olarak haberleştirilebilmeleri amacıyla, bazı donanımsal ve yazılımsal çözümler önerilerek geliştirilmiştir. Tez çalışmasının temelini oluşturan bu amaç doğrultusunda Bölüm 3'de yapısı sunulan bir köprü arabağlaşım cihazı tasarlanmıştır.



## **BÖLÜM 3. WorldFIP/ATM KÖPRÜ TASARIMI, MODELLENMESİ, BENZETİMİ VE BAŞARIM ANALİZİ**

### **3.1. Giriş**

Bir sistemi modellemek için üç farklı yöntem kullanılabilir: Fiziksel model/prototip geliştirmek, analitik çözüm ve benzetim yöntemleridir [80, 25].

Benzetim; teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir yöntemdir.

Bir sistemin benzetimi, öncelikle sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir. Etkin bir model, gelecekteki muhtemel ihtiyaçları göz önüne alarak, sistemin diğer parçalarını da kolayca kapsayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Benzetim; gerçek sistemin modelinin tasarlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacıyla yönelik olarak, sistemin davranışını anlayabilmek veya değişik stratejileri değerlendirebilmek için deneyler yürütülmesi sürecidir [81].

Benzetim;

- Belirli kararların sonuçlarını tahmin etmek,
- Gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemek,
- Yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemek,
- Değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmak,
- Bütün sistem değişkenlerinin bulunmasını sağlamak,
- Fikirleri değerlendirmek ve verimsizlikleri belirlemek,
- Yeni fikir geliştirmeyi ve yeni düşüncüyü teşvik etmek,
- Planların bütünlüğünü ve uygulanabilirliğini test etmek,

amaçlarıyla kullanılır.

Benzetim temel olarak, sistemin operasyonel yönlerini ortaya çıkarmayı hedefler. Diğer bir ifadeyle; ne?, ne zaman?, nerde? ve nasıl? sorgulamalarının yapıldığı görev alanları üzerinde yoğunlaşır.

Bilgisayar benzetimi, sistem dizaynı ve analizinde hızla popüler olmuş önemli bir araçtır. Mühendis ve planlamacılara sistemin dizaynı ve işletimiyle ilgili zamanında ve zekice kararlar vermeleri için yardımcı olur. Benzetim, tek başına problemleri çözemez fakat problemi açıkça tanımlar ve sayısal olarak alternatif çözümleri değerlendirir [81].

Sistemin verimliliğini ölçmek ve yapılan iyileştirmeyi değerlendirmek için çeşitli performans ölçütleri kullanmak gereklidir. Üretim veya servis sistemlerinde kullanılan bazı genel performans ölçütleri, çevrim süresi (cycle time), kaynak kullanımı (resource utilization), katma değerli zaman (value-added time), bekleme süresi (waiting time), işlem hızı (process rate), kalite (quality), maliyet (cost), esneklik (flexibility) olarak belirlenmiştir.

Geçerli bir benzetim süreci, model formülasyonu ve planlama, veri toplanması, model geliştirme, doğrulama, değerlendirme, denemeler, sonuçların analizi, dokümantasyon, uygulama ve tasarlanacak sistemin benzetimi bu adımlardan oluşur.

Benzetim sonuçlarının doğruluğu, modelin gerçek sisteme ne kadar yakın olduğuna bağlıdır. Gerçeğine daha yakın model ise daha fazla detay gerektirir. Buna paralel olarak modelin tasarlanması ve benzetimin gerçekleştirilmesi de daha uzun zaman gerektirir [69].

Tanımlanan modelin yapısına bağlı olarak sürekli veya ayrık olay benzetim tekniği kullanılır. Sürekli olay benzetiminde, olaylar zamana bağlı olarak bir süreklilik arz eder. Zaman doğrusal olarak arttıkça, süreçler de zaman içerisinde doğrudan değişirler. Ayrık olay benzetiminde modüllerin çalıştırılması ve benzetim zamanının ilerlemesi zamanlayıcı süresinin dolması, paketlerin varışı gibi olayların meydana gelmesiyle gerçekleşir [69]. Sayısal veri haberleşme ağları ve bilgisayar sistemleri ayrık olay benzetim ile modellenir [82].

GPSS-III, GASP-4, DYNAMO, Q-GERT, SIMSCRIPT II.5 gibi benzetim dilleri ile birçok alana çözümler üretmek, modeller geliştirebilmek için ayrık ve sürekli olay modellemesi yapabilen, kullanımı ve öğrenmesi kolay benzetim paket program yazılımları hazırlanmıştır. Tablo 3.1’de haberleşme sistemlerini modellemek için yaygın olarak kullanılan benzetim yazılımlarına örnekler görülmektedir.

Tablo 3.1. Haberleşme Sistemleri Modelleme Simülasyon Yazılımları

Ağ Simülasyon Paketi	Üretici
OPNET Modeller	OPNET Inc.
Network Simulator	Berkley University
Planning Workbench Suite	Bellcore
BONES	Comdisco
Network II.5, COMNET III, L_NET ve Simscript 2.5	CACI Products Co.
Net Maker	Make Systems Inc.
Object Time	BNR

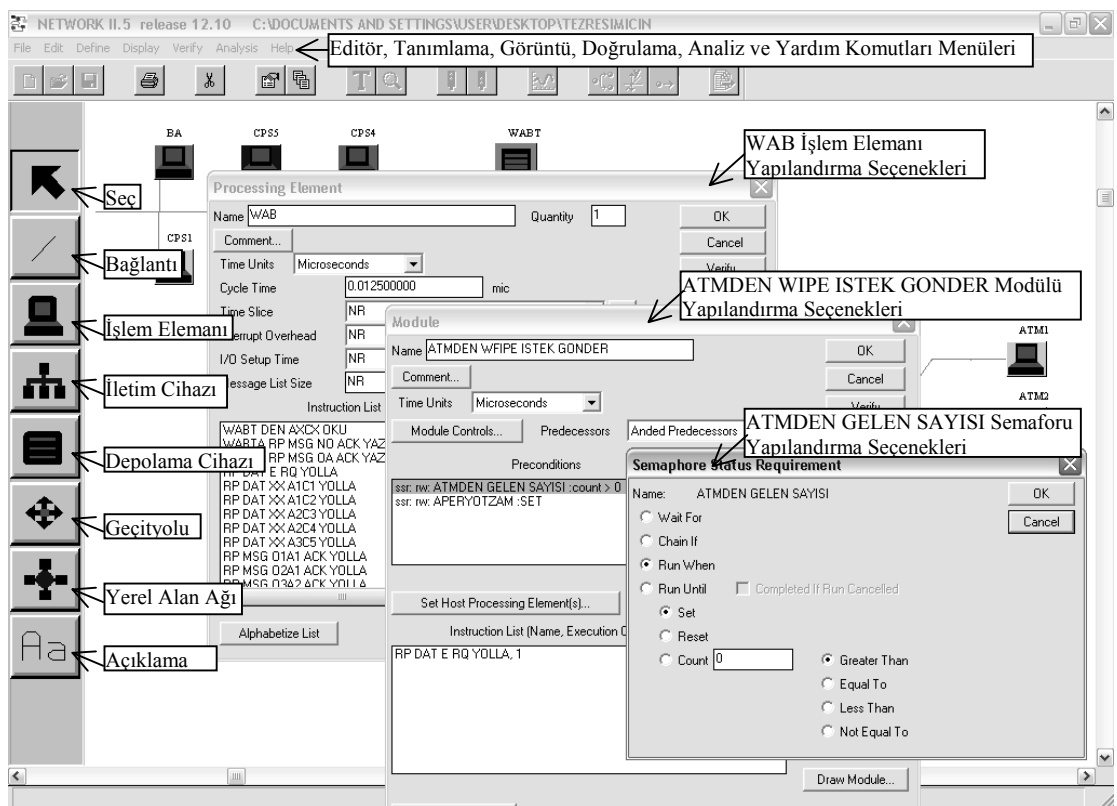
Sunulan bu tez çalışması OSI modelinin alt katmanlarının modellenmesini kapsamaktadır. Daha önceden bu yazılım kullanılarak yapılan benzer modelleme sonuçlarından çalışma için en uygun programın Network II.5 olduğu belirlenmiştir. Network II.5, önerilen sistem konfigürasyonunun farklı şartlar altındaki yeteneğini sorgulamak ve rekabete dayalı tasarımlar geliştirebilmek için kullanılabilir [89]. Network II.5, Simscript dili ile yazılmıştır ve daha önce bahsedilen tüm benzetim program kriterlerini içermektedir.

NETWORK II.5, donanım ve yazılım olarak iki ana veri yapısına ve bunlara ait bayraklara, değişkenlere, istatistiksel dağılım fonksiyonlarına sahiptir.

Donanım veri yapısı cihazları; işlem elemanları (PE-Processing Elements), iletim cihazları (TD-Transfer Devices) ve depolama cihazları (SD-Storage Devices) olarak temelde üç tanedir. PE, belirlenen temel çalışma frekansında tanımlanan komutlar ile, tanımlanan işlevleri gerçekleştiren cihazdır. TD, belirlenen veri iletim oranlarında, iletim protokolleri ile modellenen cihazlar arasında bağlantıyı sağlar. SD, tanımlanan erişim zamanı ve erişim metoduna göre okuma ve yazma işlevlerinin modellenebildiği hafıza birimleridir. Bu cihazlar ile gerçek dünyanın karmaşık mikroelektronik yapıya sahip, programlanabilir tüm haberleşme sistemlerini ve araçlarını modellemek mümkündür.

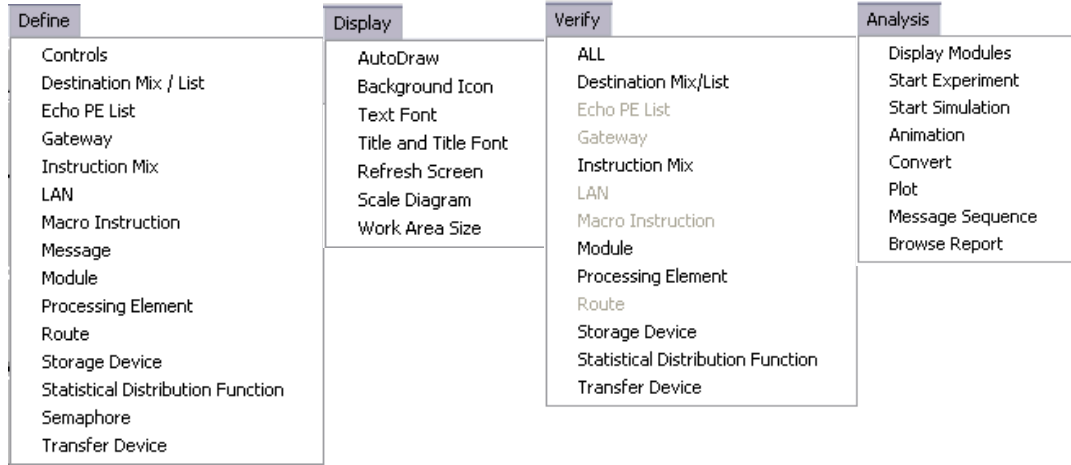
Yazılım veri yapısı; modül adı verilen alt programların tanımlanması ile gerçekleştirilir. PE'ler modülleri ve onların içerisinde tanımlanan komutları çalıştırarak görevlerini gerçekleştirirler. Komutlar mesaj, semaphore, okuma/yazma ve processing komutları olarak sınıflandırılmıştır.

Şekil 3.1'de tasarım ve bazı veri yapılarına ait yapılandırma ekran görüntüleri, Şekil 3.2'de ise tasarıma ait veri yapılarını tanımlama, görüntüleme, yapısal doğrulama ve analiz komutları görülmektedir.



Şekil 3.1. Network II.5 Modelleme Ekranı Genel Yapısı

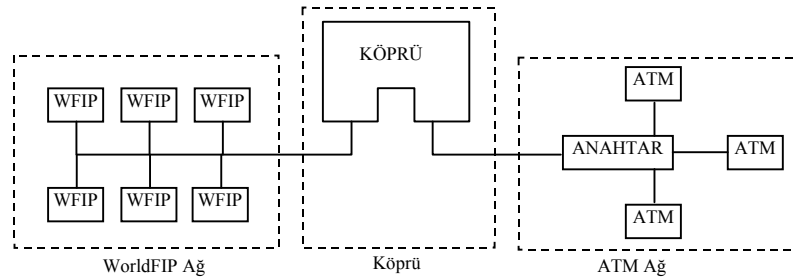
Network II.5'de benzetim sonuçları grafik raporlar (Automatic Hardware Layout, Software Module Diagram, Status Plot, Utilization Plot, Verify Report) ve tablo raporlar (Processing Element Statistics, Instruction Execution, Transfer Device Statistics, Storage Device Statistics, Module Summary, Semaphore Report, Message Statistics, Received Message, Message Delivery, Snapshot Report) halinde veya karşılıklı etkileşimli benzetim (Narrative Trace, Snapshot Report) ile elde edilerek incelenebilir.



Şekil 3.2. Network II.5 Modelleme Komut Menüleri

Network II.5 yazılımı ile ilgili detaylar literatürde sunulan [83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 25, 89] çalışmalarında bulunabilir.

Bu bölümde, Bölüm 2.4.3’de detaylandırılan endüstriyel ağ protokollerinden WorldFIP ve Bölüm 2.5’de detaylandırılan günümüzün en hızlı asenkron hücre anahtarlama ağ protokollerinden olan ATM ağ arasında köprüleme işlevlerini gerçekleştirecek “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü (Transparent Translation Bridges)” tasarımı ve Network II.5 programında modellenerek yapılan başarımlı analizi sunulmaktadır. Şekil 3.3’de tasarlanan köprü modelinin denemesi için oluşturulan ağ sisteminin genel yapısı görülmektedir. Sistem, WorldFIP ve ATM yerel ağları ve bu ağları bağlayan köprüden meydana gelmektedir.



Şekil 3.3. Modellenen Sistemin Genel Yapısı

Bu bölüm, “WorldFIP Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi”, “ATM Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi”, “WorldFIP-ATM Köprüünün Tasarımı ve

Modellenmesi”, “Modellenen Sistemin Başarım Analizi” alt bölümlerinden oluşmaktadır. İlk iki bölümde birbiri ile haberleştirilecek WorldFIP ve ATM ağların yerel ve uzak trafik üretebilmeleri için gerekli tasarım ve modellenmeleri anlatılmaktadır. Daha sonraki bölümlerde ise ATM protokolünün AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarına göre üretilen trafiklerin köprü üzerinden iletilmesi için gerekli köprü tasarımı, modellenmesi ve başarım analizleri detaylandırılarak sunulmaktadır.

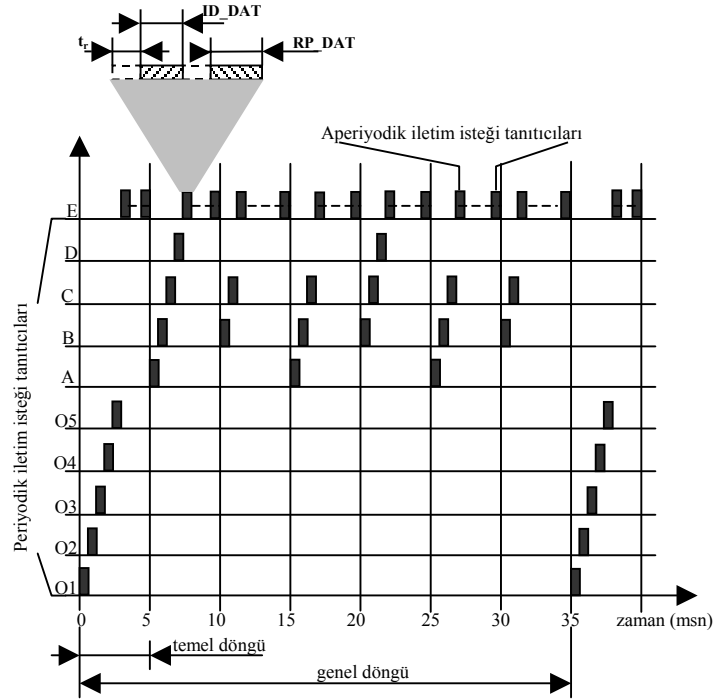
### 3.2. WorldFIP Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi

WorldFIP, BA (Bus Arbitration) kontrollü bir endüstriyel yerel ağ protokoldür. Bu ağ haberleşme türünde, WorldFIP ağındaki düğümlerden (istasyonlardan) bir tanesi BA olarak seçilerek yapılandırılır. Diğer düğümler ise, kontrol edilecek sistemdeki algılayıcı (sensör) ve işletici/sistem kontrol elemanları (aktuatorler) ile ağ arasındaki bağlantıyı (iletişimi) sağlarlar. Bu düğümler tasarıma göre, gerektiğinde sensörlerden okudukları verileri uygun çerçeve yapıları içerisinde hazırlayarak gerekli düğümlere yollayan üretici (producer), gerektiğinde de diğer düğümlerden kendilerine gelecek çerçeve yapıları içerisindeki verileri alarak bağlı oldukları aktuatorları kontrol edecek tüketici (consumer) olarak programlanabilir. BA düğümü, istenirse aynı zamanda hem ağ yöneticisi hem de bir üretici/tüketici (P/C-producer/consumer) olarak tanımlanabilir. BA'nın asıl işlevi ağa bağlı bulunan düğümlerin ne zaman üretici, ne zaman tüketici durumda çalışacağını, o düğümlere göndereceği çerçeve mesajlar ile bildirerek kontrol sisteminin çalışmasını sağlamaktır. WorldFIP gerçek zamanlı (realtime) endüstriyel kontrol haberleşme protokolünün diğer çalışma detayları Bölüm 2.4.3'de verilmiştir.

Bu çalışmada modellenen WorldFIP ağda 6 düğüm (D) bulunmaktadır. Düğümlerden birisi BA özeliğinde, diğerleri üretici/tüketici özelliğinde programlanmıştır. Şekil 3.4'de WorldFIP ağdaki düğümlerin yapıları görülmektedir.  $D_{CPS1}$ ,  $D_{CPS2}$ ,  $D_{CPS3}$ ,  $D_{CPS4}$  ve  $D_{CPS5}$ , WorldFIP ağ ile algılayıcı ve kontrol elemanları arasındaki bağlantıyı, WAB ise WorldFIP ağ ile köprü arasındaki bağlantıyı sağlamak üzere modellenen birer WorldFIP düğümüdür. WorldFIP ağdaki düğümlerin üretici/tüketici olma yetkileri, BA tarafından onlara yollanan tanıtıcılar (identifier) ile



O1, O2, O3, O4, O5, A, B, C, D, E tanıtıcıları yapılandırma sırasında belirlenen düzen içerisinde ağa yollar. Örneğin 1. temel döngüde O1, O2, O3, O4, O5 tanıtıcıları, 2. temel döngüde A, B, C, D tanıtıcıları, 3. temel döngüde B, C tanıtıcıları, 4. temel döngüde ise A, B, C tanıtıcıları ağa yollar. Tasarlanan modelde bu tanıtıcılar, belirlenen düzen içerisinde “macrocycle” adı verilen her genel döngüde, 35 msn’de bir tekrar edilerek ağa gönderilir.



Şekil 3.5. Tasarlanan Modelin Tanıtıcılarının Trafikini Sağlayan Zamanlama Şeması

Ağ üzerindeki düğümler arasındaki çerçeve alışverişi zamanlamasına “buffer transfer timing” denir. Bu zamanlama ID\_DAT, RP\_DAT isimli çerçeveler ile gerçekleşir. Modelde O1, O2, O3, O4, O5 tanıtıcıları kabullü, A, B, C, D, E tanıtıcıları kabulsüz iletim teknikleri kullanılarak haberleştirilmiştir. Kabullü ve kabulsüz iletim tekniklerinin ayrıntıları Bölüm 2.4.3.5 ve Bölüm 2.4.3.4’de verilmiştir. BA yapılandırılırken, sistemin başarımını en yüksek seviyede tutmak için, zamanlama özellikleri ortaya konularak, mesajlaşma süresi hesaplanarak belirlenmelidir.

Mesajlaşma süresi;

$$C = \frac{\text{len}(ID\_DAT) + \text{len}(RP\_DAT)}{\text{bps}} + 2 * t_r$$

formülü ile hesaplanır [61]. Bu formüle;



len(ID\_DAT); ID\_DAT çerçevecce uzunluğunun bit cinsinden değerini,  
 len(RP\_DAT); RP\_DAT çerçevecce uzunluğunun bit cinsinden değerini,  
 bps(bit per second); ortam iletim hızını,  
 t<sub>r</sub>(turnaround time); çerçevecce arası boşluk zamanını belirler, t<sub>r</sub>'nin 10–70 µsn arasında bir değer olması tavsiye edilmektedir. Bu seçim sistem başarımını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür.

Modellenen sistemde mesajlaşma süresi (C) hesaplanırken;

ID\_DAT=8 bayt=64 bit, RP\_DAT=134 bayt=1072 bit, bps=2,5 Mb/sn, t<sub>r</sub>= 20 µsn

alınmış ve  $C = \frac{64+1072}{2,5} + 2*20 = 494,4 \cong 495\mu sn$  olarak hesaplanmış ve

kullanılmıştır.

Bu hesaplanan mesajlaşma süresi, değişkenlerin değişim zamanlarının önceden belirlenmesini sağladığından, BA yapılandırılırken planlama kolaylığı sunar.

WorldFIP ağlarda BA, herhangi bir temel döngü içerisinde tanıtıcıların tamamı göndererek işlemler tamamlandıktan sonra sıradaki temel döngüye kadar kalan zamanı ağa boş mesajlar (dolgu çerçevecce-*padding*) göndererek doldurur. Bu şekildeki WorldFIP ağı haberleşme metoduna, ‘periyodik haberleşme’ denir. WorldFIP aperiodyk haberleşmeye de izin verir. Aperiodyk haberleşme; daha önceden yapılandırmaya dahil edilmemiş, kontrol sistemi çalışırken sonradan gereksinim olabilecek mesajlaşmalar ile gerçekleşir. Bu tür mesajlar, temel döngünün planlanmış periyodik işlemleri bittikten sonra, bir sonraki temel döngü başlayıncaya kadar geçecek zaman içerisinde (boş mesajların yollandığı zaman aralığında) olabildiğince yapılır. Bu zamanlama BA tarafından ayarlanarak yönetilir. Şekil 3.5’de E tanıtıcısı ile gösterilen bölge aperiodyk mesajlaşma zamanını ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasında modellenen WorldFIP ağ yapısında, ATM ağdan gelen mesajların WorldFIP düğümlerine periyodik çalışma esnasında gönderilmesi mümkün değildir. Bu, ancak aperiodyk çalışma mekanizması kullanarak

gerçekleştirilebilir. Model, hem periyodik hem de aperiodyk çalışma algoritmalarını yürütecek şekilde hazırlanmıştır.

WorldFIP düğümlerinin hangi WorldFIP ve ATM düğümleri ile haberleşecekleri önceden belirlenmiş olup bu bilgiler Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. WorldFIP Düğümlerinin Haberleşme Tablosu

DÜĞÜMLER→	ALANLAR				
	GÖNDERENLER	ATM1	ATM2	ATM3	CPS4
CPS1			X	X	
CPS2	X			X	
CPS3		X		X	
CPS4					X

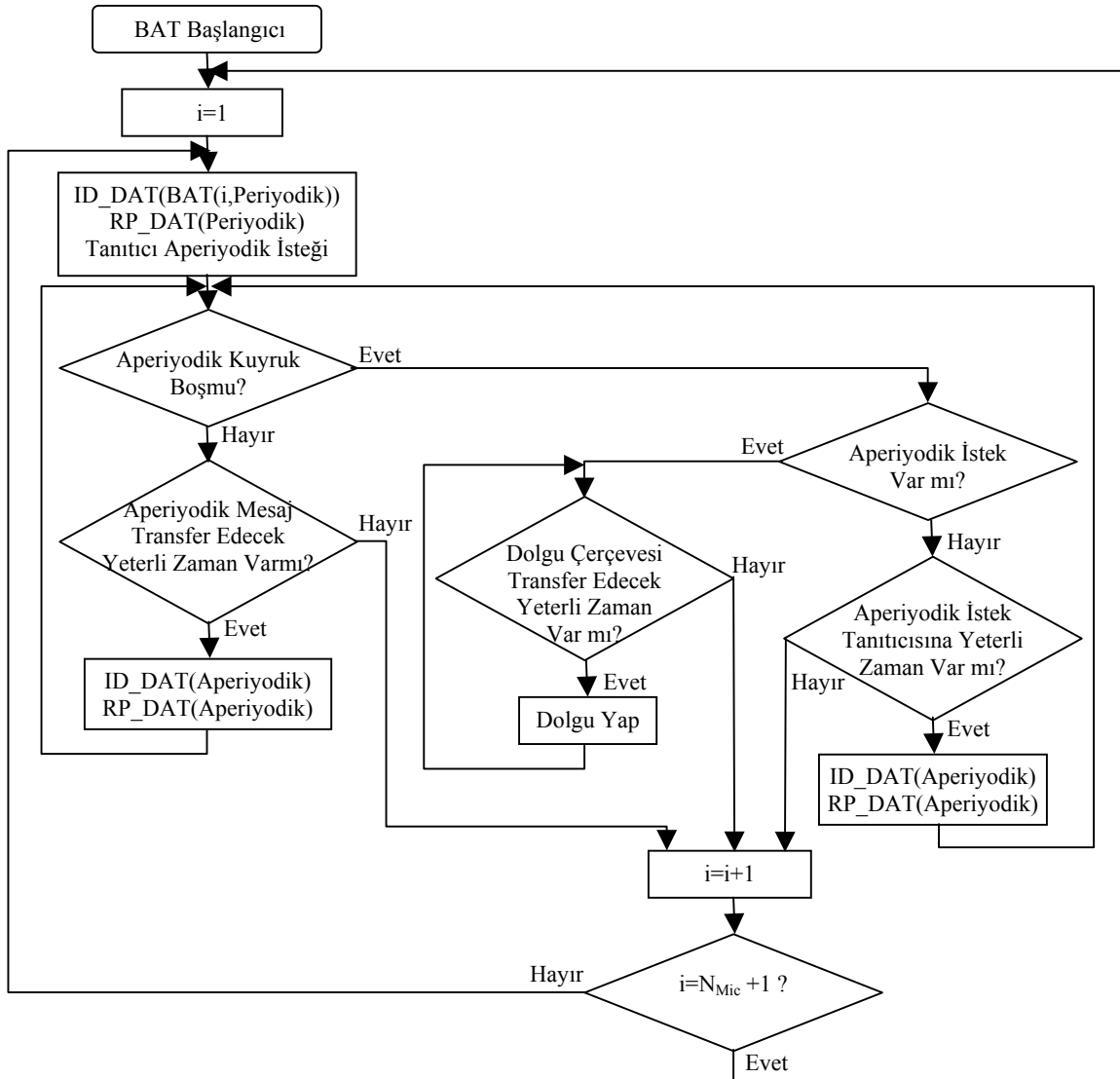
### 3.2.1. WorldFIP protokol ağındaki düğümlerin işlevlerinin tanımlanması

Modellenen WorldFIP ağda BA,  $D_{CPS1}$ ,  $D_{CPS2}$ ,  $D_{CPS3}$ ,  $D_{CPS4}$  ve  $D_{CPS5}$  düğümleri ve WorldFIP ağı ile köprü arasındaki bağlantıyı sağlamak üzere WAB (WorldFIP Ara Birimi) bulunmaktadır. BA,  $D_{CPS1}$ ,  $D_{CPS2}$ ,  $D_{CPS3}$ ,  $D_{CPS4}$  ve  $D_{CPS5}$  düğümlerinin işlevleri aşağıda, WAB ise Bölüm 3.4.2.1’de açıklanacaktır.

BA düğümünün çalışması; BA’nın gerçek işlevi, Şekil 3.5’de görülen BAT (Bus Arbitrating Table) zamanlama şemasındaki yapılandırmaya göre tanıtıcıların trafiğini sağlamaktır. Bu zamanlama yapılandırmasına göre, O1, O2, O3, O4, O5, A, B, C, D, E tanıtıcıları 5 msn’lik temel döngü zaman aralıklarıyla, yapılandırma sırasında belirlenen düzen içerisinde ağa yollar. Örneğin 1. temel döngüde O1, O2, O3, O4, O5 tanıtıcıları, 2. temel döngüde A, B, C, D tanıtıcıları, 3. temel döngüde ise B, C tanıtıcıları ağa gönderilir. Bu görevler 35 msn’lik her genel döngüde bir tekrar edilmektedir. BA, herhangi bir temel döngü içerisinde o temel döngüye ait tanıtıcıların tamamını gönderip işlemler tamamlandıktan sonra, sıradaki temel

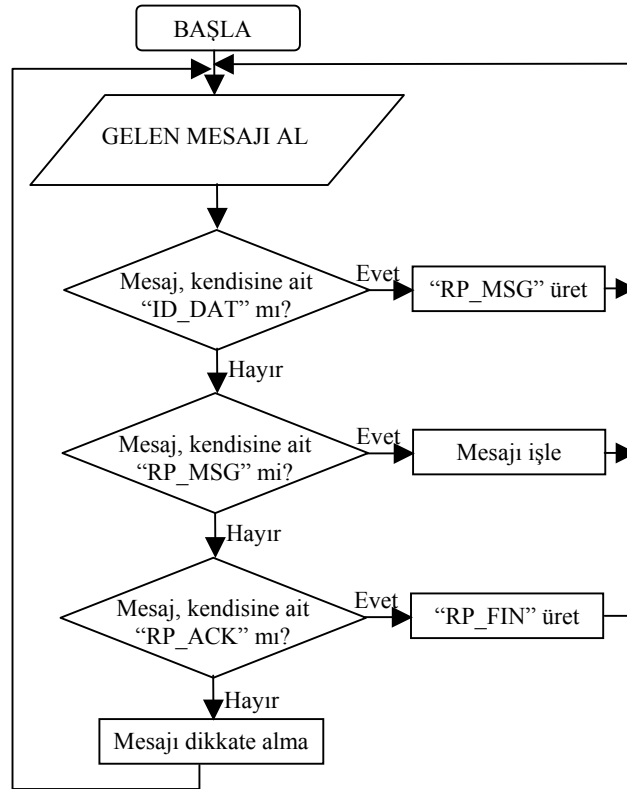
döngüye kadar kalan zamanı aperiyyodik iletim isteği varsa ağa E tanıtıcılı mesajları göndererek, yoksa boş mesajlarla doldurur.

Şekil 3.6'da, BA'nın periyodik ve aperiyyodik mesajlar için BAT'ı çalıştırma mekanizmasının akış şeması görölmektedir [91, 92, 93, 94, 95, 62].



Şekil 3.6. BA'nın Periyodik ve Aperiyyodik Mesajlar için BAT Çalışma Mekanizmasının Akış Şeması

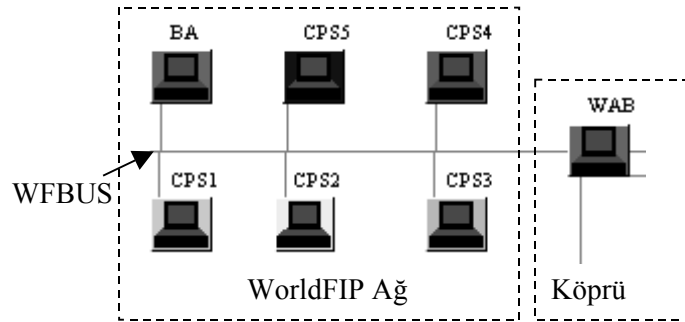
$D_{CPS1}$ ,  $D_{CPS2}$ ,  $D_{CPS3}$ ,  $D_{CPS4}$  ve  $D_{CPS5}$  düğümlerinin çalışması; düğümlerinin tamamı Şekil 3.4'deki yapılandırma gereği kendilerini ilgilendiren tanıtıcıları alarak kendi görev zamanlarının geldiğini bilirler ve görevlerine başlarlar. Bu düğümlerin işlevleri Şekil 3.7'deki akış şemasında görölmektedir [91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98].



Şekil 3.7. İstasyonların Üretici/Tüketici Durumlarda Çalışmalarının Akış Şeması

### 3.2.2. WorldFIP protokol ağındaki düğümlerin modellenmesi

Modellenme CACI yazılım firmasının Network II.5 simülasyon yazılımı ile yapılmıştır. Şekil 3.8’de görülen modelde tasarlanan WorldFIP ağ, birisi BA olmak üzere 6 WorldFIP düğüm ve bu düğümler arasındaki bağlantıyı sağlayan WFBUS iletim hattından oluşmaktadır. Düğümlerinin donanımsal özellikleri, ortam iletim hızları ve seçilen mesaj türleri Bölüm 2.4.3’de sunulan detaylar referans alınarak seçilmiştir. Düğümlerin tamamı 80 MHz hızında çalışan FULLFIP2 işlemcisi teknik özelliklerine bağlı kalınarak modellenmiştir. Düğümler arası bağlantı 2,5 Mbp/sn hızda modellenen WFBUS hattı üzerinden sağlanmıştır. Köprünün WorldFIP Arabirimi’de bir WorldFIP düğümü olarak tasarlanmış ve yapısı diğer düğümler ile aynı özelliktedir. WorldFIP haberleşme algoritması önceki alt bölümde detaylandırılmıştır. Modellenen ağın başarımları, Bölüm 3.5’de diğer modellere ait başarımları ile birlikte verilecektir.



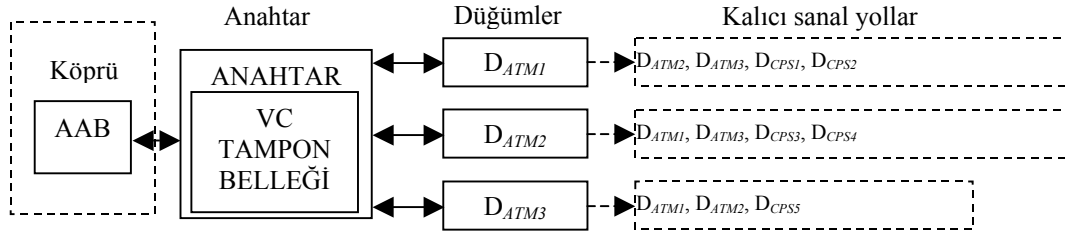
WAB: WorldFIP Arabirimi  
 CPS1:  $D_{CPS1}$ , WorldFIP Dügümü  
 CPS2:  $D_{CPS2}$ , WorldFIP Dügümü  
 CPS3:  $D_{CPS3}$ , WorldFIP Dügümü  
 BA(Bus Arbitration): Hat Yönlendirici İstasyon  
 CPS4:  $D_{CPS4}$ , WorldFIP Dügümü  
 CPS5:  $D_{CPS5}$ , WorldFIP Dügümü

Şekil 3.8. Tasarlanan WorldFIP Ağ Modeli

### 3.3. ATM Protokol Ağının Tasarımı ve Modellenmesi

ATM asenkron bir transfer modudur. Bilgi, hücre teknolojisi ile taşınır ve ağdaki hatların temiz, güvenilir olduğu varsayımına dayanır. Bu nedenle noktadan noktaya hata ya da akış denetimi yoktur. Bu denetimleri son kullanıcıya bırakır. Dolayısıyla anahtarlama hızı artar, gecikme azalır ve anahtar, daha az bellek ve işlem gücü gerektirdiğinden maliyet düşer. ATM ses, veri ve görüntü aktarımında kullanılır, iki uç nokta arasında ya anahtarlama sanal devre ya da kalıcı sanal devre kullanılır. Hücre aktarıcı anahtar, veriyi bir yerden başka bir yere anahtarlarken sanal devreler kullanılır. Bu sanal devrelerde gerçek bağlantılar kurulur. Burada sağlanan temel kazanım, işlemci ve işleme zamanıdır. ATM'in gerek duyduğu tüm devre bilgileri herhangi bir aktarım gerçekleşmeden önce programlanır. Her sanal bağlantının belirli özellikleri vardır. Birincisi, bir anahtarlama sanal devre ya da kalıcı sanal devre, sanal bir bağlantının oturduğu ana gövdeyi oluşturabilir. İkinci olarak, bir sanal yol tanımlayıcısı ve sanal kanal tanımlayıcısı, kullanıcı ağ arabirimlerine verilebileceği gibi, ağ üzerindeki çeşitli düğümlerde verilebilir. Üçüncü olarak, her sanal kanal üzerindeki onaylanmış hücre hızı farklıdır. Bu üç özellik, herhangi bir sanal kanalın ATM ağ içerisinde özgün olmasını, bir benzerinin daha bulunmamasını sağlar [40]. ATM hakkındaki diğer detaylar Bölüm 2.5'de verilmiştir.

Bu tez çalışmasında modellenen ATM ağda  $D_{ATM1}$ ,  $D_{ATM2}$ ,  $D_{ATM3}$ , adlarında üç adet kullanıcı noktası (düğüm) ve bir adet anahtar bulunmaktadır. ATM düğümlerin kalıcı sanal devre (PVC) kullanarak haberleştikleri ve sanal bağlantı (VC) oluşturdukları varsayılmıştır. Şekil 3.9’da tasarlanan ATM ağın blok şeması görülmektedir.



Şekil 3.9. Tasarlanan ATM Ağın Blok Şeması

Model, Tablo 3.3’deki ATM düğümleri haberleşme tablosuna göre hazırlanan kalıcı sanal yollara göre geliştirilmiştir.

Tablo 3.3. ATM Düğümlerinin Haberleşme Tablosu

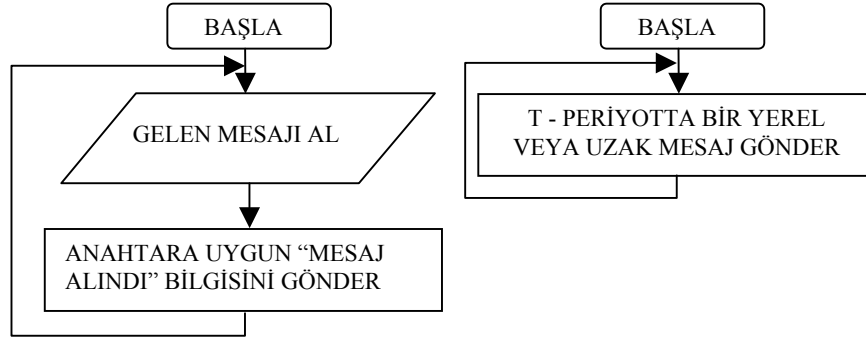
DÜĞÜMLER →	ALANLAR								
	GÖNDERENLER	ATM1	ATM2	ATM3	CPS1	CPS2	CPS3	CPS4	CPS5
ATM1		X	X	X	X				
ATM2	X		X			X	X		
ATM3	X	X							X

### 3.3.1. ATM ağdaki düğümlerin işlevlerinin tanımlanması

Modellenen ATM ağda  $D_{ATM1}$ ,  $D_{ATM2}$ ,  $D_{ATM3}$  düğümleri ile bunların kendi aralarındaki ve köprü ile aralarındaki anahtarlamayı sağlayan bir anahtar ağ bağlaşım cihazı bulunmaktadır.  $D_{ATM1}$ ,  $D_{ATM2}$ ,  $D_{ATM3}$  düğümleri ve anahtarın işlevleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’deki akış şemaları ve algoritmalar ile açıklanmıştır.

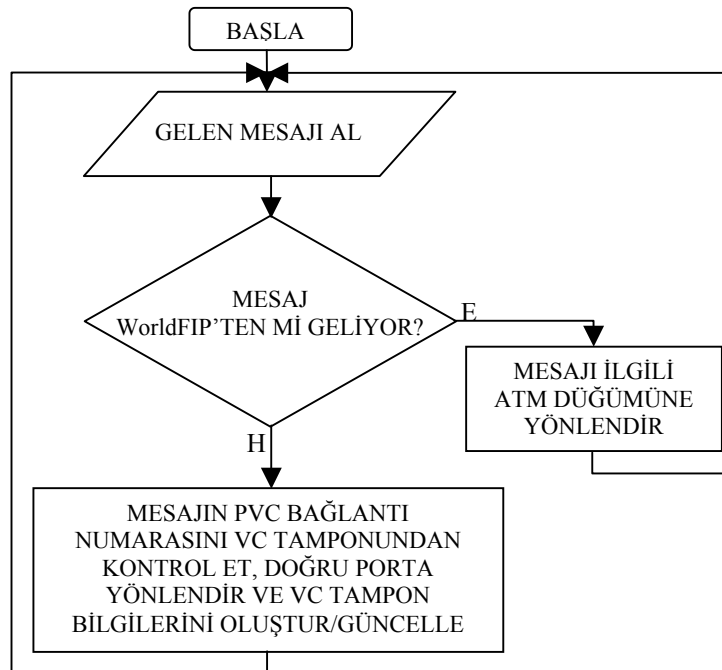
$D_{ATM1}$ ,  $D_{ATM2}$ ,  $D_{ATM3}$  düğümlerinin çalışması; her bir ATM düğümü, Şekil 3.9’daki yapılandırmaya uygun, kalıcı sanal bağlantı kurulabilmesi için yerel ve uzak mesajlar

üretir ve kendilerine gelen mesajlara karşılık olarak, gelen mesaj türüne uygun “mesaj alındı” kabul bilgi mesajını anahtara göndererek iki temel algoritma işletir [25]. Tüm düğümlerin işlevleri Şekil 3.10’daki akış şemalarında görülmektedir.



Şekil 3.10. ATM Düğüm İşlevlerinin Akış Şeması

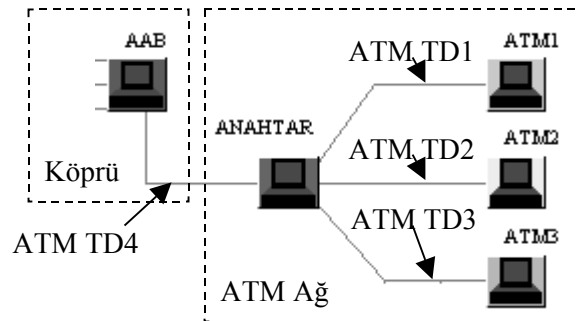
Anahtarın çalışması; Anahtar kendisine gelen ATM mesajlarını sanal kanal tamponundaki (VC-Virtual Channel) bağlantı tablosuna göre doğru düğümlere yönlendirerek gönderir. “Mesaj alındı” bilgileri ile VC tampon bilgilerini günceller, köprünün ATM AraBirimi (AAB)’nden gelen WorldFIP mesajlarını ilgili hedef ATM düğümlerine yönlendirir ve VC tampon tablosunu oluşturarak günceller. Anahtarın işlevleri Şekil 3.11’deki akış şemasında görülmektedir.



Şekil 3.11. Anahtarın İşlevlerinin Akış Şeması

### 3.3.2. ATM protokol ağındaki düğümlerin modellenmesi

Modelleme CACI yazılım firmasının Network II.5 simülasyon yazılımı ile yapılmıştır. Şekil 3.12’de görülen modelde tasarlanan ATM ağı, 3 ATM düğüm ve bu düğümler arasındaki haberleşmeyi, mesaj iletimini kontrol eden bir anahtar ve ATM düğümler ile anahtar arası bağlantıyı sağlayan TD1, TD2, TD3 hatlarından oluşmaktadır. Anahtar ile AAB arasındaki bağlantı da TD4 ile sağlanmaktadır. ATM düğümler 25 Mbp/sn veri üretebilecek, anahtar ise 155 Mbp/sn anahtarlama yapabilecek özellikte cihazlardan seçilmiştir. TD1, TD2, TD3 25 Mbp/sn, TD4 155 Mbp/sn veri iletim hızındaki hatlar olarak modellenmiştir. Modelde tasarlanan ATM düğümleri ve anahtarının donanımsal özellikleri ve ortam iletim hızları Bölüm 2.5.3’deki detaylar referans alınarak belirlenmiştir. ATM düğümler kendi aralarında haberleştikleri gibi WorldFIP ağı düğümleriyle de haberleşmektedirler. ATM düğümlerin hangi düğümler ile haberleştikleri Tablo 3.3’de görülmektedir. Modellenen ağın başarımları Bölüm 3.5’de diğer modellerin başarımları ile birlikte verilecektir.



AAB: ATM Arabirimi

ATM1:  $D_{ATM1}$ , ATM1 Düğümü

ATM2:  $D_{ATM2}$ , ATM2 Düğümü

ATM3:  $D_{ATM3}$ , ATM3 Düğümü

ATM TD1:  $D_{ATM1}$ -ANAHTAR Veri Hattı

ATM TD2:  $D_{ATM2}$ -ANAHTAR Veri Hattı

ATM TD3:  $D_{ATM3}$ -ANAHTAR Veri Hattı

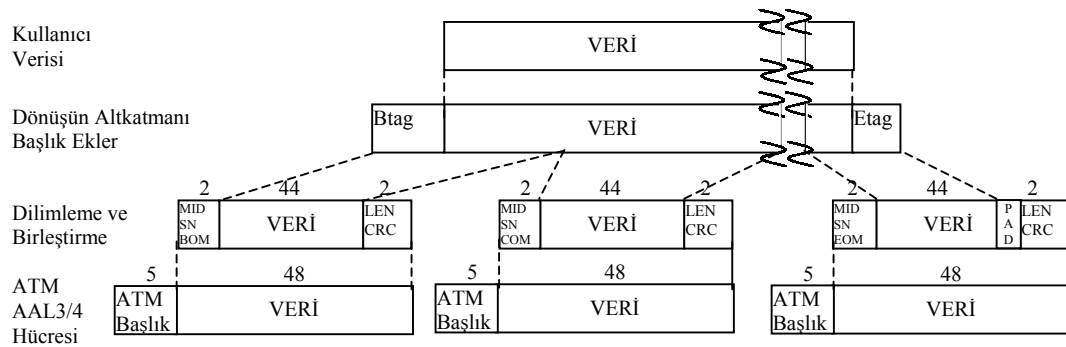
Şekil 3.12. Tasarlanan ATM Ağ Modeli



### 3.4. WorldFIP/ATM Köprü Tasarımı ve Modellenmesi

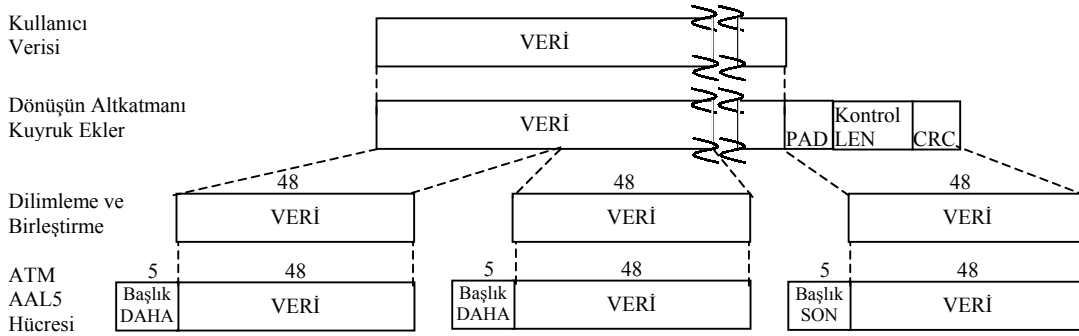
Bu bölümde; farklı fiziksel ortamlarda, hızlarda ve teknolojilerdeki, bir WorldFIP LAN ile AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarına göre trafik üreten bir ATM LAN'ın birbirlerine bağlanabilmesi için gerekli özelliklerin tümüne sahip “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü (Transparent Translation Bridges)” tasarımı ve modellenmesi detaylı olarak sunulmaktadır.

ATM teknolojisini önemli kılan sebeplerden birisi, ses, veri ve görüntü uygulamalarının gereksinim duyduğu farklı türde hizmet sınıflarını desteklemesi ve bunların gereksinim duyduğu hizmet kalitesini sunmasıdır. Detayları Bölüm 2.5’de verilen ATM Uyarlama Katmanı 4 farklı hizmet sınıfında 5 farklı uygulama türü (hizmet sınıfı) sunmaktadır. ATM hizmet sınıflarından AAL3/4 zamana duyarlı olmayan, değişken bit akışına sahip ve hem bağlantısız hem de bağlantıya dayalı özellikler sunar. ATM hizmet sınıflarından AAL5 ise basit ve verimli bir adaptasyon katmanı olarak bilinir ve bağlantısız modda çalışır. Bu hizmet sınıfı, LAN ortamlarındaki patlamalı (bursty) ve değişken uzunluklu paket iletimini desteklemek için tasarlanmıştır [73]. WorldFIP/ATM köprü sadece veri aktarımı için kullanılacağından dolayı AAL3/4 ve AAL5 hizmeti, her iki yönde veri aktarımı için gerekli tüm ihtiyaçları karşılar. AAL3/4 ve AAL5 hizmeti arasında ATM uyarlama katmanının bölümlendirme ve birleştirme alt katman işlevlerinde ve hücre yapılarında farklılıklar vardır. Şekil 3.13’de bir veri paketinin AAL3/4 hizmet sınıfına ait bir hücreye, Şekil 3.14’de ise bir veri paketinin AAL5 hizmet sınıfına ait bir hücreye dönüştürülme aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.13. ATM AAL3/4 Hücresinin Oluşması

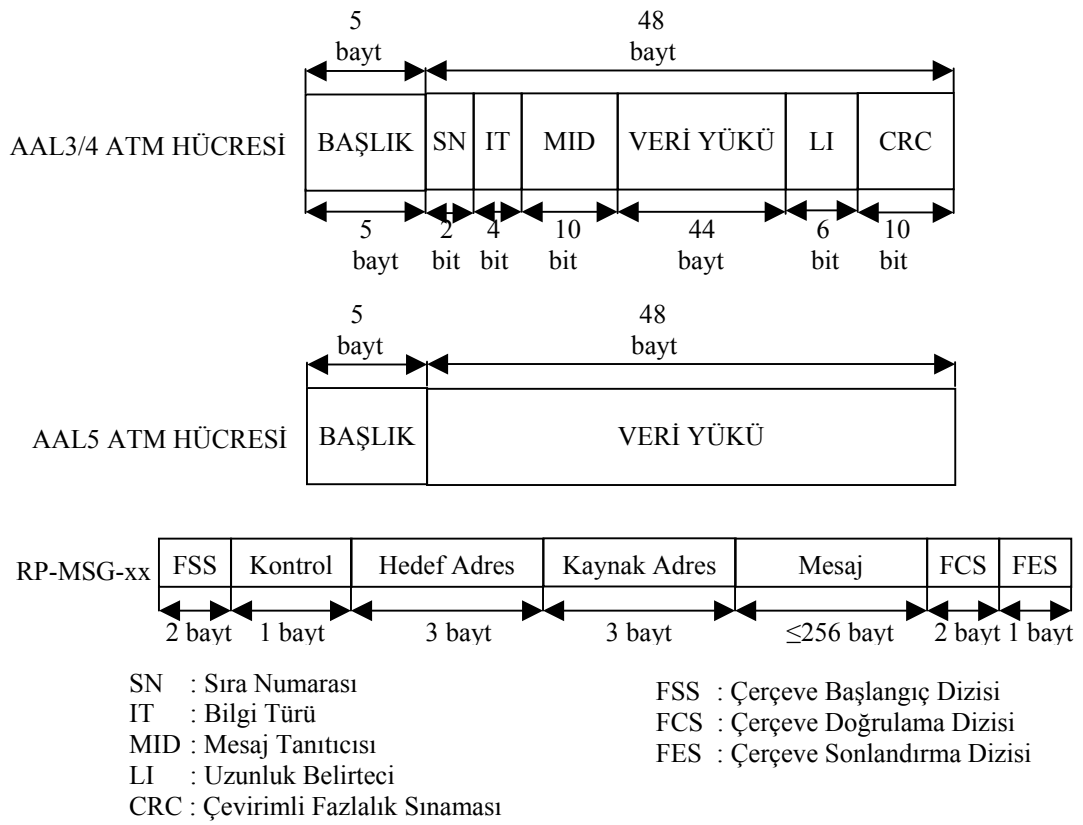
Şekil 3.13’de görüldüğü gibi AAL3/4 hizmet sınıfında hücre başlığında diğer hizmet sınıflarına göre herhangi bir değişiklik oluşmaz. Fakat kullanıcı bilgi alanındaki ham veri 48 bayttan 44 bayta düşer. WorldFIP mesaj çerçevelerinin uzunluğu 256 bayta kadar artabileceğinden dolayı, dilimleme katmanında çerçeveler 44 baytlık kısımlara ayrılarak ATM hücrelerine dönüştürülür.



Şekil 3.14. ATM AAL5 Hücresinin Oluşması

Şekil 3.14’den anlaşılacağı üzere, dönüşüm altkatmanı (CS-Convergence Sublayer) kullanıcı verisinin sonuna kuyruk bilgisi ekler. Daha sonra dilimleme ve birleştirme (SAR-Segmentation and Reassembly) altkatmanı birimi bu yeni kullanıcı verisini 48 baytlık parçalara ayırır. Bu 48 baytlık parçalar yeni oluşturulacak AAL5 hizmet sınıfı ATM hücresinin verisi olacaktır. Transmisyon çevirici (TC-Transmission Convergence) altkatmanı, hücre başlığında diğer hizmet sınıflarından farklı olarak 3 bitlik veri yükü türü (PT-Payload Type) bitleri kullanılarak “MORE” (DAHA) ve “LAST” (SON) belirteçleri tanımlamaları yapar [74]. Böylece 48 bayt veri alanlı hücreler hedef düğüme ulaştığında SAR altkatmanı hücrelerin birleştirilmesinde bu bilgiden faydalanır. Son hücre, tüm kullanıcı verisi hakkındaki kontrol bilgilerini içerir.

Köprü modeli, uyuşmayan hizmetlerin bulunduğu alanların yok edilmesi veya gerekli alanların tekrar düzenlenerek oluşturulması gibi en zor dönüşüm koşullarını gerçeklemektedir. Şekil 3.15’de ATM AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarına ait hücreler ve WorldFIP çerçeve yapısı görülmektedir.



Şekil 3.15. AAL3/4 ATM Hücre, AAL5 ATM Hücre ve WorldFIP Çerçeve

Köprü modelini etkileyen protokol özelliklerine ait diğer farklılıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- WorldFIP ve ATM protokolleri farklı öncelik mekanizmalarına sahiptir. WorldFIP paket önceliğine dayalı bir yöntem kullanırken, ATM tıkanma kontrolü için bir öncelik mekanizması kullanılır. Her iki yönde de transfer gerçekleştirilirken bu önceliklerin dikkate alınması gerekir. WorldFIP’de her çerçevenin başında bulunan FSS ve Kontrol bölümlerinin içerisinde bulunan PRE, FSD, CAD ve FED alanları, senkronizasyon bitlerini, çerçevelerin türünü belirleyen bitleri ve asenkron iletim isteğinde “acil” ve “normal” olmak üzere iki öncelik türü belirleyen bitleri içerir, tanımlar. ATM’de ise başlık bölümündeki hücre kayıp önceliği (CLP-Cell Loss Priority) alanı 1 bit uzunluğunda olup hücrenin kayıp önceliğini belirler. Konu ile ilgili detaylar Bölüm 2.4 ve Bölüm 2.5’de verilmiştir. Fakat WorldFIP ve ATM ağlara ait öncelik bilgileri birbirleri için bir anlam ifade etmemektedir.

- WordFIP ve ATM protokollerinde farklı yönlendirme algoritmaları kullanılır. WorldFIP bağlantısız bir metod kullanırken, ATM bağlantısız ve bağlantıya dayalı yönlendirme algoritmaları kullanmaktadır. Köprü tasarımının da bu farklılığında dikkate alınması gerekmektedir.
- WordFIP ve ATM protokollerinde farklı topolojiler ve ortam erişim teknikleri kullanılır. WorldFIP; Bus Arbitration yönetiminde üretici/tüketici (Producer/Consumer) yapıda periyodik zamanlarda değişken ve tanıtıcı değişimi vasıtası ile mesaj iletimi sağlayan bir ortam erişim tekniği ve bus topolojisi kullanır. Aperiodyk değişime de izin verir. ATM'de ise yıldız topolojiye dayalı merkezi ortam erişimli bir teknik kullanılmaktadır. Tasarlanacak köprünün bu farklı topoloji ve teknolojilerin temel ihtiyaçları karşılayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.
- WorldFIP çerçeve ve ATM hücre yapıları ve boyutları birbirinden farklıdır. Bölüm 2.4.3.6'da detaylandırıldığı ve Şekil 2.25'de görüldüğü gibi WorldFIP çerçevelerinin sabit/değişken uzunlukta ve veri alanlı/alansız gibi farklı yapılarıdır. WorldFIP çerçevesinde 12 bayt zorunlu alan ve en fazla 256 bayta kadar veri alanı varken, AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücrelerinde 9 bayt zorunlu alan ve 44 bayt ile sınırlı veri alanı bulunmaktadır. AAL5 hizmet sınıfı ATM hücrelerinde ise 5 bayt zorunlu alan ve 48 bayt ile sınırlı veri alanı vardır. WorldFIP çerçevelerinden, tanıtıcı ve değişken iletim isteği ve cevap çerçevelerinde herhangi bir hedef veya kaynak belirtici bir numara bulunmaz (Bkz. Şekil 2.25.-a, -b, -c, -e, -f). İstasyonlar bu çerçevelerin değişken bilgilerini içeren tanıtıcı bölümlerini kontrol ederek kendilerinin o andaki durumlarını ayarlar. Fakat mesaj çerçevelerinin kaynak ve hedef adresleri vardır (Bkz. Şekil 3.15). ATM hücrelerinin ise herhangi bir hedef veya kaynak belirtici bir numarası yoktur. Bunun yerine, kurulan bağlantı üzerinden anahtarlama işlemleri yapmak için sanal yol belirteci/sanal kanal belirteci (VPI-Virtual Path Identifier/VCI-Virtual Channel Identifier) alanları vardır. Bölüm 2.5.2'de detaylandırıldığı ve Şekil 3.15'de görüldüğü üzere ATM hücre yapısı sabit uzunlukta olduğundan dolayı bu birbirinden tamamen farklı iki sisteme ait çevre/hücre dönüşümlerinde bazı alanların elimine edilmesi,

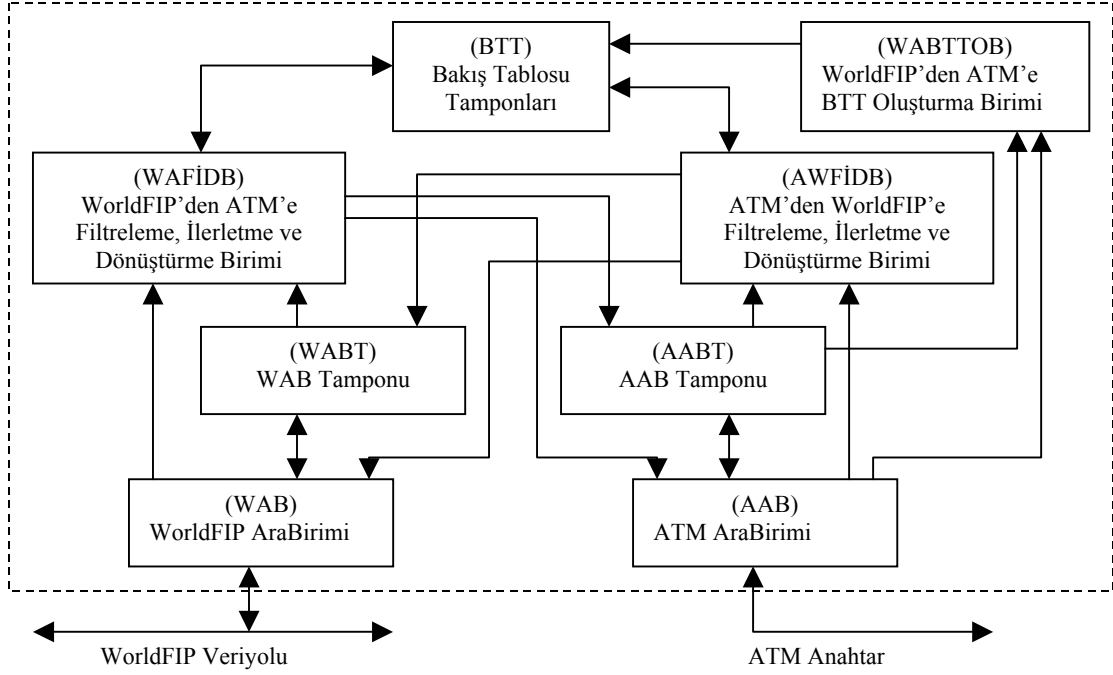
bazılarının dönüştürülmesi, bazılarında yeniden oluşturulması gerekmektedir.

WorldFIP çerçeveleri ve ATM hücreleri farklı uzunluk ve yapılarda olması, öncelik mekanizmalarındaki farklılıklar ve ayrıca protokollerin haberleşme mekanizmalarında köprünün mantıksal bağ kontrol altkatmanı (LLC-Logic Link Control) ve ortam erişim kontrol altkatmanı (MAC-Medium Access Control) seviyelerindeki tasarımını zorlaştıran diğer etkenlerdir. Bu uyumsuzluğu düzenleyecek işlemler veribağı katmanında (DLL-Data Link Layer) yapılacaktır.

Veribağı katmanı özelliklerinden olan bütün bu farklılıklar, IEEE802.1D köprüleme standardına göre iki farklı ağı birbirine bağlamak için kullanılan “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü (Transparent Translation Bridges)” cihazı tarafından kolaylıkla çözümlenebilir.

Bu noktada, tasarlanacak köprü çok farklı biçimlerde modellenebilir. Ancak, genel olarak yapılacak her WorldFIP/ATM Köprü modeli üzerinde karşılıklı yönlerde benzer işlevler gerçekleşecektir.

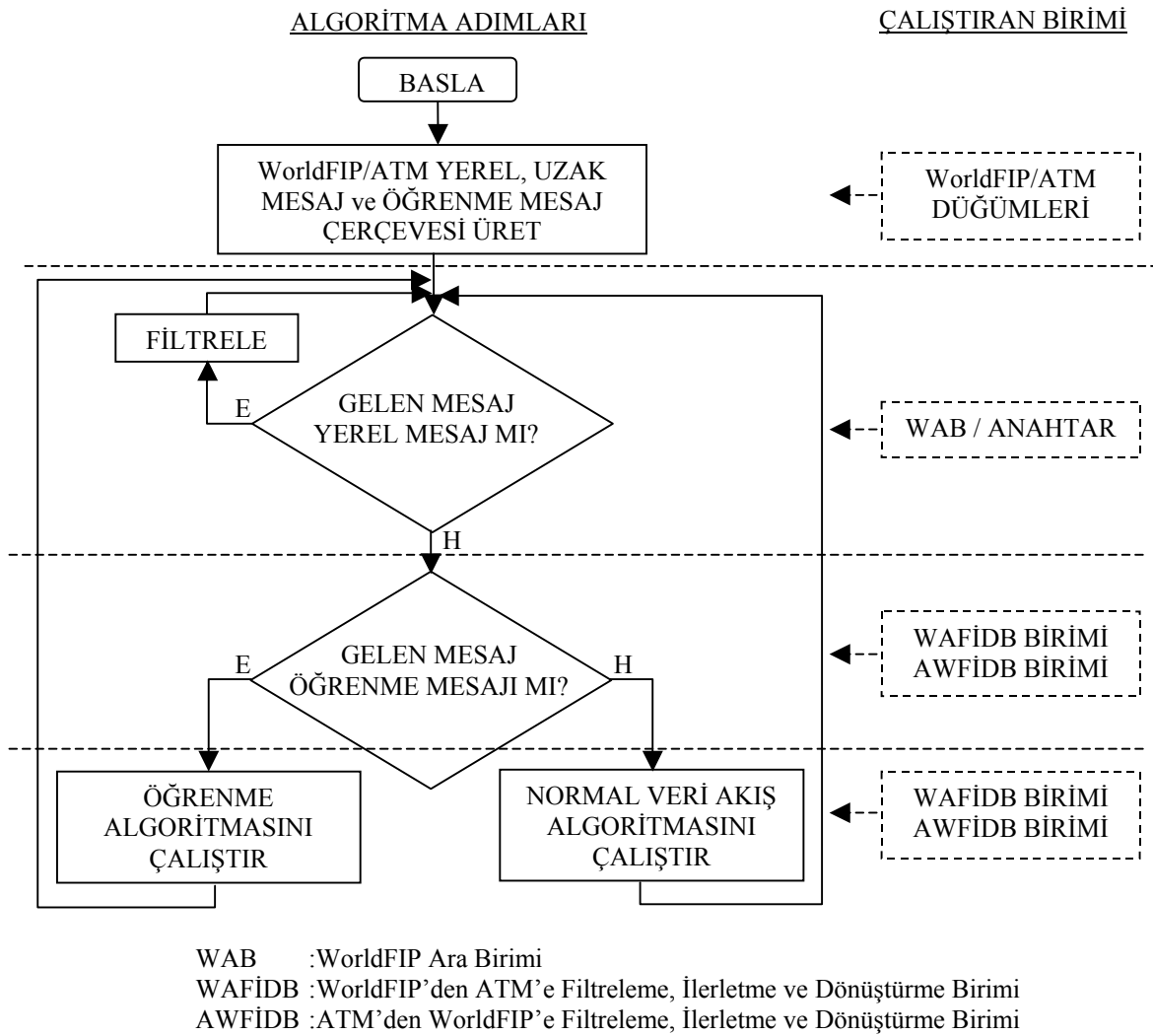
Köprü elemanları, onların görevleri ve birbirleri ile ilişkileri, işlevlerini yapabilmeleri için gereksinimleri Bölüm 3.4.2’de detaylandırılmıştır. Şekil 3.16’da WorldFIP/ATM Köprünün işlevsel blok şeması görülmektedir. Şekil 3.16’dan görüldüğü gibi köprü modeli, “WorldFIP AraBirimi (WAB)”, “ATM AraBirimi (AAB)”, “WorldFIP tarafından ATM tarafına Filtreleme, İlerletme, Dönüştürme Birimi (WAFIDB)” ve “Bakış Tablosu Tamponu (BTT)”, “ATM tarafından WorldFIP tarafına Filtreleme, İlerletme, Dönüştürme Birimi (AWFIDB)”, bilgilerin geçici olarak saklandığı tamponlar (AABT, WABT), “WorldFIP’den ATM’e Bakış Tablosunu Oluşturma Birimi (WABTTOB)” birimlerinden meydana gelmektedir. WorldFIP’ten ATM yönüne ve ATM’den WorldFIP yönüne çerçeve ve hücrelerin filtreleme, ilerletme ve dönüşüm işlemlerinden bazıları paralel, bazıları da sıralı bir mekanizma ile modellenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.16. WorldFIP/ATM Köprüsünün İşlevsel Blok Şeması

### 3.4.1. Köprü işlevlerinin modellenmesi

Köprüsünün her bir portu farklı protokollere, çerçeve/hücre yapılarına ve kabul/iletim mekanizmalarına sahiptir ve farklı işlevler gerçekleştirecektir. Şekil 3.17'de modellenecek sistemin genel çalışma akış şeması ve işlem birimleri görülmektedir. Bu birimlerden WorldFIP ve ATM ağına ait olanların modellenmesi Bölüm 3.2 ve Bölüm 3.3'de açıklanmıştır. Köprüye ait birimlerin görevleri ve algoritmaları ilerleyen bölümlerde detaylı olarak verilecektir.



Şekil 3.17. Modellenek Sistem Genel Çalışma Akış Şeması ve İşlem Birimleri

### 3.4.1.1. Çerçeve/Hücre'lerin kabulü ve iletimleri

Köprü için en önemli işlev, her iki port için çerçeve/hücre kabulleri ve iletimleridir. Çerçeve/hücre kabul ve iletimleri ile ilgili köprü işlevleri dört ana kısımda incelenebilir;

- Çerçevenin WorldFIP ağdan alınması (kabulü ve filtrelenmesi)
- Çerçevenin WorldFIP'den ATM'e iletilmesi (dönüştürülmesi)
- Hücrenin ATM ağdan alınması (kabulü ve filtrelenmesi)
- Hücrenin ATM'den WorldFIP'e iletilmesi (dönüştürülmesi)

Açıklamalar yapılırken WorldFIP tarafının ürettiği trafik için “çerçeve”, ATM tarafının ürettiği trafik için “hücre”, her iki ağın düğümlerinin kendi ağlarındaki düğümleri için ürettikleri trafik türüne “yerel”, diğer ağ düğümleri için ürettikleri trafik türüne “uzak” ifadeleri kullanılacaktır. Ağda üretilen uzak trafik, “veri” ve “öğrenme” mesajlarından oluşacağından, köprünün uzak trafikleri “normal veri akış algoritması” ve “öğrenme algoritması” algoritmaları ile değerlendirilecektir. Şekil 3.17’deki akış şemasında görüldüğü gibi sistemde üretilen yerel, uzak ve öğrenme mesaj trafikleri köprü girişlerinde kontrol edilir. Yerel trafikler köprüye alınmaz iken, uzak trafikler türüne göre öğrenme veya normal akış algoritmalarına göre işlenirler. Bu algoritmalar ileriki bölümlerde köprünün her bir portu için ayrı ayrı incelenecektir.

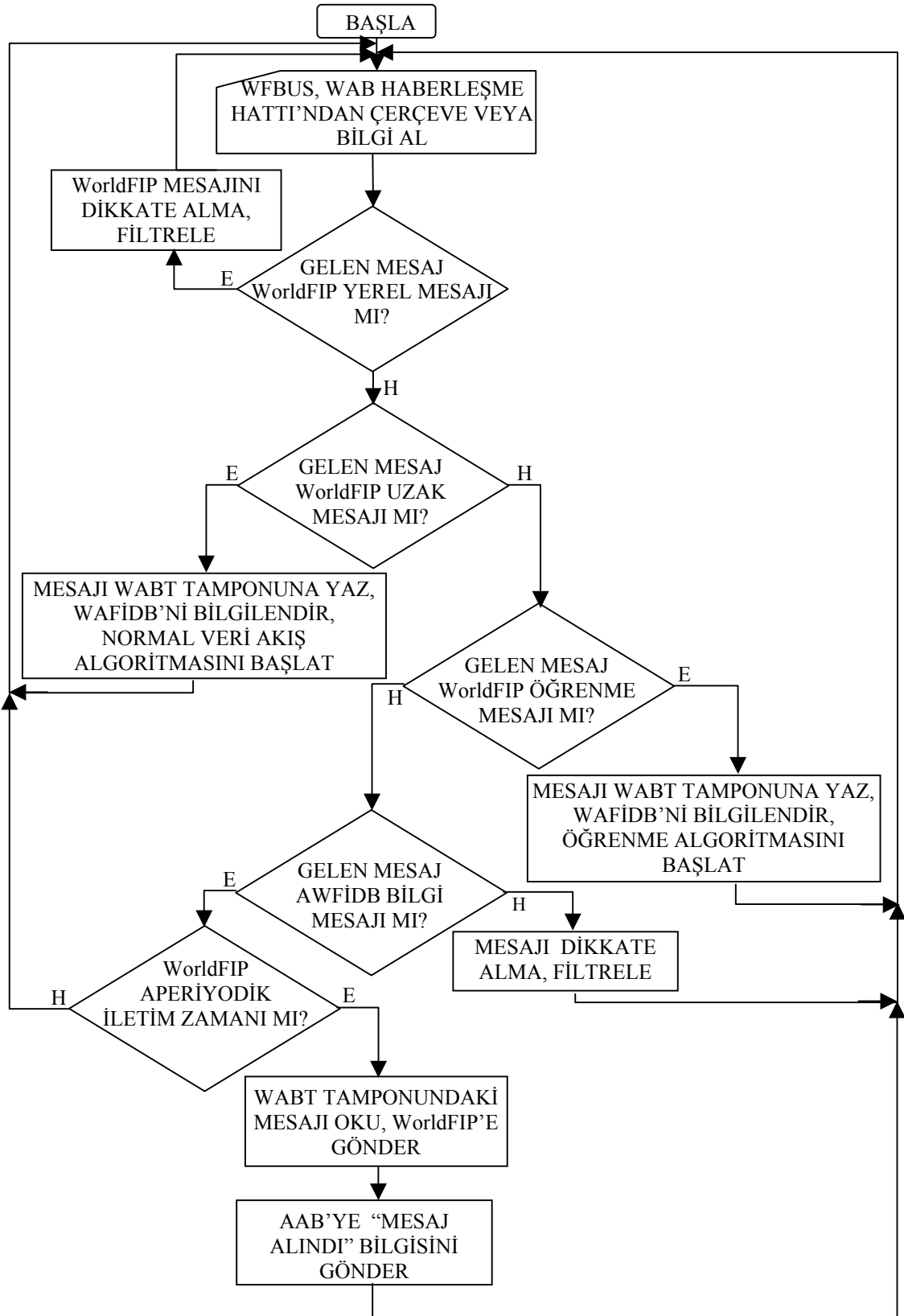
#### **3.4.1.1.1. WorldFIP çerçevelerinin kabulü ve WorldFIP çerçeve filtrelemesi**

WorldFIP tarafında çerçevelerin köprüye kabulü WAB tarafından gerçekleşir. Şekil 3.18’de WAB genel çalışma akış şeması görülmektedir.

WAB, uzak WorldFIP çerçevesini aldığı zaman WABT’na yazar ve WAFİDB’yi bilgilendirir. WAFİDB, köprü bakış tablosu veritabanını kullanarak filtreleme, ilerletme ve dönüştürme işlevlerini gerçekleştirmektedir. Köprü bakış tablosu veritabanının oluşturulması ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

Filtreleme işlevi, alınan çerçevenin bir sonraki birime ilerletilmesi veya atılması olarak tanımlanabilir. Eğer alınan çerçevenin hedef adres bilgileri köprü bakış tablosu veritabanındaki bilgiler ile uyuyorsa WAFİDB’de çerçeve üzerindeki yapılarda gerekli düzenlemeler yapılarak bir sonraki birim olan AAB’ne ilerletilir, aksi takdirde bilgiler uyuyuyorsa çerçeve atılır.





WAFİDB :WorldFIP'den ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi

AWFİDB :ATM'den WorldFIP'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi

AAB :ATM Ara Birimi

WFBUS :WorldFIP Ağı İletim Yolu

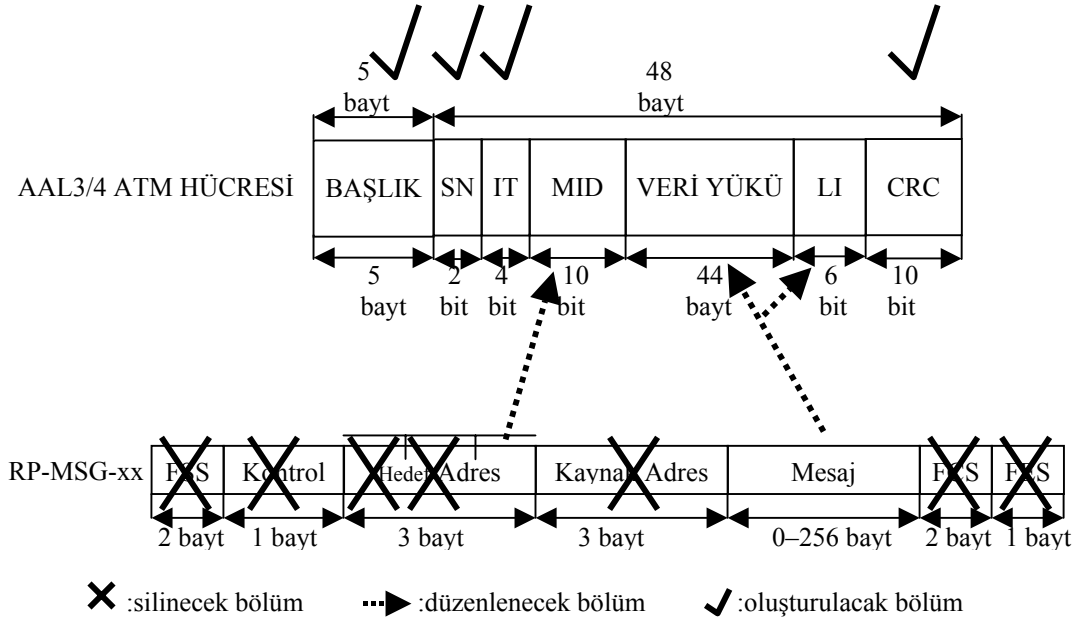
WAB :WorldFIP Ara Birimi

WABT :WorldFIP Ara Birimi Tampon Belleği

Şekil 3.18. WAB Genel Çalışma Akış Şeması

### 3.4.1.1.2. WorldFIP çerçeve yapısının AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülme düzenlemeleri

Şekil 3.19’da WorldFIP çerçeve yapısının AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler görülmektedir.



Şekil 3.19. WorldFIP Çerçevesinin AAL3/4 ATM Hücresinin Alanlarına Eşleştirilmesi

Dönüştürülme işleminde gerekli alanların eşleştirilerek düzenlenmesi için köprü tampon bellekleri ve bakış tablosu veritabanı kullanılır. Daha sonra yeni hücreler ATM ağa doğru ilerletilir. WorldFIP çerçeve yapısının AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler üç kısımda açıklanabilir;

- Çerçevenin gereksiz alanlarının atılması: WorldFIP çerçevesinin FCS, Kontrol, FCS ve FES alanları içerisindeki bilgiler ATM hücresi yapısı için gereksiz ve anlamsızdır. Dolayısıyla bu alanlar atılır (Bkz. Bölüm 2.4.3).
- Çerçevenin geçerli parçalarının düzenlenmesi: WorldFIP çerçevesinin kaynak adres, hedef adres, veri alanı uzunluğu ve veri alanları, yeni hücre yapısına göre düzenlenir.

Bu tasarımda, ATM ağına gönderilecek WorldFIP çerçeve, Bölüm 2.4.3.6'da detaylandırılan RP\_MSG\_XX çerçeve olduğundan en fazla 256 bayt uzunluğunda veri bulundurabilir. Bundan dolayı WAFIDB, Şekil 3.13'de görüldüğü gibi WorldFIP çerçeveyi 44 baytlık veri alanlarına parçalar ve AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısı içerisindeki LI alanını gerektiği biçimde düzenleyerek yeni AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücreler oluşturur.

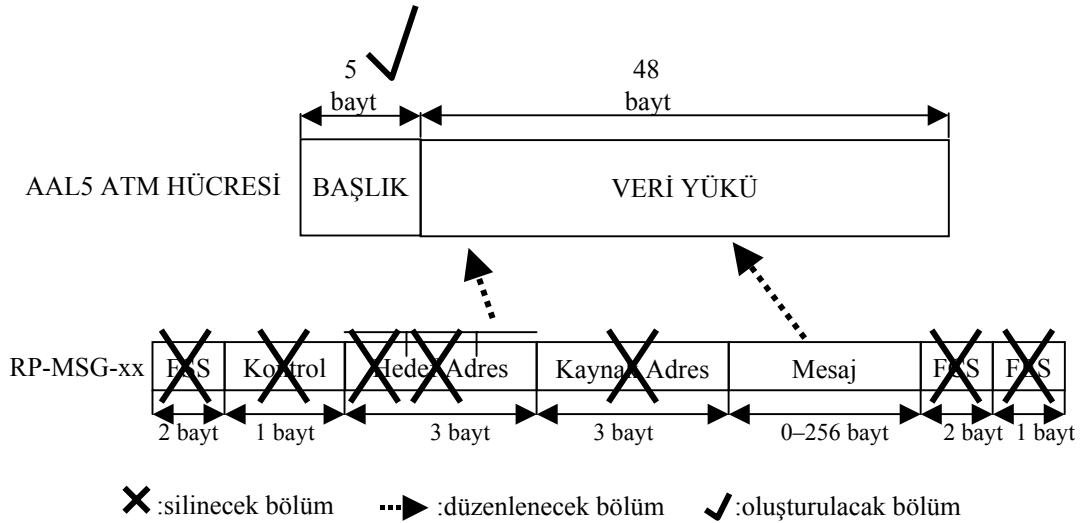
WorldFIP çerçevesinin kaynak adres, hedef adres uzunlukları 1 bayt bağlantı hizmet erişim noktası (L\_SAP-Link Service Access Point) adresi, 1 bayt fiziksel adres ve 1 bayt segment adres bilgileri olmak üzere toplam 3'er bayttan oluşur [99]. Halbuki AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısında kaynak ve hedef adres alanları yoktur. Bu alanlar düğümler ve anahtarlardaki hücre başlıklarında VPI/VCI numaraları ile ifade edilir. Köprüdeki veritabanı tablosu bu bağlantı numaralarına karşılık gelen kaynak ve hedef adresleri kayıtlı tutar ve böylece iki taraf arasında sağlıklı iletişimi sağlar. Modelde WorldFIP ağın bir segmentten oluştuğu varsayıldığından segment adres ve L\_SAP bilgilerinin diğer taraf için önemi yoktur. Dolayısıyla WorldFIP çerçevesinin hedef adres bilgisini oluşturan 1 bayt (8 bit) hedef fiziksel adresi, AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısındaki 10 bitlik MID kısmına yerleştirilerek bir düzenleme yapılmıştır.

- Yeni parçaların eklenmesi: Bölüm 2.5.2'de detayları verilen AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısındaki hücre başlığı, SN, IT ve CRC alanlarına ait gerekli bilgiler WorldFIP çerçevesi yapısında bulunmaz. Bu alanlar AAB tarafından yeniden hesaplanarak yeni oluşturulan hücre yapısına eklenir.

#### **3.4.1.1.3. WorldFIP çerçeve yapısının AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülme düzenlemeleri**

Şekil 3.20'de WorldFIP çerçeve yapısının AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler görülmektedir. Dönüştürülme işlemi için gerekli alanların eşleştirilerek düzenlenmesi için köprü tampon bellekleri ve bakış tablosu veritabanı kullanılır. Daha sonra yeni hücreler ATM ağına doğru iletilir.

WorldFIP çerçeve yapısının AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler üç kısımda açıklanabilir;



Şekil 3.20. WorldFIP Çerçevenin AAL5 ATM Hücresinin Alanlarına Eşleştirilmesi

- Çerçevenin gereksiz alanlarının atılması: WorldFIP çerçevesinin FSS, Kontrol, FCS ve FES alanları içerisindeki bilgiler ATM hücresi yapısı için gereksiz ve anlamsızdır. Dolayısıyla bu alanlar atılır (Bkz. Bölüm 2.4.3).
- Çerçevenin geçerli parçalarının düzenlenmesi: WorldFIP çerçevesinin kaynak adres, hedef adres, veri alanı uzunluğu ve veri alanları yeni hücre yapısına göre düzenlenir.

Bu tasarımda, ATM ağına gönderilecek WorldFIP çerçeve, Bölüm 2.4.3.6’da detaylandırılan RP\_MSG\_XX çerçeve olduğundan en fazla 256 bayt uzunluğunda veri bulundurabilir. Bundan dolayı WAFIDB önce, WorldFIP çerçevesinin veri alanının başına WorldFIP’in 1 baytlık hedef adresini yerleştirilir. Daha sonra Şekil 3.14’de görüldüğü gibi kuyruk bilgilerini eklendikten sonra yeni oluşan veri yükü alanını 48 baytlık veri alanlarına parçalar. Son olarak ATM hücre başlığı içerisindeki PT alanı düzenlenerek yeni AAL5 hizmet sınıfı ATM hücrelerini oluşturur.

WorldFIP çerçevesinin kaynak adres, hedef adres uzunlukları 1 bayt L\_SAP, 1 bayt fiziksel adres ve 1 bayt segment adres bilgileri olmak üzere, toplam

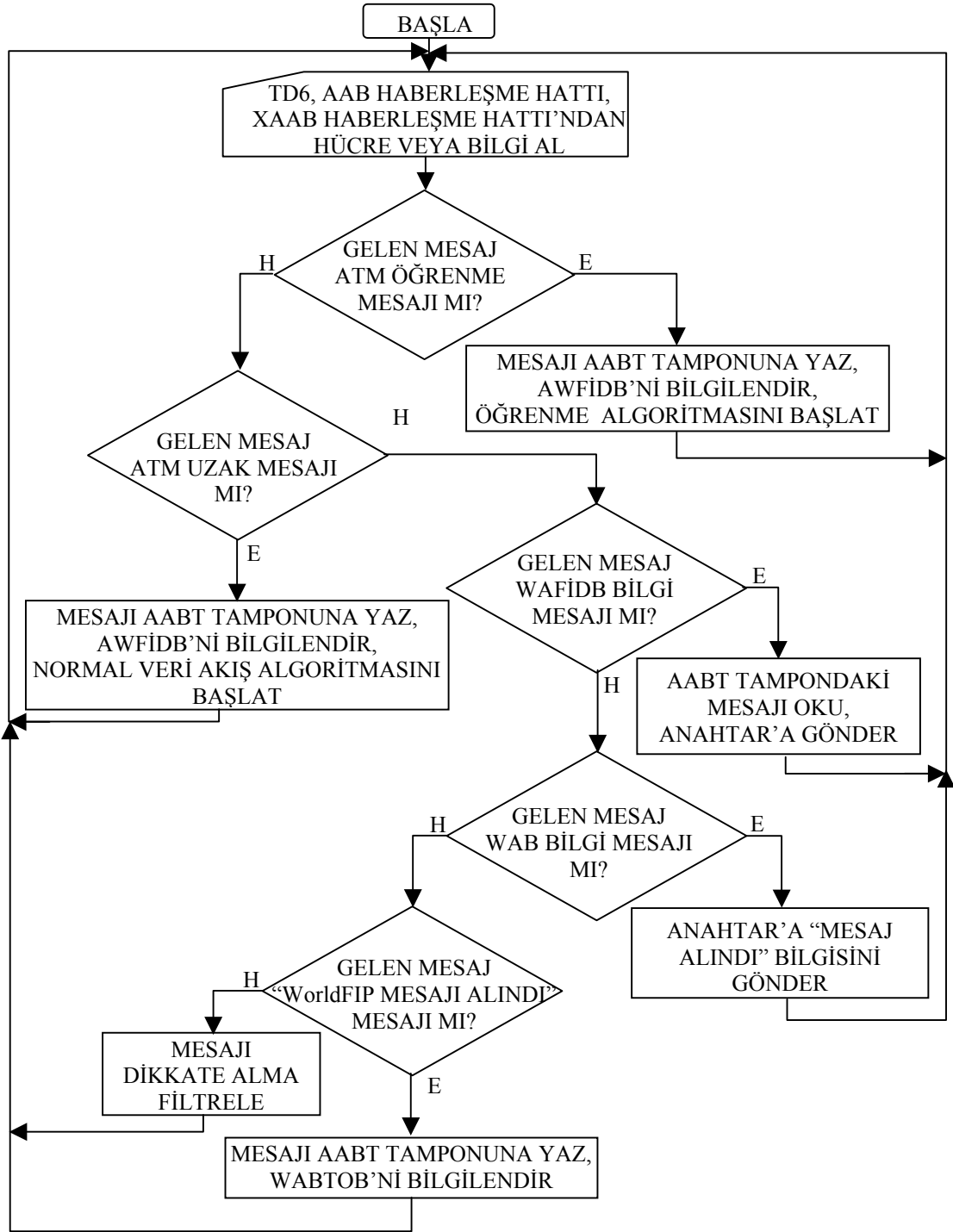
3'er bayttan oluşur [99]. Halbuki AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısında kaynak ve hedef adres alanları yoktur. Bu alanlar düğümler ve anahtarlardaki hücre başlıklarında VPI/VCI numaraları ile ifade edilir. Köprüdeki veritabanı tablosu bu bağlantı numaralarına karşılık gelen kaynak ve hedef adresleri kayıtlı tutar ve böylece iki taraf arasında sağlıklı iletişimi sağlar. Modelde WorldFIP ağı bir segmentten oluştuğu varsayıldığından segment adres ve L\_SAP bilgilerinin diğer taraf için bir önemi yoktur.

- Yeni parçaların eklenmesi: Bölüm 2.5.2'de detayları verilen AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısındaki hücre başlığı alanına ait gerekli bilgiler WorldFIP çerçevesi yapısında bulunmaz. Bu alanlar AAB tarafından yeniden hesaplanarak yeni oluşturulan hücre yapısına eklenir.

#### **3.4.1.1.4. ATM hücrelerinin kabulü ve ATM hücre filtrelemesi**

ATM tarafında hücrelerin kabulünü AAB gerçekleştirir. Şekil 3.21'de AAB genel çalışma akış şeması görülmektedir. AAB, uzak ATM hücreleri aldığı zaman AABT'na yazar ve AWFİDB'ni bilgilendirir. AWFİDB ilerletme ve dönüştürme işlevlerini gerçekleştirir, WAFİDB'deki gibi filtreleme işlevi görevi yoktur. Çünkü ATM anahtar, bünyesinde oluşturduğu bağlantı tablosu sayesinde köprü içinde ayrı bir köprü bakış tablosu veritabanı oluşturulmasını gerektirmez, filtreleme anahtar tarafından yapılır. Anahtarın bağlantı tablosunun oluşturulması ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

AWFİDB alınan hücrenin gerekli bilgilerini köprü bakış tablosu veritabanındaki gerekli bilgiler ile değerlendirerek hücre üzerindeki yapılarda gerekli düzenlemeler yaparak bir sonraki birim olan WAB'ne ilerletilir.

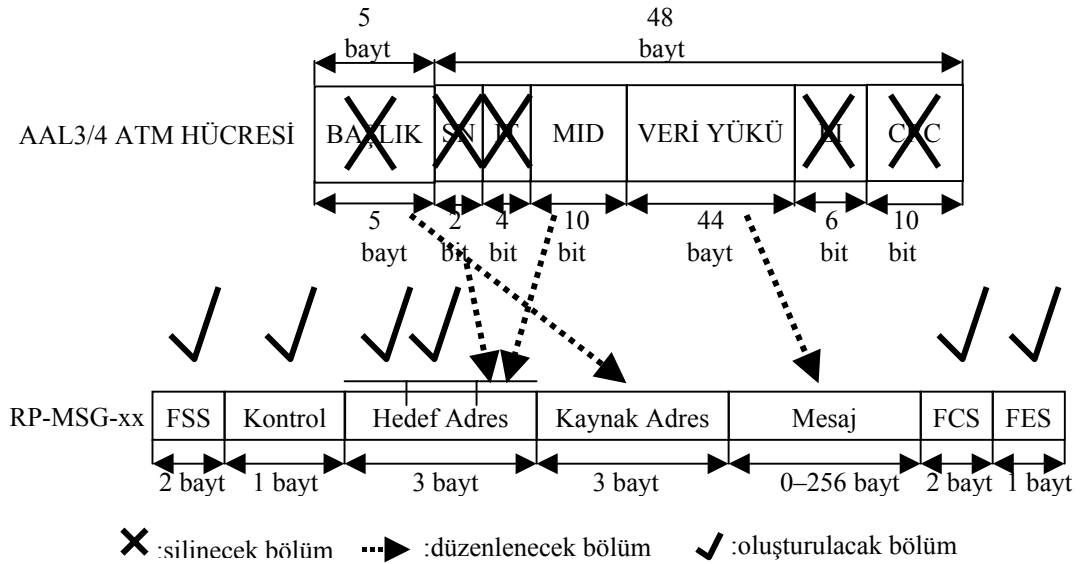


TD6 : Anahtar-AAB Veri Hattı  
 XAAB : WAB-ATM Haberleşme Hattı  
 AABT : ATM Ara Birim Tampon Belleği  
 AWFİDB : ATM'den WorldFIP'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
 WAFİDB : WorldFIP'den ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
 AAB : ATM Ara Birimi  
 WAB : WorldFIP Ara Birimi

Şekil 3.21. AAB Genel Çalışma Akış Şeması

### 3.4.1.1.5. AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülme düzenlemeleri

Şekil 3.22’de AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler görülmektedir.



Şekil 3.22. AAL3/4 ATM Hücresinin WorldFIP Çerçevenin Alanlarına Eşleştirilmesi

Dönüştürülme işleminde gerekli alanların eşleştirilerek düzenlenmesi için köprü tampon bellekleri ve bakış tablosu veritabanı kullanılır. Daha sonra yeni çerçeveler WorldFIP’e doğru ilerletilir. AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler üç kısımda açıklanabilir;

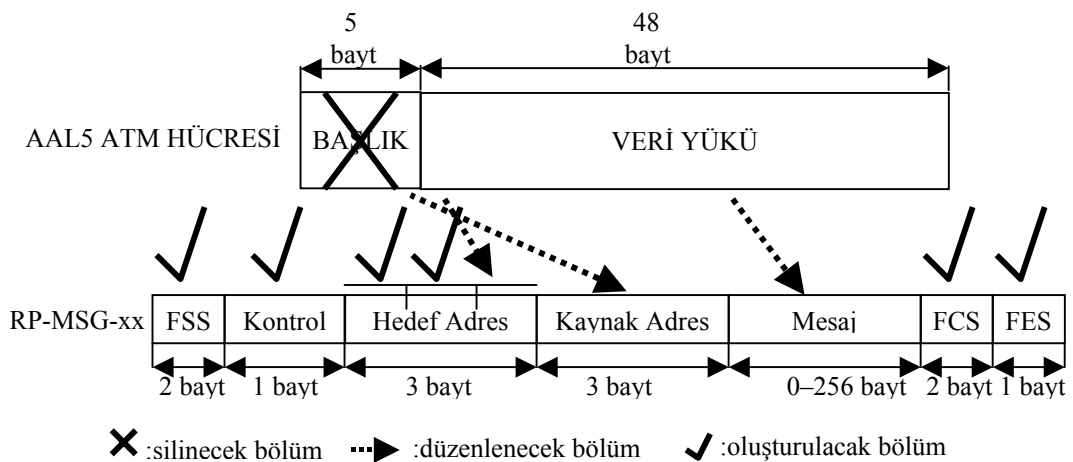
- Hücresinin gereksiz alanlarının atılması: Bölüm 2.5.2’de detayları verilen AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısındaki hücre başlığı içerisindeki bağlantı bilgileri dışındaki bilgiler, SN, IT, LI ve CRC alanları içerisindeki bilgiler, WorldFIP çerçeve yapısı için gereksiz ve anlamsızdır. Dolayısı ile bu alanlar atılır.
- Hücresinin geçerli parçalarının düzenlenmesi: AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücresinin hücre başlığı içerisindeki bağlantı bilgileri, MID ve veri alanları yeni hücre yapısına göre düzenlenir.

AWFIDB önce, WorldFIP çerçeve yapısının hedef ve kaynak adreslerini, AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre bağlantı numaraları ve MID alanı bilgilerini köprü bakış tablosu veritabanı bilgileri ile birlikte değerlendirilerek yeni WorldFIP çerçeve başlığını düzenleyerek oluşturur. Sonra, AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre veri alanı aynen WorldFIP çerçevesi yapısı içerisindeki veri alanına taşır. Böylece 44 bayt veri alanlı WorldFIP çerçeveleri oluşturulmuş olur.

- Yeni parçaların eklenmesi: WorldFIP çerçeve yapısındaki, detayları Bölüm 2.4.3’de verilmiş olan diğer gerekli FSS, Kontrol, FCS ve FES alanları AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücre yapısında bulunmaz. Bu alanlar WAB tarafından yeniden hesaplanarak yeni oluşturulan çerçeve yapısına eklenir.

#### 3.4.1.1.6. AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülme düzenlemeleri

Şekil 3.23’de AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler görülmektedir. Dönüştürülme işleminde gerekli alanların eşleştirilerek düzenlenmesi için köprü tampon bellekleri ve bakış tablosu veritabanı kullanılır. Daha sonra yeni çerçeveler WorldFIP’e doğru ilerletilir. AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısının WorldFIP çerçeve yapısına dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler üç kısımda açıklanabilir;



Şekil 3.23. AAL5 ATM Hücresinin WorldFIP Çerçevesinin Alanlarına Eşleştirilmesi



- Hücrenin gereksiz alanlarının atılması: Bölüm 2.5.2’de detayları verilen AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre yapısındaki hücre başlığı içerisindeki bağlantı bilgileri dışındaki bilgiler WorldFIP çerçeve yapısı için gereksiz ve anlamsızdır. Dolayısı ile bu alanlar atılır.
- Hücrenin geçerli parçalarının düzenlenmesi: AAL5 hizmet sınıfı ATM hücresinin hücre başlığı içerisindeki bağlantı bilgileri, hücrenin veri alanı 1. baytında bulunan adres bilgisi ve veri alanları yeni hücre yapısına göre düzenlenir.

AWFIDB önce, WorldFIP çerçeve yapısının hedef ve kaynak adreslerini, AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre bağlantı numaralarını ve hücrenin veri alanı 1. baytında bulunan adres bilgisini köprü veritabanı bilgileri ile birlikte değerlendirilerek yeni WorldFIP çerçeve başlığını düzenleyerek oluşturur. Sonra, AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre veri alanını aynen WorldFIP çerçevesi yapısı içerisindeki veri alanına taşır. Böylece 48 bayt veri alanlı WorldFIP çerçeveleri oluşturulmuş olur.

- Yeni parçaların eklenmesi: WorldFIP çerçeve içerisindeki, detayları Bölüm 2.4.3’de verilmiş olan diğer gerekli FSS, Kontrol, FCS ve FES alanları AAL5 hizmet sınıfı ATM hücre içerisinde bulunmaz. Bu alanlar WAB tarafından yeniden hesaplanarak yeni oluşturulan çerçeve yapısına eklenir.

#### **3.4.1.2. Öğrenme ve normal veri akış algoritmaları ile köprü bakış tablosu veritabanının oluşturulması ve kullanılması**

Köprü, her iki portuna bağlanan sistemleri birbirine bağlamak ve iki taraflı haberleşmeyi sağlamakla görevlidir. Bu işlevini içerisindeki köprü bakış tablosu veritabanındaki bilgileri değerlendirilerek yapar. Köprü bakış tablosu veritabanı “BT, Bakış Tablosu-Look up Table” olarak adlandırılır. Tabloda, her iki taraftaki ağ düğümlerine ait adresler ve bağlantı bilgileri mevcuttur.

Köprülenmiş ağlarda bakış tablosunu oluşturmak için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi, bakış tablosunu daha önceden belirleyip kayıtları sabit bir bellekte tutmaktır. Bu statik yaklaşım, köprülenmiş ağın sistemdeki hareketleri (düğümün eklenmesi veya çıkartılması) kontrol edememe ve tanıyamama dezavantajlarına sahiptir. Bir başka yöntem, köprünün öğrenme ve normal veri akış algoritmaları sistem çalıştığı sürece aktif tutmak ve bakış tablosunun dinamik olarak oluşturulmasını ve güncellenmesini sağlamaktır. Bu tez çalışmasındaki tasarımda ikinci yaklaşım kullanılmıştır. Köprü zaman içerisinde, birbiriyle bağlantısı bulunan tüm düğümlerin adreslerini öğrenir. Bu işlem, IEEE802.1D standardı olan “spanning tree” algoritması ile gerçekleştirilir.

Sistem yeni çalışmaya başladığında bu tablo boştur. Tablonun oluşturulması süreci bu çalışmada “Öğrenme Algoritması” olarak isimlendirilmiştir. Oluşturulan tablo kullanılarak, iletme veya filtreleme işlevini gerçekleştirilmesi süreci de “Normal Veri Akış Algoritması” olarak isimlendirilmiştir (Bkz. Şekil 3.17). Bu süreçler her bir port yönünde farklı işlevler içermekte olup dört ayrı alt bölümde açıklanacaktır.

- Öğrenme algoritması ve köprünün WorldFIP tarafı için köprü bakış tablosu veritabanının oluşturulması,
- Öğrenme algoritması ve köprünün ATM tarafı için anahtar üzerinde veritabanı tablosunun oluşturulması,
- Normal veri akış algoritması ve köprünün WorldFIP tarafı için bakış tablosu veritabanının kullanılması,
- Normal veri akış algoritması ve köprünün ATM tarafı için veritabanı tablosunun kullanılması.

Her iki yöndeki öğrenme algoritmaları sistem devreye alındığında çalışmaya başlarlar. Burada amaç bakış tablosu oluşturmak ve böylece köprünün filtreleme, iletme ve dönüştürme işlemleri gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Sistemin çalışması süresince her bir ağa eklenebilecek yeni düğümler veya ağdan çıkartılacak düğümlerin durumları BT’a güncellenebilmesi için bu öğrenme algoritmaları belirli periyotlarla sürekli bir düzen içinde çalıştırılırlar. Bu algoritmaların çalışabilmeleri

için her bir ağ sistemi düğümleri hem kendi ağ düğümlerine “yerel”, hem de diğer ağ düğümlerine “uzak” mesajlar üretmeleri gerekmektedir.

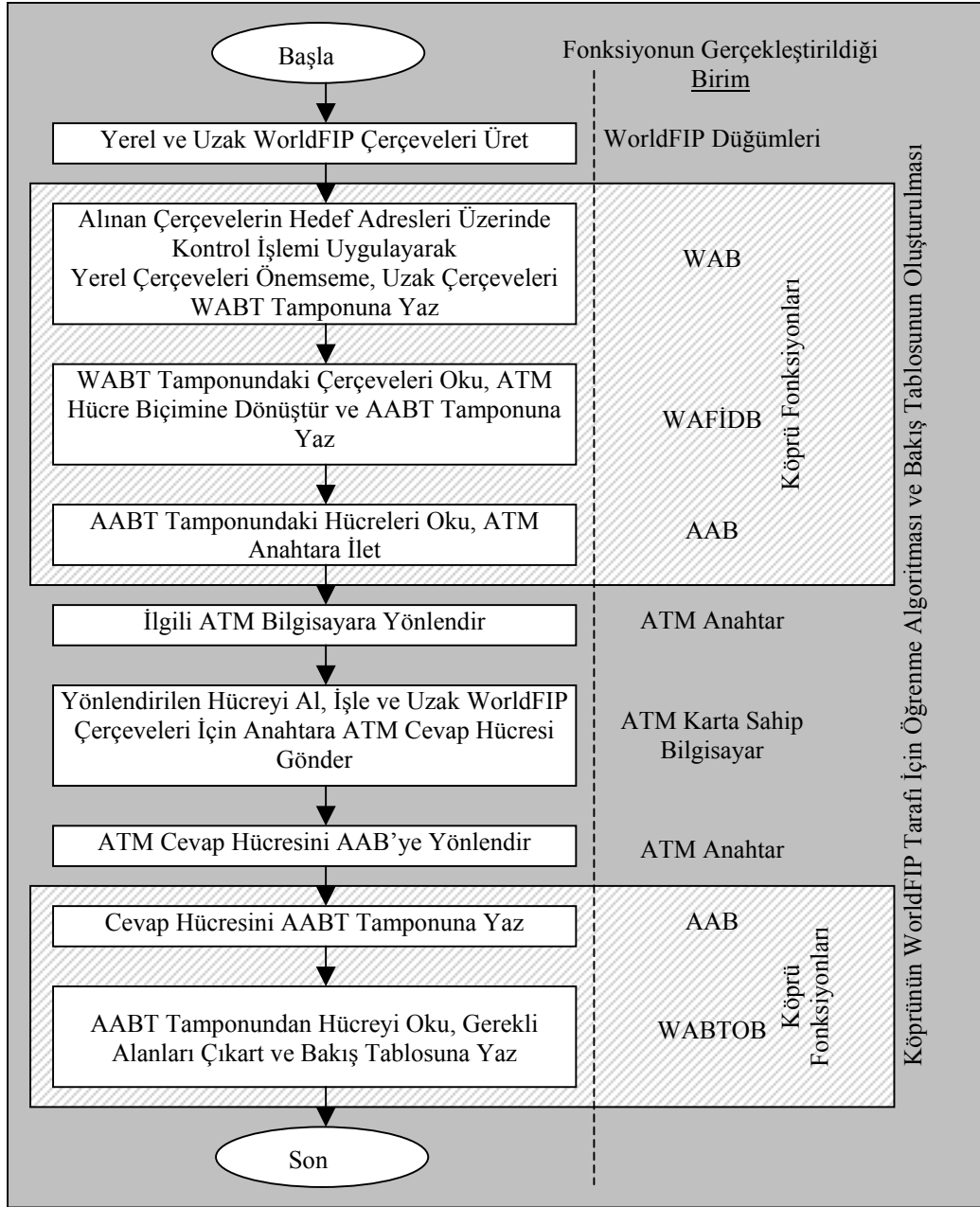
#### **3.4.1.2.1. Öğrenme algoritması, akış şeması ve köprünün WorldFIP tarafı için bakış tablosu veritabanının oluşturulması**

Köprü, sistem ilk devreye alındığında, WorldFIP ağdan ATM ağa gönderilen mesajların hangi ATM düğümü tarafından alacağına dair herhangi bir bilgi içermez. Bu yüzden köprü, hem WorldFIP tarafından alınan paketlerin kaynak adresine hem de ATM ağında bu paketin sahip olduğu VPI/VCI numaralarını içeren bir bakış tablosu ihtiyaç duyar. Bölüm 3.4.1.1.2 ve Bölüm 3.4.1.1.3’deki WorldFIP’den ATM’e çerçeve-hücre dönüşümleri incelenirse; AAL3/4 sınıfı için, WorldFIP çerçevelerinin kaynak adresi AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücrenin çoğullama tanıtıcı alanı (MID) ile eşleştirilmiş, AAL5 için ise WorldFIP çerçevelerinin kaynak adresi AAL5 hizmet sınıfı ATM hücrenin veri alanı 1. baytına yerleştirilmiştir.

Köprü, bakış tablosunun oluşturulması için gerekli öğrenme algoritmasını Şekil 3.24’de verilen akış şemasına göre gerçekleştirir. Öğrenme algoritmasından sonra WorldFIP’den ATM’e Şekil 3.27’deki normal veri akış algoritması kolaylıkla gerçekleşir.

WorldFIP ağdan ATM ağa öğrenme algoritması işletilirken, WorldFIP düğümlerinden ilgili ATM düğümüne Bölüm 2.4.3.6’da detaylandırılan mesaj veri alansız, toplam 13 baytlık RP\_MSG\_XX çerçevesi belirli periyotlarda öğrenme mesajları olarak iletilir. Öğrenme çerçevesi tanıtıcısı modelde O1, O2, O3, O4, O5 etiketleri ile tanımlanmıştır ve kabullü mesaj iletimi yöntemi ile iletilir. Kabullü mesaj iletiminde, mesaj hedefe vardığında kaynak düğüme (BA’ya) kabul çerçevesi döner, iletim garanti edilir. Bu iletimin detayları Bölüm 2.4.3.5’de verilmiştir.

WorldFIP Arabirimi (WAB), WorldFIP ağdaki tüm mesajları alarak köprüye geçirmeden önce burada filtreleme yapar. WAB, eğer gelen mesaj yerel hedef adreslere sahipse bu tür mesajları önemsemez ve WABT’ye yazmaz. Böylece WABT hafızasının gereksiz kullanımı önlenir.



WAFİDB :WorldFIP'ten ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
WABTOB :WorldFIP'ten ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi  
WAB :WorldFIP Ara Birimi      WABT :WorldFIP Ara Birimi Tampon Belleği  
AAB :ATM Ara Birimi      AABT :ATM Ara Birimi Tampon Belleği

Şekil 3.24. Öğrenme Algoritması ve Köprünün WorldFIP Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Oluşturulması

Bu tür mesajlar dışındaki tüm uzak mesajlar ve öğrenme mesajları alınarak WABT'e yazılır. WAB, öğrenme algoritmasında değişken tanıtıcısını aldıktan sonra tüketici (consumer) durumda iken, bu 13 baytlık RP\_MSG\_XX öğrenme çerçevesini alır.

Boyutlarından öğrenme mesajı olduğu anlayarak WAFİDB'nin işleyebilmesi için önce WABT'na yazar, sonra WAFİDB'ye bir kontrol bilgi mesajı iletir.

WAFİDB birimi, WAB'ta kendisine gelen kontrol/bilgilendirme sinyalini aldığı anda WABT'e yazılmış mesajı okuyarak bakış tablosu ile kontrol edileceğini ve filtreleme veya dönüştürülüp ilerletme işlemlerinden gerekeni yapacağını bilir. WABFİDB, WABT'dan okuduğu mesajın öğrenme mesajı olduğunu tespit ettiğinde BT ile kontrol yapmadan Bölüm 3.4.1.1.2 ve Bölüm 3.4.1.1.3'de anlatıldığı gibi direk dönüştürme ve ilerletme işlemlerini gerçekleştirir. Oluşturulan bu hücreyi AABT Tamponuna yazar ve AAB'yi bilgilendirerek bir sonraki birime iletir.

AAB, AABT Tamponuna yazılan hücreyi ATM ağdaki hedef bilgisayara yönlendirilmek üzere ATM anahtara iletir.

ATM anahtar, kendisine gelen ATM hücre biçimindeki WorldFIP öğrenme mesajının hedef bilgilerini değerlendirerek hücreyi ilgili düğüme iletir.

ATM düğümler, öğrenme algoritması boyunca gelen AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücresinin MID alanını kontrol ederler. Gelen ATM hücre AAL5 hizmet sınıfına ait ise veri alanının 1. baytı kontrol edilir. Eğer kontrol edilen bilgi değeri bilinen bir değer olarak bulursa hücreyi alır ve ATM anahtar vasıtasıyla köprüye bir cevap hücresi gönderilir.

WorldFIP ağ, öğrenmede kabullü veri iletimi yöntemi kullanıldığından AAB, ATM anahtar vasıtası ile aldığı cevap hücrelerini AWBFİDB ve WAB üzerinden BA'ya kabul çerçevesi olarak ilerletir. AAB aynı zamanda cevap hücresi hakkındaki bir bilgiyi WABTTOB birimine de iletir. WABTTOB aldığı cevap hücrenin AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücresi ise MID alanı içerisindeki, AAL5 hizmet sınıfı ATM hücresi ise veri alanının 1. baytı içerisindeki WorldFIP'in kaynak adreslerini ve bu hücreye ait VPI/VCI numaralarını bakış tablosuna kaydeder. Böylece BTT'su oluşturulur. Oluşturulan BTT'ler daha sonra normal veri akış algoritması sırasında WAFİDB tarafından taranarak kullanılacaktır.

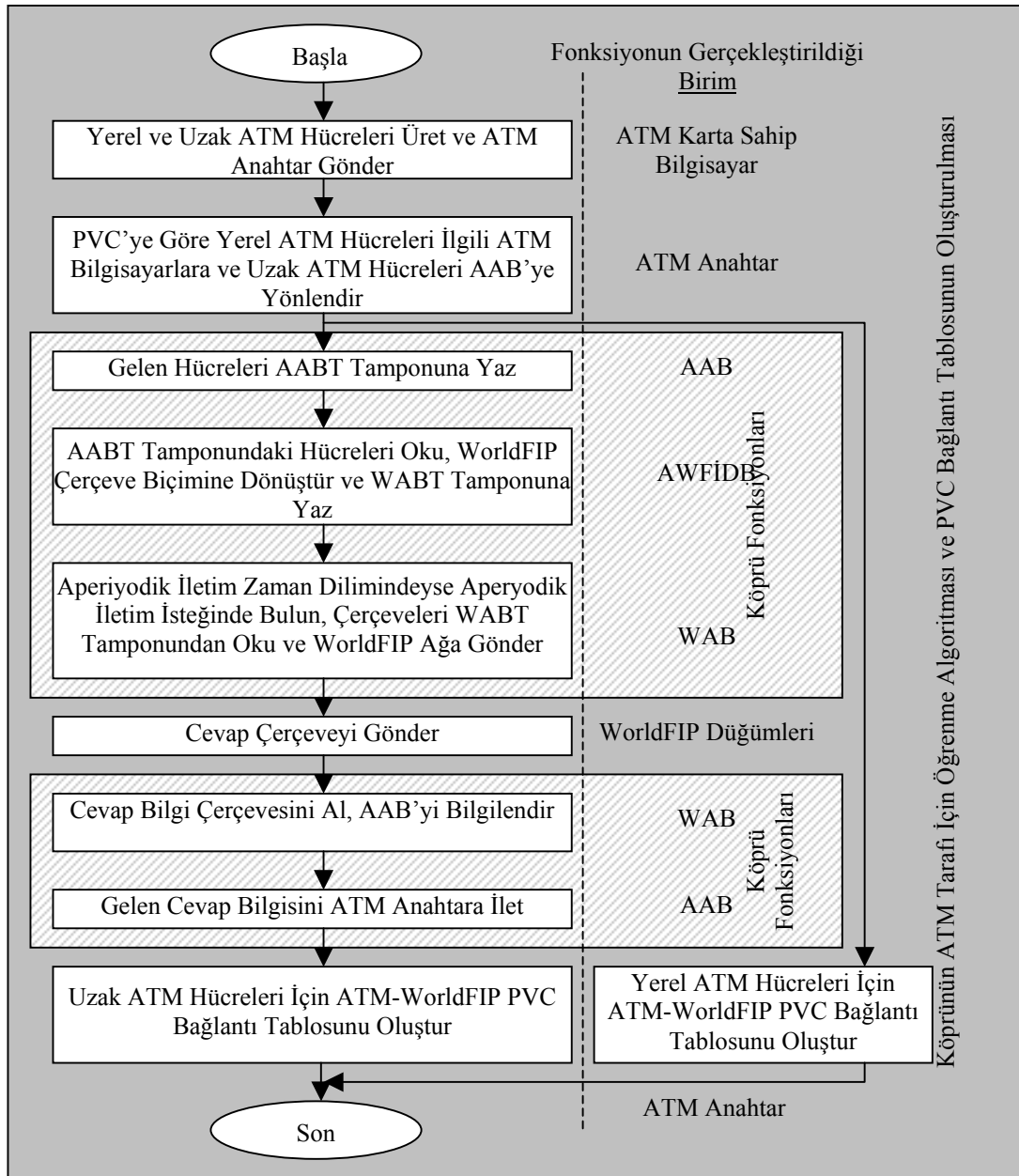
### 3.4.1.2.2. Öğrenme algoritması, akış şeması ve köprünün ATM tarafı için anahtar üzerinde veritabanı tablosunun oluşturulması

ATM ağdan WorldFIP ağı öğrenme algoritmasında köprü üzerinde bakış tablosu oluşturulmaz. Çünkü, ATM ağında Kalıcı Sanal Devre (PVC-Permanent Virtual Circuit) bağlantısı yöntemi kullanıldığı varsayılmıştır. Buna göre, ATM düğümlerinin hangi ATM düğümü ya da hangi WorldFIP düğümü ile haberleşeceği başlangıçta tanımlanır. Bu tanımlamalar sayesinde, öğrenme algoritması ATM anahtar üzerindeki her bir çıkış için gerekli VPI/VCI değerlerini işaretleme protokolleri vasıtasıyla belirler. Dolayısıyla, normal veri akış algoritmasında ATM anahtara gelen yerel ATM hücreleri köprü içerisine girmeden filtrelenmiş olur. ATM anahtarda yapılan bu filtreleme, köprü içerisinde ATM tarafından WorldFIP tarafına bir bakış tablosu ihtiyacını ortadan kaldırır.

ATM ağdan WorldFIP ağı öğrenme algoritması Şekil 3.25’de verilen akış şemasına göre daha sonra ise ATM’den WorldFIP’e Şekil 3.28’deki normal veri akış algoritmasına göre gerçekleşir.

Sistem çalışmaya başladığında ATM ağdaki her bir düğüm, ATM anahtara hem yerel, hem uzak ATM hücreleri gönderir. Anahtar tarafından alınan her bir hücre, ilgili düğüm veya birime yönlendirilir. Bu yönlendirme, yerel ATM hücrelerin ATM ağdaki düğümlere, uzak ATM hücrelerin de köprü içerisindeki AAB’ye gönderilmesi şeklinde yapılır. ATM düğümler aldıkları yerel hücrelere karşılık cevap hücreleri gönderirler. Anahtar aldığı bu cevap hücrelerine bağlı olarak gerekli bağlantı bilgilerini PVC bağlantı tablosuna yazarak ATM hücreleri için öğrenme akış algoritmasını tamamlar.

AAB, ATM Anahtar tarafından gönderilen tüm uzak ATM hücrelerini alır ve önce AAB Tamponuna (AABT) kaydeder, sonra da AWFIDB’e kontrol/bilgi sinyali iletir.



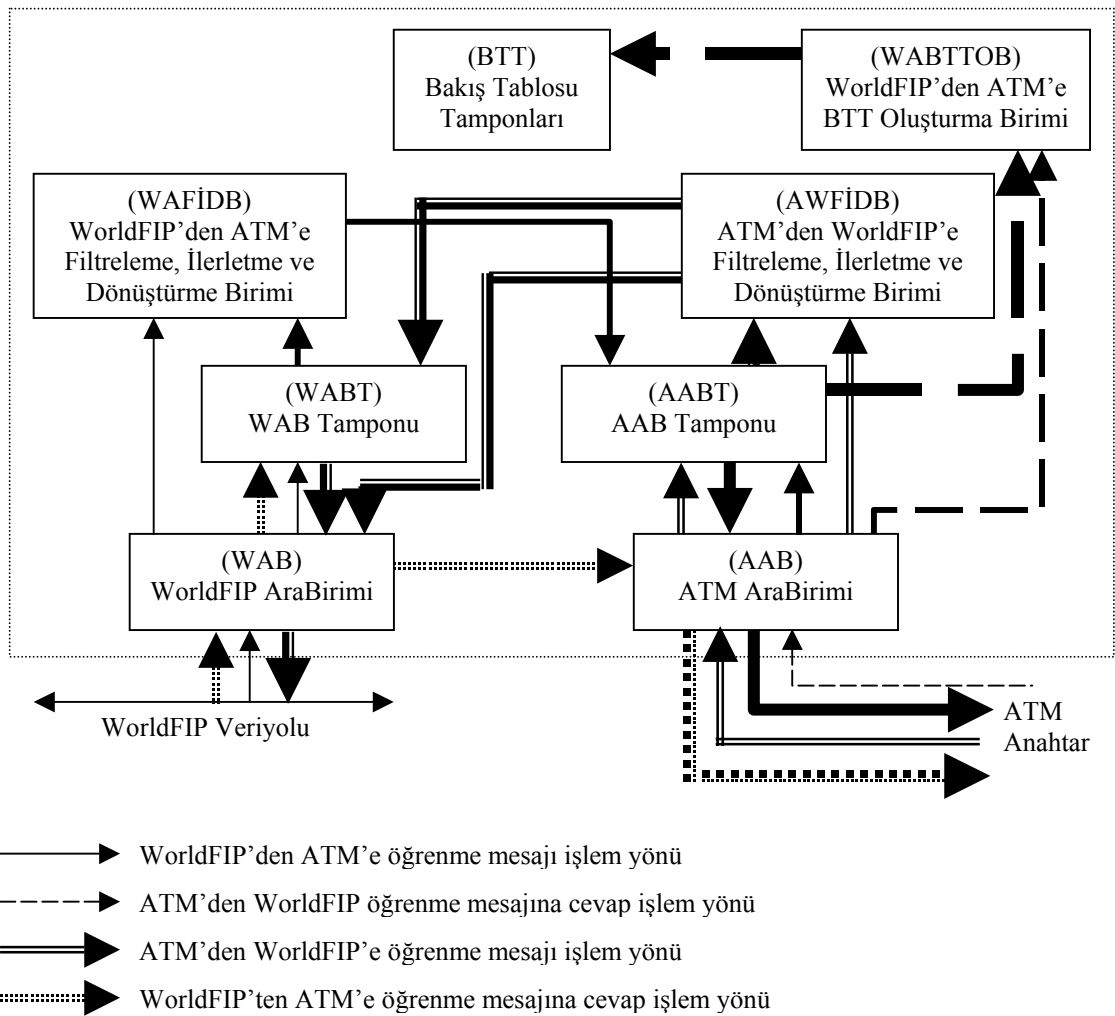
WAFİDB :WorldFIP'ten ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
 WABTOB :WorldFIP'ten ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi  
 WAB :WorldFIP Ara Birimi      WABT :WorldFIP Ara Birimi Tampon Belleği  
 AAB :ATM Ara Birimi      AABT :ATM Ara Birimi Tampon Belleği  
 PVC :Kalıcı Sanal Devre

Şekil 3.25. Öğrenme Algoritması ve Köprüün ATM Tarafı İçin Anahtar Üzerinde Veritabanı Tablosunun Oluşturulması

AWFİDB'e gelen kontrol/bilgi sinyali AABT'na bir ATM uzak mesajının geldiğini bildirir. ATM tarafından WorldFIP tarafına öğrenme mesajı olarak 0 veri alanlı, 13 baytlık WorldFIP çerçeve biçiminde bir mesaj yollanacaktır. AWFİDB, ATM mesajı

Bölüm 3.4.1.1.5 ve Bölüm 3.4.1.1.6'da detaylandırıldığı gibi WorldFIP çerçevesine dönüştürerek WABT'ye yazar ve daha sonra WAB'ı bilgilendirir.

Bilgilenen WAB, WABT'dan mesajı alır. Bu mesajda kaynak ve hedef adresle diğer kontrol bilgileri vardır. WAB bir WorldFIP düğümü olarak tasarlanmıştır. Bu düğüm makro döngü esnasında kendine gelen periyodik tanıtıcıların durumuna göre hem üretici (producer) hem tüketici (consumer) olabilecek şekilde yapılandırılmıştır. Ayrıca, ATM'den WorldFIP'e aktarılabilecek mesajları iletebilmek için öncelikle aperiyojik istek üretebilecek şekilde yapılandırılmıştır. Bölüm 2.4.3.3 ve Bölüm 3.2.1'de detaylandırıldığı gibi, WorldFIP sistemin aperiyojik zaman diliminin tamamını E tanıtıcısı ile bu düğüm tarafından kullanılarak, WorldFIP ağına mesaj iletimi sağlanmaktadır.



Şekil 3.26. WorldFIP'den ATM'e ve ATM'den WorldFIP'e Öğrenme Algoritmalarının Köprü Birimleri Üzerindeki Veri Akışları



Bu işlem sona erdiğinde, AAB'ne anahtardaki PVC bağlantı tablosu güncelleştirilmek üzere bir alındı cevap bilgisi iletilir. Bu bilgi ATM anahtara iletilerek anahtar üzerinde PVC tablosunun oluşmasını sağlar. PVC bağlantı tablosu ATM düğümlerin haberleştikleri düğümler ve yollarına ait bilgileri tutar. Bu tablo ATM tarafından WorldFIP tarafına bir bakıma bakış tablosu görevini yapar. Böylece ATM'den WorldFIP'e öğrenme algoritması tamamlanır.

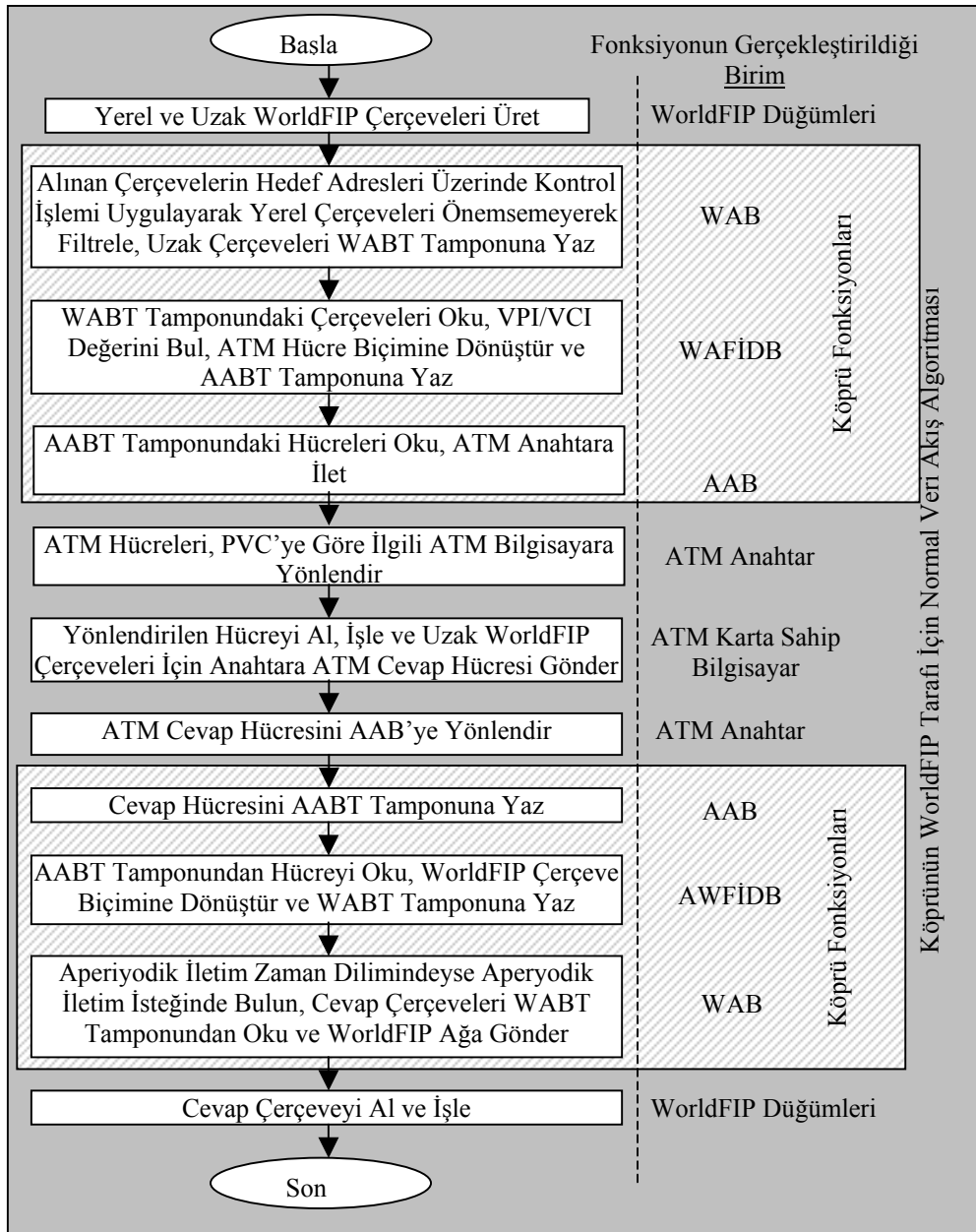
Şekil 3.26'daki şemada, hem WorldFIP'den ATM'e, hem de ATM'den WorldFIP'e öğrenme algoritmalarının köprü birimleri üzerindeki veri akışları görülmektedir.

#### **3.4.1.2.3. Normal veri akış algoritması, akış şeması ve köprünün WorldFIP tarafı için bakış tablosu veritabanının kullanılması**

Şekil 3.27'de görüldüğü gibi WorldFIP düğümleri yerel ve uzak çerçeveler üretir.

WorldFIP Arabirimi (WAB), WorldFIP ağdaki tüm mesajları alır. WAB'ın aldığı mesajlar köprüye geçirilmeden önce bir ön filtrelemeye tabi tutulur. Eğer gelen mesaj yerel hedef adreslere sahipse önemsenmez ve WABT'ye yazılmaz. Böylece WABT hafızası boşa kullanılmaz. Buna köprünün filtreleme (discarding) işlevi denir. Bu tür mesajlar dışındaki tüm uzak mesajlar ve öğrenme mesajları alınarak WABT'e yazılır. WAB, normal veri akış algoritmasında tüketici durumda iken değişken tanıtıcısını aldıktan sonra mesaj çerçevesini de alır. Boyutlarından normal mesaj çerçevesi olduğunu anlaşılır ve WAFİDB'nin işleyebilmesi için önce WABT'na yazılır, sonra WAFİDB'ye bir kontrol bilgi mesajı yollanır. Buna da köprünün iletme (forwarding) işlevi denir.

WAFİDB biriminde, WAB'dan gelen kontrol/bilgilendirme sinyalini alınarak WABT'e yazılmış mesajın okunur daha sonra bakış tablosu ile kontrol edilerek, filtreleme veya dönüştürüp iletme işlemlerinden uygun olanı yapılır. Mesaj çerçevesi Bölüm 3.4.1.1.2 ve Bölüm 3.4.1.1.3'de detaylandırılan işlemlerden geçirilir.



WAFİDB :WorldFIP'ten ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
WABTOB : WorldFIP'ten ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi  
WAB :WorldFIP Ara Birimi      WABT :WorldFIP Ara Birimi Tampon Belleği  
AAB :ATM Ara Birimi      AABT :ATM Ara Birimi Tampon Belleği  
VPI :Sanal Yol Tanıtıcı      VCI :Sanal Kanal Tanıtıcı

Şekil 3.27. Normal Veri Akış Algoritması ve Köprünün WorldFIP Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Kullanılması

Anahtar kendisine gelen ATM hücre biçimindeki WorldFIP öğrenme mesajının bağlantı bilgilerini tablosuna yazarak ilgili düğüme iletir.

ATM düğümler normal veri akış algoritması boyunca gelen AAL3/4 hizmet sınıfı ATM hücrenin MID alanını inceler. Gelen ATM hücre AAL5 hizmet sınıfına ait ise veri alanının 1. baytı kontrol edilir. Bu bilgi değeri bilinen bir değer ise, hücre alınır ve ATM anahtar vasıtasıyla köprüye bir cevap hücresi gönderir. Böylece normal veri akış algoritması tamamlanmış olur.

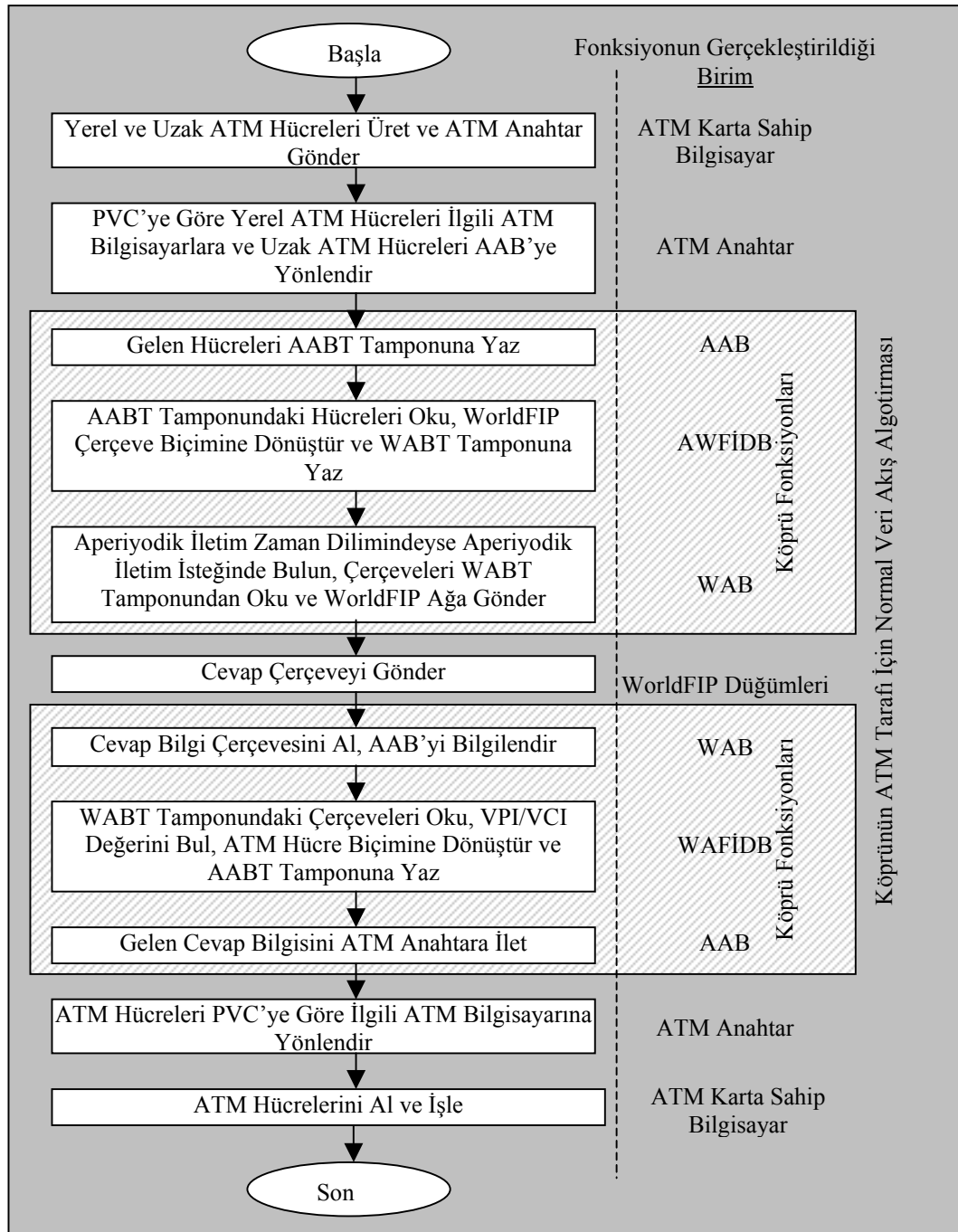
#### **3.4.1.2.4. Normal veri akış algoritması, akış şeması ve köprünün ATM tarafı için veritabanı tablosunun kullanılması**

Sistem çalışmaya başladığında, ATM ağdaki her bir düğüm ATM anahtara, hem yerel, hem uzak ATM hücreleri gönderir (Şekil 3.28). Anahtar tarafından alınan her bir hücre, yerel ATM hücreleri ise ATM ağdaki düğümlere, uzak ATM hücreleri ise AAB köprü arabirimine gönderilir. ATM düğümler aldıkları yerel hücrelere karşılık cevap hücresi gönderirler. Anahtar, aldığı bu cevap hücrelerine bağlı olarak gerekli bağlantı bilgilerini PVC bağlantı tablosuna yazarak yerel ATM hücreleri için öğrenme algoritmasını tamamlar.

AAB; ATM Anahtar tarafından gönderilen tüm uzak ATM hücrelerini alır, AAB tamponuna kaydedildikten sonra AWFIDB'e kontrol/bilgi sinyali iletir.

AWFIDB'e gelen kontrol/bilgi sinyali, AABT'na bir ATM uzak mesajının geldiğini bildirir. AWFIDB, ATM mesajı WorldFIP mesaj çerçevesine dönüştürülebilmesi için Bölüm 3.4.1.1.5 ve Bölüm 3.4.1.1.6'da detaylandırılan işlemlerden geçirerek WAB'ı bilgilendirir.

WAB bir WorldFIP istasyonu olarak tasarlandığından dolayı, makro döngü sırasında kendisine gelen periyodik tanıtıcıların durumuna göre hem üretici (producer) hem tüketici (consumer) olabilecek şekilde yapılandırılmıştır. WAB, bilgi mesajını aldıktan sonra WABT'dan mesajı okur. Bu mesajda kaynak ve hedef adresle diğer kontrol bilgileri vardır. ATM'den WorldFIP'e mesaj iletebilmek için öncelikle aperiodyk istek üretecektir. Bölüm 2.4.3.3 ve Bölüm 3.2.1'de detaylandırıldığı gibi, WorldFIP sistemin aperiodyk zaman diliminin tamamı tanımlanan E tanıtıcısı yardımı ile, WAB'dan WorldFIP ağa mesaj yollamak için kullanılır.

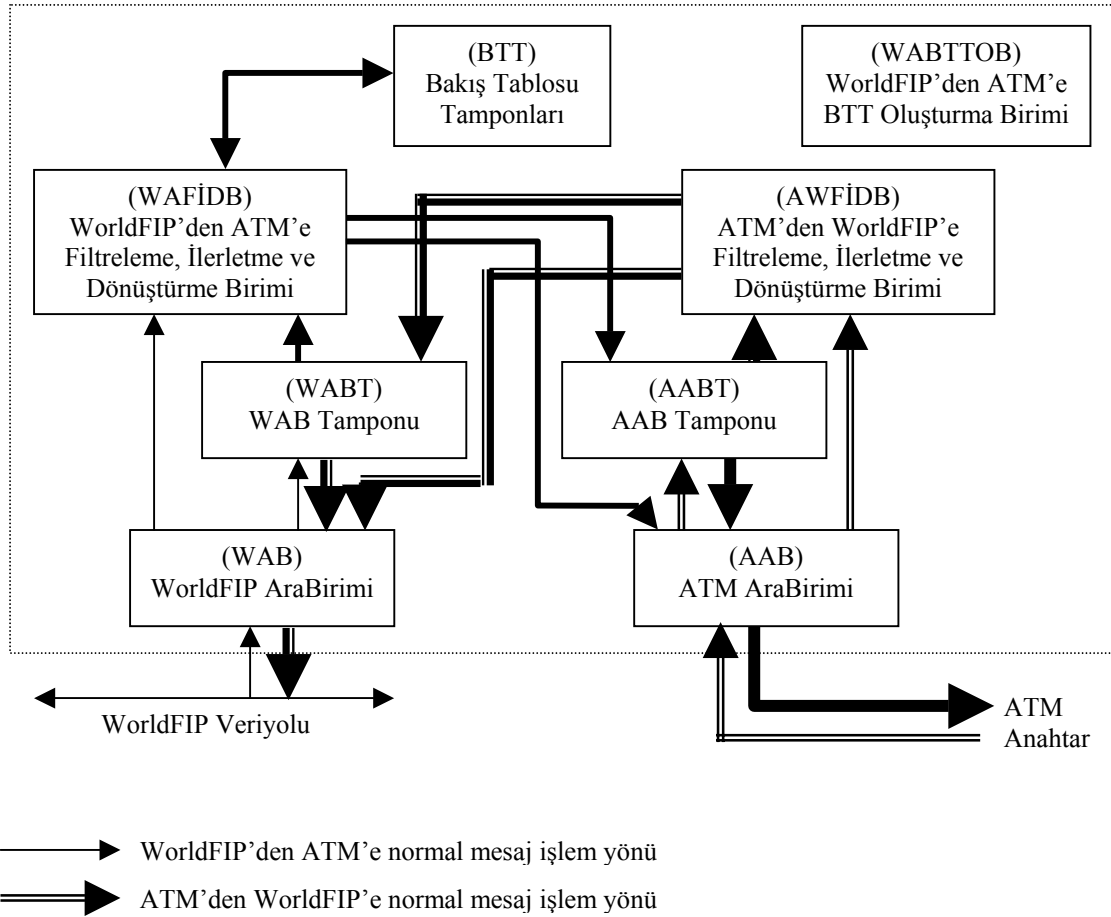


WAFİDB :WorldFIP'ten ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi  
WABTOB : WorldFIP'ten ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi  
WAB :WorldFIP Ara Birimi      WABT :WorldFIP Ara Birimi Tampon Belleği  
AAB :ATM Ara Birimi      AABT :ATM Ara Birimi Tampon Belleği  
VPI :Sanal Yol Tanıtıcı      VCI :Sanal Kanal Tanıtıcı  
PVC :Kalıcı Sanal Kanal

Şekil 3.28. Normal Veri Akış Algoritması ve Köprünün ATM Tarafı İçin Veritabanı Tablosunun Kullanılması

Yollama işlemi bitince AAB üzerinden anahtara normal veri akış algoritmasının tamamlandığını belirtmek üzere çerçeve alındı cevap bilgisi yollanır.

Şekil 3.29'deki şemada, hem WorldFIP'den ATM'e hem de ATM'den WorldFIP'e normal veri akış algoritmalarının köprü birimleri üzerindeki veri akışları görülmektedir.



Şekil 3.29. WorldFIP'den ATM'e ve ATM'den WorldFIP'e Normal Veri Akış Algoritmalarının Köprü Birimleri Üzerindeki Veri Akışları

### 3.4.2. WorldFIP-ATM köprüünün birimlerinin işlevlerinin tanımlanması

Şekil 3.16'da işlevsel blok şeması görülen ve Bölüm 3.4.1'de işlevlerinin modellenmesi anlatılan WorldFIP/ATM köprü birimlerinin görevleri aşağıda açıklanmıştır.

### 3.4.2.1. WorldFIP AraBirimi (WAB)

Yapısal olarak bir WorldFIP düğümünün tüm özellik ve işlevlerine sahip bir işlemcidir. 80 MHz hızında çalışan FULLFIP2 işlemcisi olarak modellenmiştir. İşlemci ile ilgili tüm detaylar Bölüm 2.4.3.7’de verilmiştir.

WAB’ın temel iki görevi vardır. Birincisi, WorldFIP ağındaki tüm mesaj trafiğini alır. ATM’e iletilen tüm öğrenme ve normal mesajlar dışındaki mesajları filtreleyerek köprü üzerinde gereksiz yükün oluşmasını, böylece WABT’nin gereksiz kullanımını önler. ATM’e iletilen tüm öğrenme ve normal mesajları WAB Veri Hattı üzerinden WABT tamponuna yazar ve WAB Haberleşme Hattı üzerinden WAFDIB’e bu bilgiyi iletir. İkincisi, ATM’den WorldFIP’e iletilen AWFDİB’de hücre/çerçeve dönüşümleri gerçekleştirilen mesajları WAB Veri Hattı üzerinden WABT tamponundan okur ve bu mesajları WorldFIP ağıın aperiodyk zaman diliminde WorldFIP düğümlerine iletir, aynı zamanda WAB-AAB Haberleşme Hattı üzerinden AAB’ye “mesaj alındı” bilgisini iletir.

WAB’ın her iki yöndeki çerçeve kabul, filtreleme ve ilerletme işlevlerine ait tüm algorimaları Bölüm 3.4.1.1.1’de Şekil 3.18’de detaylandırılmıştır.

### 3.4.2.2. ATM AraBirimi (AAB)

8051 tabanlı 16 MHz’lik bir mikrodenetleyici olarak modellenen AAB, bir Hücre Sınırlama Blok (CDB-Cell Delineation Block) ve fiziksel ATM alıcı/verici arabirimden (SOT-3)’den oluşmaktadır. CDB, ATM mimarisindeki ATM katmanı ve aktarım dönüşümü (TC-Transmission Convergence) katmanlarının tüm işlevlerini yerine getirir. Hücre sınırını belirleme işlevi, başlık hata kontrol baytını arama tekniği ile gerçekleşir. Bu tekniğin detayları [107, 37, 26]’de bulunabilir.

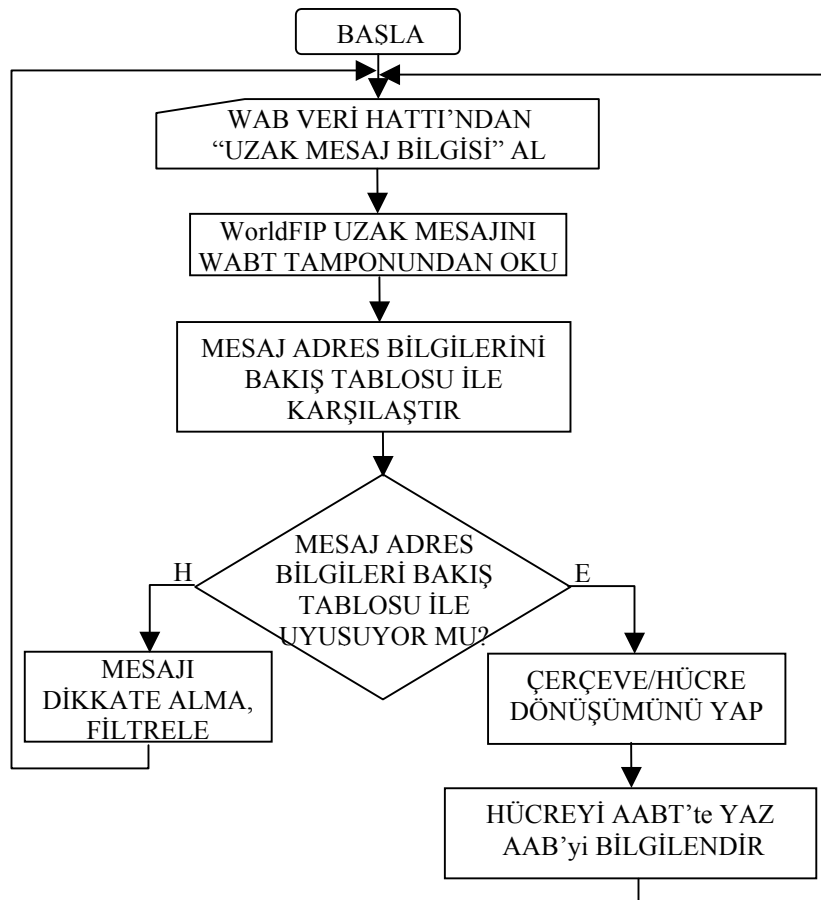
AAB’nin temel iki görevi vardır: Birincisi, ATM ağdaki düğümlerin WorldFIP düğümlerine yolladıkları tüm öğrenme normal mesajları almak ve AAB Veri Hattı üzerinden AABT tamponuna yazmaktır. Ayrıca, ilerletme işleminin devamı için AAB Haberleşme Hattı üzerinden AWFDİB’e durum hakkında bilgi iletir. İkincisi

ise WorldFIP'den ATM'e iletilen WAFDİB'de çerçeve/hücre dönüşümleri gerçekleştirilen mesajları AAB Veri Hattı üzerinden AABT tamponundan okumak ve anahtara iletmektir. Hücre başlığındaki düzenlemeler burada gerçekleştirilir. Ayrıca, anahtardan gelen WorldFIP-ATM yönündeki mesajlar için kaynağa iletilen "mesaj alındı" bilgisini WABTOB'ye iletir.

AAB'in her iki yöndeki hücre kabul, filtreleme ve iletme işlevlerine ait tüm algorimaları Bölüm 3.4.1.1.4'de ve Şekil 3.21'de detaylandırılmıştır.

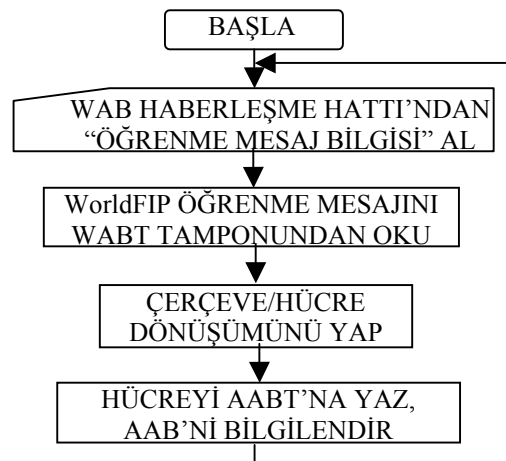
### 3.4.2.3. WorldFIP'den ATM'e Filtreleme, Dönüştürme, İletme Birimi (WAFDİB)

Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de WAFİDB algoritmalarındaki bu işlemlere ait genel akış şemaları görülmektedir.



Şekil 3.30. WAFİDB WorldFIP Uzak Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması

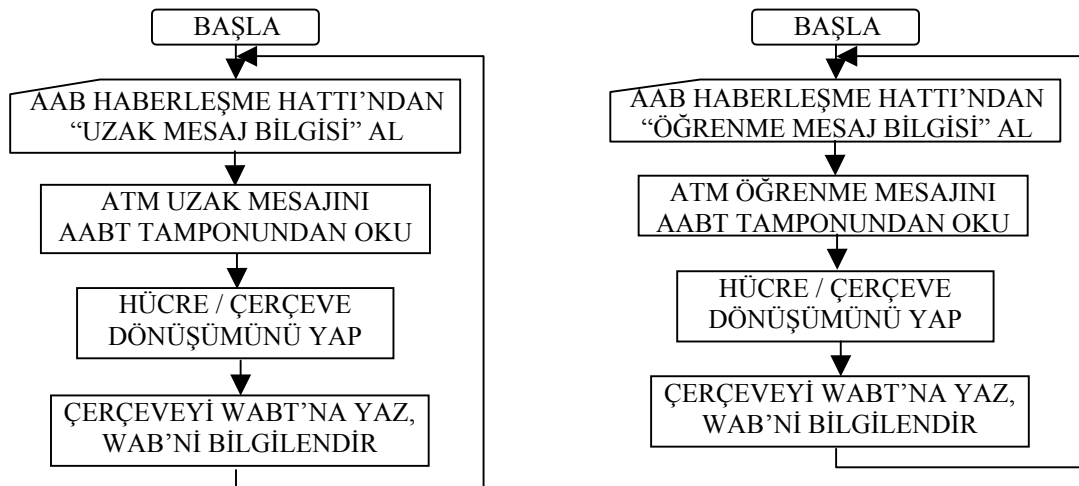
8051 tabanlı 16 MHz'lik bir mikrodenetleyici olarak modellenen WAFDIB, WorldFIP'den ATM'e iletilen mesajların gerekli alanlarını WABT'den okuyarak BTT (Bakış Tablosu Tamponu) ile karşılaştırır. ATM'e iletilmesi uygun mesajları AAL3/4 veya AAL5 hizmet sınıfı verileri halinde WABT'den okuyarak detayları Bölüm 3.4.1.1.2 ve Bölüm 3.4.1.1.3'de anlatıldığı gibi WorldFIP çerçeve yapılarını ATM hücre yapısına dönüştürür ve AAB Veri Hattı üzerinden AABT'e yazarak ATM tarafına ilerletilmek üzere AAB'ye iletir.



Şekil 3.31. WAFİDB WorldFIP Öğrenme Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması

#### 3.4.2.4. ATM'den WorldFIP'e Filtreleme, Dönüştürme, İlerletme Birimi (AWFDİB)

Şekil 3.32'de AWFİDB algoritmalarındaki bu işlemlere ait genel akış şemaları görülmektedir.



Şekil 3.32. AWFİDB ATM Uzak ve Öğrenme Mesajların İşlenme Genel Akış Şeması



### 3.4.2.5. WorldFIP'den ATM'e Bakış Tablosu Oluşturma Birimi (WABTOB)

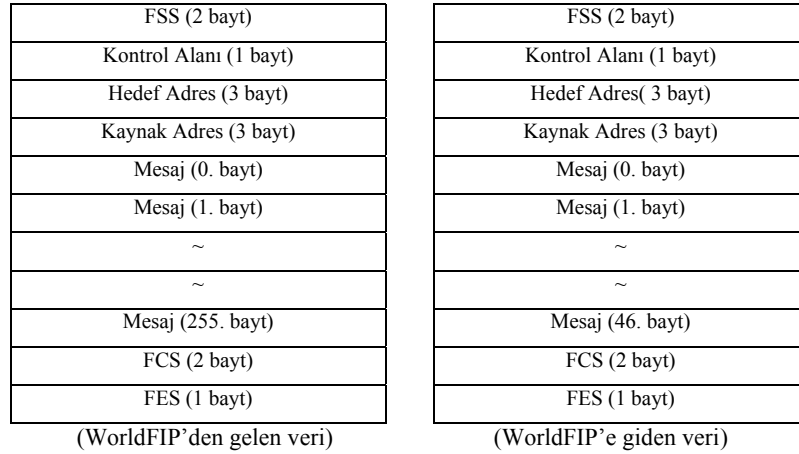
8051 tabanlı 16 MHz'lik bir mikrodenetleyici olarak modellenen WABTOB, detayları Bölüm 3.4.1.2.1'de ve genel akış şeması Şekil 3.24'de verildiği gibi köprünün öğrenme işlemi sırasında, WorldFIP'den ATM'e iletilen öğrenme mesajlarına ait gerekli başlık bilgilerini BTT'ye yazar ve günceller. ATM'den WorldFIP'e öğrenme işlemi sırasında BTT oluşturmaya gerek yoktur. Zira, WAB ATM'in öğrenme mesajlarını gerekli WorldFIP düğümüne iletdikten sonra AAB üzerinden anahtara "mesaj alındı" bilgisini ileterek, anahtarda oluşturulan bağlantı tablosu ile bu işlemi gerçekleştirmiş olur. Şekil 3.33'de WABTOB öğrenme mesajlarını işleme genel akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.33. WABTOB Öğrenme Mesajlarını İşleme Genel Akış Şeması

### 3.4.2.6. WorldFIP AraBirim Tamponları (WABT)

WorldFIP'den gelen veya WorldFIP'e iletilecek olan mesajların tutulduğu 25 nsn yazma/okuma süresine sahip hafızadır. Hafıza haritası Şekil 3.34'de görüldüğü gibi Bölüm 2.4.3.6'da açıklanan WorldFIP çerçevelerinden en uzun yapıda olan RP-MSG-xx çerçevesine göre tasarlanmıştır. İletişim sırasında, kontrol alanındaki kodlamanın belirttiği iletişim türüne göre mesaj 0–256 bayt veri alanlı değişebilmektedir.

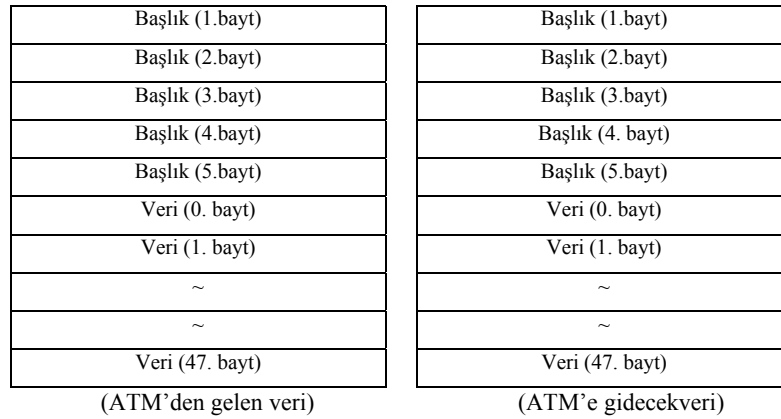


Şekil 3.34. ATM ve WorldFIP Yönündeki Veri Akışları İçin Tasarlanan WABT Tamponları Hafıza Haritaları

WorldFIP'e gidecek çerçevenin veri alanı ise AAL3/4 hizmet sınıfında 44 bayt, AAL5 hizmet sınıfında 47 bayt olacağından, hafıza tasarımında 47 bayt olarak yapılandırılmıştır. Hafıza ATM yönünde ve WorldFIP yönünde ilerleyen çerçeveler için iki ayrı bölümden oluşmuştur. Böylece, zaman zaman iki yönde paralel işlem yapacak köprünün başarımını arttıracak bir yapı oluşturulmuştur. WAB ve WAFDIB birimlerinden yazma/okuma komutları işlemleri ile erişilir. Hafızanın kapasitesi ve yazma/okuma hız özellikleri tasarlanan sistemin başarımını ideale yaklaştıracak gerçek değerlerden seçilerek modellenmiştir.

#### 3.4.2.7. ATM AraBirim Tamponları (AABT)

ATM'den gelen veya ATM'e iletilecek olan mesajların tutulduğu 25 nsn yazma/okuma süresine sahip bellektir. ATM yönünde ve WorldFIP yönünde ilerleyen hücreler için iki ayrı bölümden oluşmuştur. Böylece, zaman zaman iki yönde paralel işlem yapacak köprünün başarımını arttıracak bir yapı oluşturulmuştur. AAB ve AWFDIB birimlerinden yazma/okuma komutları işlemleri ile erişilir. Hafızanın kapasitesi ve yazma/okuma hız özellikleri tasarlanan sistemin performansını arttıracak en ideal gerçek değerlerden seçilerek modellenmiştir. Hafıza haritası Şekil 3.35'de görüldüğü gibi Bölüm 2.5.2'de açıklanan ATM hücrenin yapısına göre tasarlanmıştır. ATM'den gelecek ve ATM'e gidecek hücrenin veri alanı ise AAL3/4 hizmet sınıfında 44 bayt, AAL5 hizmet sınıfında 47 bayt olacağından, hafıza tasarımında 47 bayt olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.35. ATM ve WorldFIP Yönündeki Veri Akışları İçin Tasarlanan AABT Tamponları Hafıza Haritaları

### 3.4.2.8. Bakış Tablosu Tamponu (BTT)

Köprünün öğrenme işlemi sırasında değerlendirilen WorldFIP'den ATM'e öğrenme mesajlarına ait gerekli bilgilerin saklandığı 25 nsn yazma/okuma süresine sahip bellektir (Bkz. Şekil 3.36).

Kaynak Adres 0
Kaynak Adres 1
Kaynak Adres 2
~
~
~
Kaynak Adres 255
Kaynak Adres 0 için VPI Numarası
Kaynak Adres 0 için VCI Numarası
Kaynak Adres 0 için VCI Numarası
Kaynak Adres 1 için VPI Numarası
Kaynak Adres 1 için VCI Numarası
Kaynak Adres 1 için VCI Numarası
~
~
~
Kaynak Adres 255 için VPI Numarası
Kaynak Adres 255 için VCI Numarası
Kaynak Adres 255 için VCI Numarası

Şekil 3.36. Köprü Bakış Tablosu Tamponu İçin Tasarlanan Hafıza Haritası

ATM hücrenin başlık bölümünde 1 bayt VPI, 2 bayt VCI bağlantı bilgisi bulunmaktadır. Bakış tablosu veritabanı her bir bağlantı için VPI/VCI bilgileri ile WorldFIP çerçevesinin 1 baytlık fiziksel adresi kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu bilgiler WABTOB tarafından güncellenir. WorldFIP fiziksel adresin 8 bit (1 bayt) olduğu dikkate alınarak, en fazla 256 düğümlük bir bakış tablosu veritabanı oluşturulmuştur.

#### **3.4.2.9. WAB Veri, WAB Haberleşme, AAB Veri, AAB Haberleşme ve WAB-AAB Haberleşme Hattı**

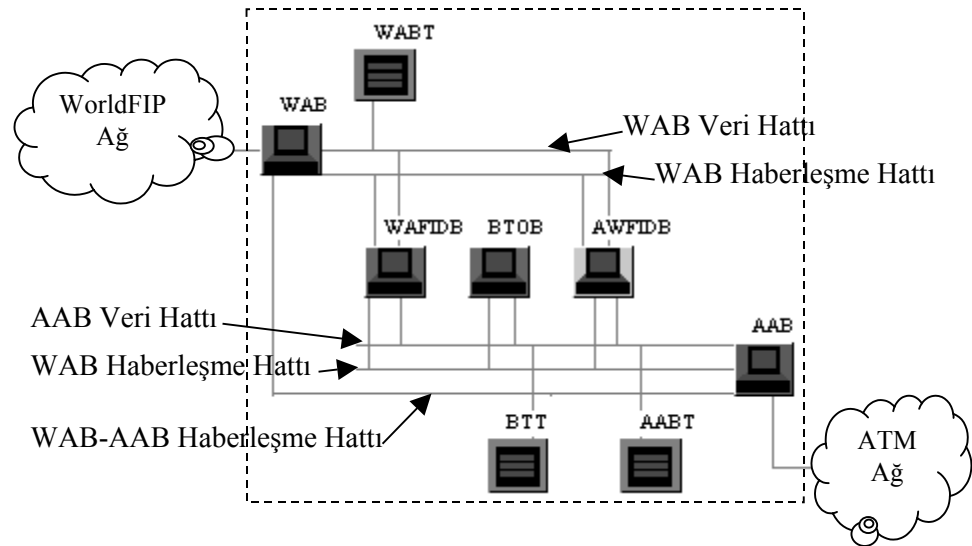
Tasarlanan köprü modelinde “Veri Hattı”, birimler ile tamponlar arasındaki yazma/okuma komutları ile yapılacak veri taşıma hatlarıdır. “Haberleşme Hattı”, birimler arası bilgi/kontrol sinyallerinin iletişimi sağlayacak kontrol hatlarıdır. Bu iletim hatlarına ait sistemin destekleyebileceği hız özellikleri Bölüm 2.4.3.7 ve Bölüm 2.5.3’de verilmiştir.

#### **3.5. WorldFIP-ATM Köprüünün Benzetim Sonuçları ve Başarım Analizi**

Tasarlanan ve Şekil 3.37’de benzetim modeli görülen WorldFIP/ATM köprüünün başarım analizi için, modellenmenin yapıldığı Network II.5 benzetim programının .LIS uzantılı benzetim rapor dosyasından (Simulation Report File (file type .LIS)) elde edilen veriler kullanılmıştır. Benzetim rapor dosyası, modeldeki Processing Elements, Transfer Devices, Storage Devices, Modüller, Komutlar, Mesajlar ve Semaphorların istatistiksel sonuçlarını içermektedir. Bu istatistiksel sonuçlar köprüünün portlarına bağlı olan WorldFIP ve ATM ağların ürettikleri yerel ve uzak mesaj ve hücrelerin gönderilme sıklıkları ve boyutlarına bağlı olarak program tarafından hesaplanmaktadır.

Modellenen köprüünün olası tüm koşullardaki başarımını tespit etmek için, WorldFIP ve ATM ağların farklı sıklıklarda ve farklı boyutlardaki mesaj ve hücre üretilme durumlarındaki istatistiksel sonuçları incelenmiştir. Bu sayısal sonuçlar grafiklerle görsel olarak ifade edilmiş ve literatürdeki standart olarak kabul gören ideal değerler

ile karşılatırılarak, sonuçlar yorumlanmış ve değerlendirilmiştir [100, 52].



WAB	: WorldFIP Arabirimi	WABT	: WorldFIP Arabirim Tamponu
AAB	: ATM Arabirimi	AABT	: ATM Arabirim Tamponu
BTOB	: Bakış Tablosu Oluşturma Birimi	BTT	: Bakış Tablosu Tamponu
WAFIDB	: WorldFIP'ten ATM'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi		
AWFIDB	: ATM'den WorldFIP'e Filtreleme, İlerletme ve Dönüştürme Birimi		

Şekil 3.37. Tasarlanan WorldFIP-ATM Köprü Modeli

WorldFIP ağın trafik yoğunluğunu tanımlayan trafik yükü, sadece WorldFIP ağdaki düğümlerin mesaj gönder sıklığının değiştirilmesi ile kontrol edilemez. Çünkü Bölüm 2.4.3'de anlatıldığı gibi WorldFIP ağ, ağı yöneten istasyona (BA) kurulum sırasında planlanarak, sabit olarak yerleştirilen zamanlamaya göre çalışır, düğümlerin birbirlerine gönderecekleri mesajların sayı ve zamanları önceden belirlidir. Bundan dolayı, WorldFIP ağın düğümleri rasgele olarak  $0 \leq \text{mesaj\_uzunluğu} \leq 256$  bayt farklı büyüklüklerde mesajlar üretecek şekilde modellenmiştir. Düğümlerin yerel ve uzak mesaj üretme oranları da değiştirilerek ağ trafik yoğunluğu kontrol edilmiştir. Bu oran benzetim süresince %70-%30, %50-%50, %30-%70 oranlarında değiştirilmiştir. Ayrıca WorldFIP ağın trafik yoğunluğu aperiodyk zaman diliminde ATM ağdan gelen uzak hücrelerle de değişir. Bu değişim ise, ATM düğümlerin uzak hücre üretme sıklıklarının değiştirilmesi ile kontrol edilerek modellenmiştir.

ATM ağın trafik yoğunluğu/trafik yükü, ağdaki ATM düğümlerin yerel ve uzak hücre üretme oranları ve üretme sıklıkları değiştirilerek kontrol edilmiştir. Bu oran benzetim süresince %90-%10, %80-%20, %70-%30 oranlarında ve mesaj sıklığıda

üstel olarak değiştirilmiştir. ATM ağdaki düğümler 53 bayt sabit uzunluklarda hücreler ürettiğinden hücre uzunluğunun değiştirilerek trafik yoğunluğunun kontrol edilmesi mümkün değildir. Ayrıca WorldFIP ağdan gönderilen uzak WorldFIP mesajlara ait hücreler de ATM ağda trafik yoğunluğunu değiştirmektedir. Bu değişim, WorldFIP ağdaki istasyonların yerel ve uzak mesaj üretme oranları ve rasgele belirlenecek şekilde modellenen mesaj uzunluklarına göre değişir.

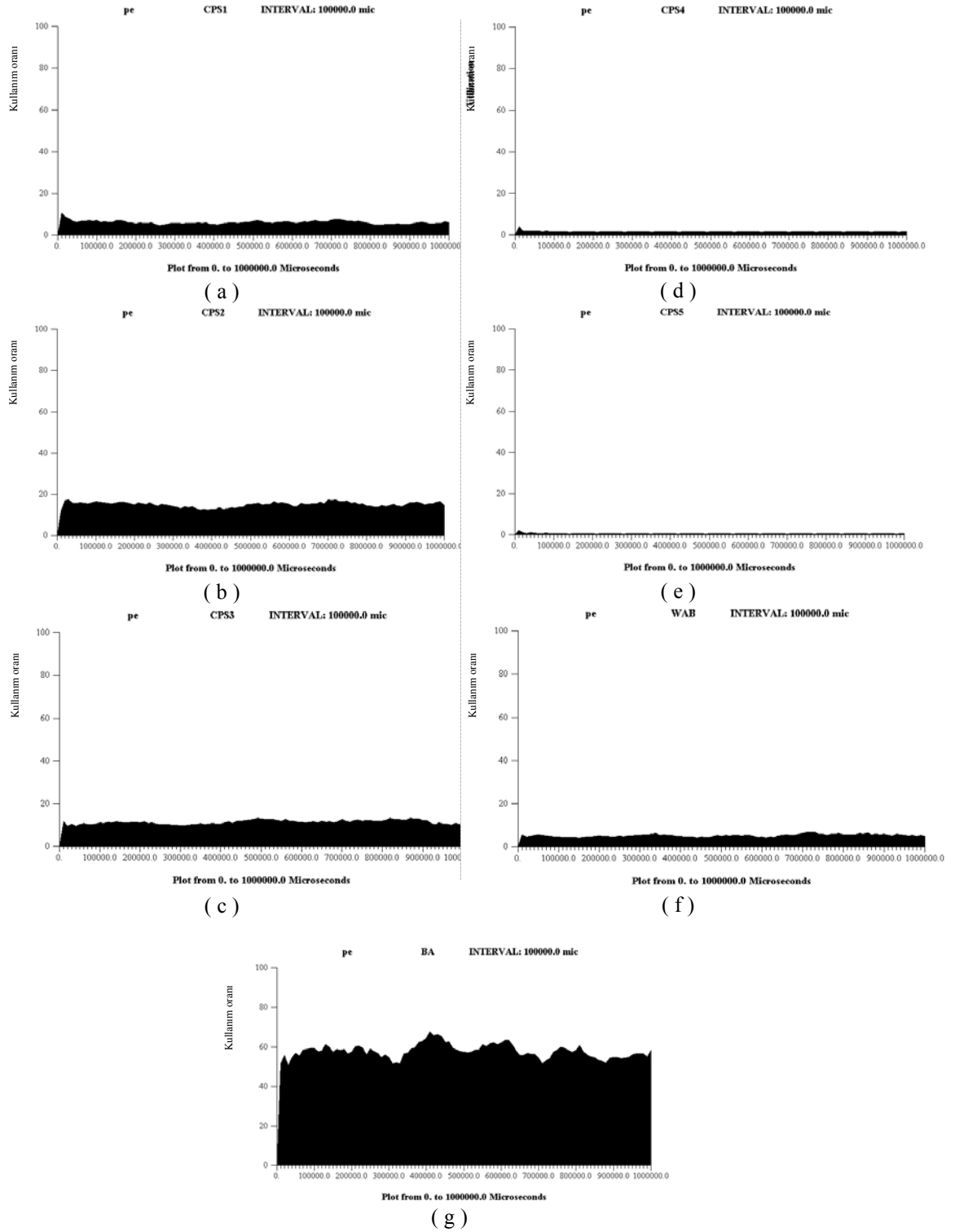
Alan ağlarının, uygulamaya yönelik gereksinimlerinin belirlenmesi için yapılan kapsamlı bir araştırma sonuçlarına göre; süreç teknolojilerindeki tolere edilebilir gecikme 100–300 msn, üretim teknolojilerindeki tolere edilebilir gecikme 10–100 msn ve sürücü sistemlerindeki tolere edilebilir gecikme 1–10 msn olarak tespit edilmiştir. Başka bir araştırma sonuçlarına göre ise; alan ağlarında düğümlerin %34'ü 10 msn gecikme ile haberleşirken, %30'u 1msn, %14'ü 100 msn, %12'si 100 msn'den fazla ve %10'u 0,1 msn gecikme ile haberleşmektedir. Bu referans gecikme kriterleri, yapılan test çalışmasının sonuçlarını karşılaştırabilmek ve değerlendirmek amacıyla gerçek zamanlı endüstriyel haberleşmenin referans zamanlama gereksinimleri ve kısıtlamalarını vermektedir [100, 52].

Köprülerin başarımlı analizleri ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bölüm 2.3.1'de anlatılan işlevleri dikkate alındığında köprülerin başarımları, farklı yüklerdeki porttan porta mesaj/hücre ve/veya hücre/mesaj iletim süreleri, iletim oranları, köprü tampon belleklerinin kapasiteleri ve köprüyü oluşturan birimlerin işlem süresince kullanım oranları ile değerlendirilir.

Porttan porta mesaj/hücre ve/veya hücre/mesaj iletim süresi, porta mesaj/hücrenin gelmesi ve tampona alınması ile başlayan, bakış tablosu ile hedef adres değerlerinin karşılaştırılıp değerlendirilmesi ve gerekirse filtreleme yapılması veya gerekli bölümlerin dönüşümlerinin yapılarak yeni mesaj/hücre yapısının oluşturulup çıkış tamponuna yazılması ile devam eden, çıkış portu tamponundan diğer ağa yollanarak bittiği ana kadar geçen toplam süredir. Bu süre köprünün her iki portu için yani WorldFIP'ten ATM'e ve ATM'den WorldFIP'e farklıdır. Çünkü her iki port için mesaj/hücre uzunlukları, dönüşüm süreçleri farklıdır. Sistemdeki farklı mesaj/hücre tiplerinin iletim süreleride farklılık gösterecektir. Yapısındaki çalışma düzeninden

dolayı portlara gelen tüm mesaj/hücreler anında diğer porta iletilemez. Dönüşüm süreci için mesaj/hücreler tampon belleklerde geçici olarak bekletilir. Tampon boyutları da köprü başarımını belirleyen önemli parametrelerdendir. Köprüyü oluşturan birimlerin toplam süreç boyunca kullanıldıkları sürenin toplam süreç süresine oranı ise birimlerin kullanım oranlarını verirler.

Şekil 3.38’de WorldFIP ağdaki BA, düğümler ve WAB’ın 1 sn’deki kullanım oranları görülmektedir. WorldFIP ağdaki tüm birimlerin kullanım oranlarının toplamı %100’dür. Görüldüğü gibi WorldFIP ağda en çok kullanım yüzdesi BA’ya aittir. Çünkü BA diğer birimler gibi sadece kendisine ait tanıtıcıların iletimine ait işleri değil tüm sistemin akışını yürütür. BA, tanıtıcıların iletimleri bittikten sonra ise, varsa aperiodyik iletimi gerçekleştirir, yoksa boş çerçeve yollama görevini yürütür.

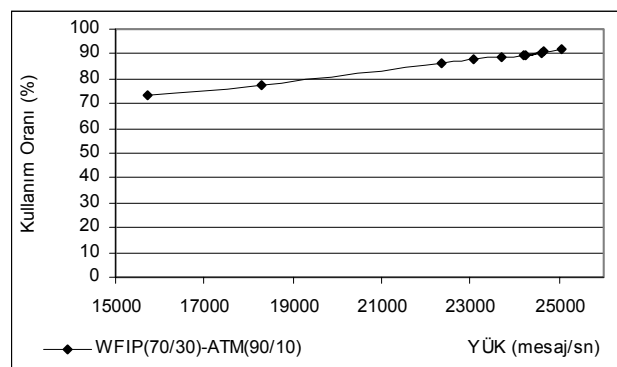


Şekil 3.38. Tasarlanan WorldFIP Ağdaki a)D<sub>CPS1</sub>, b)D<sub>CPS2</sub>, c)D<sub>CPS3</sub>, d)D<sub>CPS4</sub>, e)D<sub>CPS5</sub>, f)WAB ve g)BA'nın Kullanım Yüzdeleri

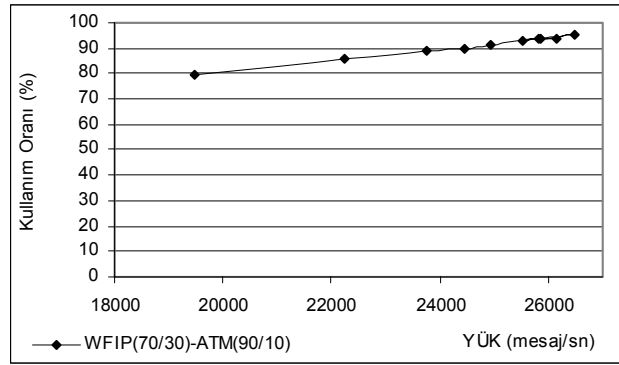
Şekil 3.39.a-b'de, %70-%30 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %90-%10 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle, Şekil 3.39.c-d'de, %50-%50 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %80-%20 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle,



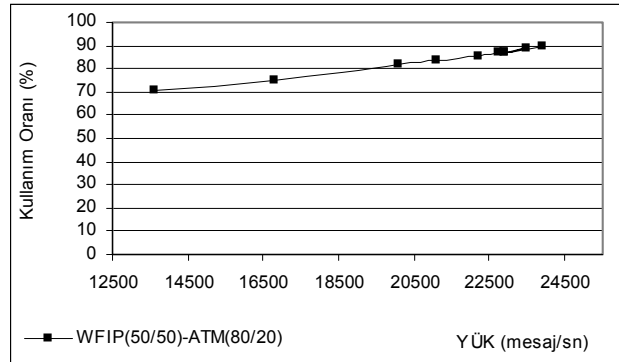
Şekil 3.39.e-f’de ise, %30-%70 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %70-%30 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle, oluşturulan ağ yüklerinde AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıfı trafikleri için WorldFIP ağ veriyolunun kullanım oranının değişimi görülmektedir. Bu değişim grafiklerini elde etmek için WorldFIP ve ATM ağ düğümlerinde belirlenen oranlarındaki mesaj sıklıklarında üstel dağılımın orta değerinin değiştirilmesi ile farklı yükler oluşturulmuştur. Her benzetimde farklı sayılarda yüklerin oluşmasının nedeni üretilen WorldFIP mesaj uzunluklarının aynı olamamasıdır. Model, olası her uzunluktaki mesajı taşıyabilecek biçimde tasarlanmıştır. Oluşturulan farklı yerel/uzak oranlardaki farklı hizmet sınıflarına ait grafiklerin tamamında yük arttıkça WorldFIP veriyolunun kullanım oranının arttığı görülmektedir. Oranın yaklaşık %69 – %93 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Oranın yüksek olmasının nedeni Bölüm 2.4.3.’de anlatıldığı gibi, WorldFIP ağda trafiğin sadece mesaj çerçevelerinden değil, mesajlaşma için gereken diğer çerçevelerden de oluşmasıdır. WorldFIP ağdaki diğer çerçevelerin kullanıldıkları haberleşmeler Bölüm 2.4.3’de detaylandırılmıştır. Şekil 2.25’de görülen 6 çeşit çerçeve bu haberleşmelerde gerektiğinde kullanılarak trafikler oluşmaktadır. RP\_MSG\_XX çerçevesi hariç diğer çerçeveler 6 bayt gibi çok kısadır. AAL5 hizmet sınıfı kullanım oranlarının AAL3/4’e göre biraz yüksek olmasının nedeni AAL5 hücresindeki kullanılan veri yükü miktarının daha fazla olması sonucu hattaki boş zaman süresinin daha az olmasıdır.



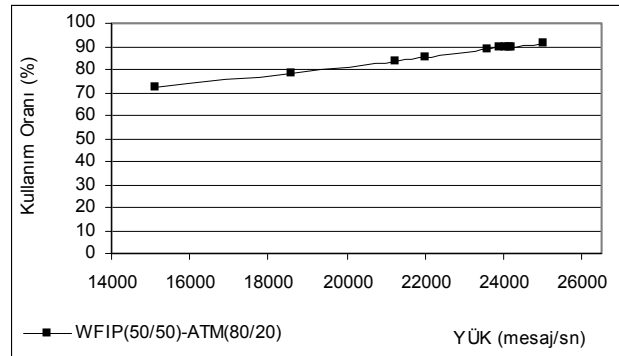
(a) AAL3/4



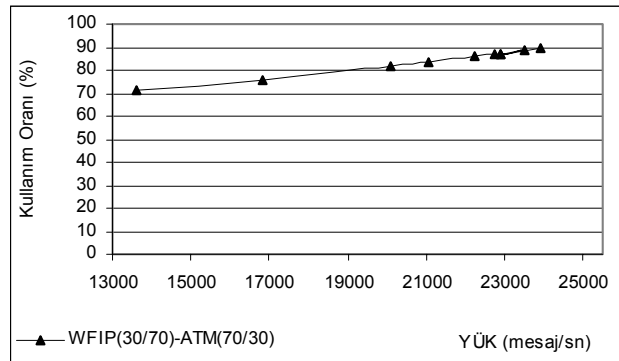
(b) AAL5



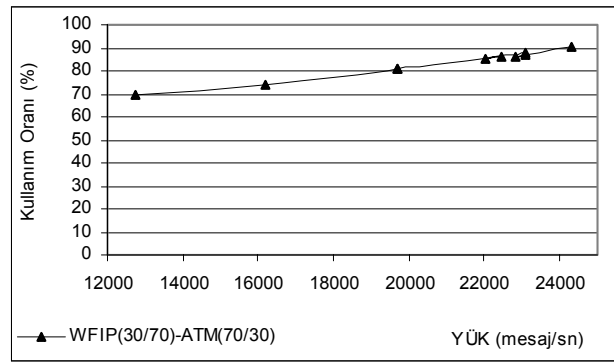
(c) AAL3/4



(d) AAL5



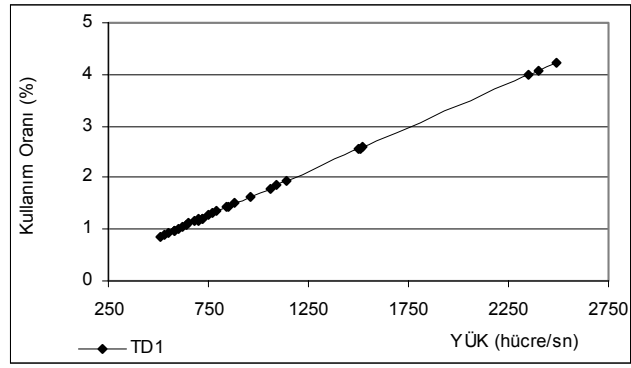
(e) AAL3/4



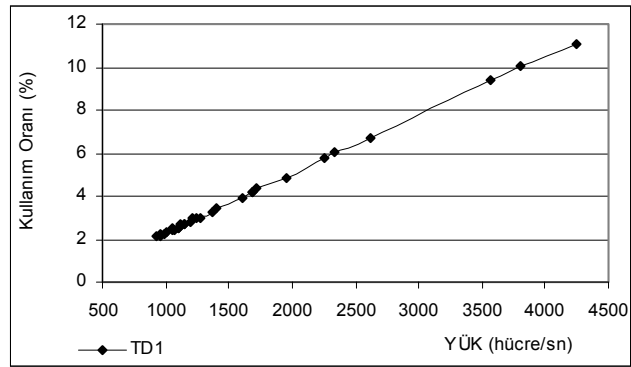
(f) AAL5

Şekil 3.39. AAL3/4 (a-c-e) ve AAL5 (b-d-f) Trafiklerindeki Farklı Yükler Altında WorldFIP Ağ Veriyolunun Kullanım Oranının Değişimi

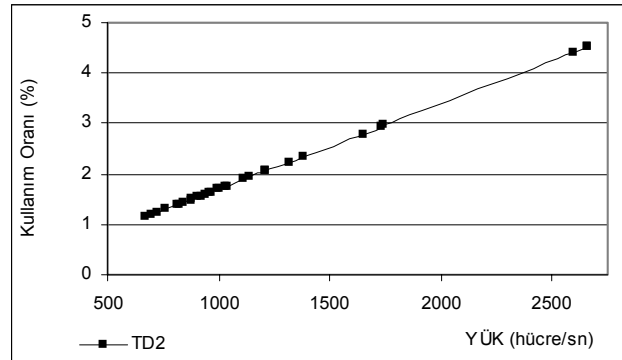
Şekil 3.40.a-b'de TD1 ( $D_{ATM1}$ -Anahtar), Şekil 3.40.c-d'de TD2 ( $D_{ATM2}$ -Anahtar), Şekil 3.40.e-f'de TD3 ( $D_{ATM3}$ -Anahtar), Şekil 3.40.g-h'de TD4 (AAB-Anahtar) arasındaki AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıfı trafiklerindeki farklı ATM ve WorldFIP ağ yükleri için ATM ağ veriyollarının kullanım oranı değişimleri görülmektedir. Bu değişim grafiklerini elde etmek için WorldFIP ağ düğümlerinin yerel/uzak mesaj oranları %70-%30, %50-%50, %30-%70 oranlarında, ATM ağ düğümlerinin yerel/uzak hücre oranları %90-%10, %80-%20, %70-%30 oranlarında ve mesaj sıklığında üstel dağılımın orta değerinin değiştirilmesi ile farklı yükler oluşturulmuştur. Her benzetimde farklı sayılarda yüklerin oluşmasının nedeni üretilen WorldFIP mesaj uzunluklarının aynı olamamasıdır. Model, olası her uzunluktaki mesajı taşıyabilecek biçimde tasarlanmıştır. Oluşturulan farklı yerel/uzak oranlardaki farklı hizmet sınıflarına ait grafiklerin tamamında yük arttıkça WorldFIP veriyolunun kullanım oranının arttığı görülmektedir. TD1, TD2, TD3 veriyolları kullanım oranları AAL3/4 için %0,5 – %5, AAL5 için %1,5 – %12, TD4 veriyolunun kullanım oranı AAL3/4 için %0,2 – %5, AAL5 için %3 – %8 arasında değişmektedir. ATM ağ veriyolları kullanım oranlarının WorldFIP'e göre çok düşük çıkmasının nedeni ATM'in veri iletim hızı ve anahtarlama hızının yüksek olmasıdır. TD1, TD2, TD3 veriyollarının hızının 25 Mbp/sn, TD4 veriyolunun hızının 155 Mbp/sn olmasından dolayı TD4 veriyolu kullanım oranı daha düşük gerçekleşmiştir. AAL5 hizmet sınıfı kullanım oranlarının AAL3/4'e göre biraz yüksek olmasının nedeni AAL5 hücresindeki kullanılan veri yükü miktarının daha fazla olması sonucu hattaki boş zaman süresinin daha az olmasıdır. Başarım analizinin diğer değerlendirmeleri de bu yükler altında yapılmıştır.



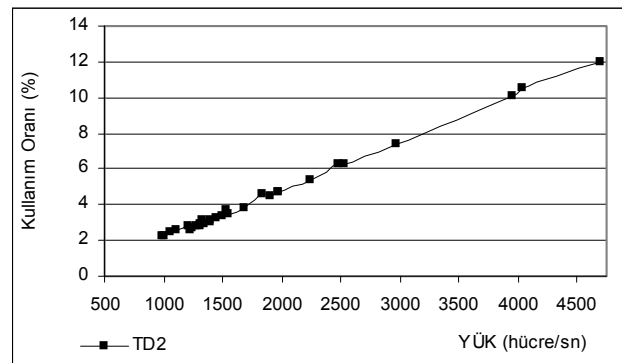
(a) AAL3/4



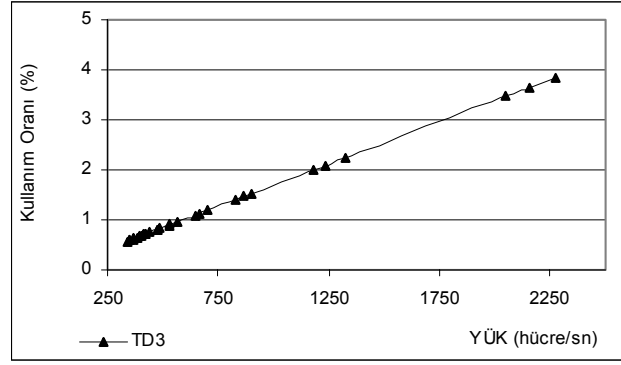
(b) AAL5



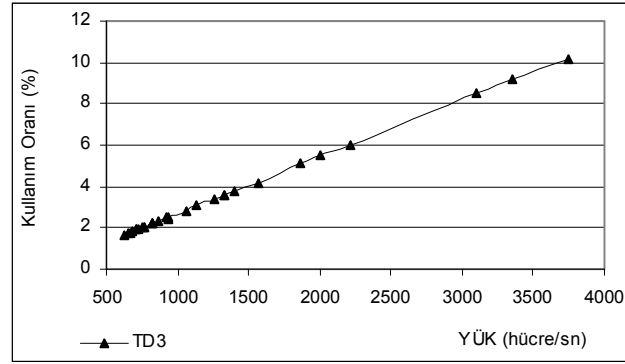
(c) AAL3/4



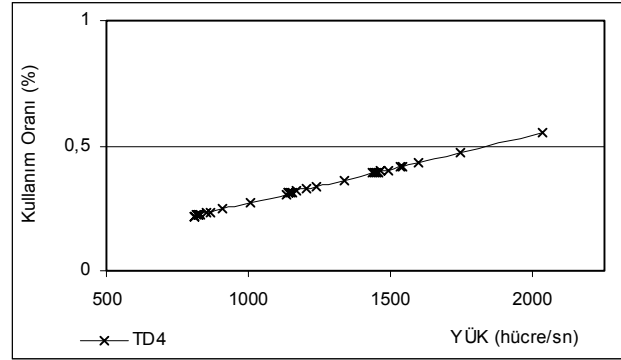
(d) AAL5



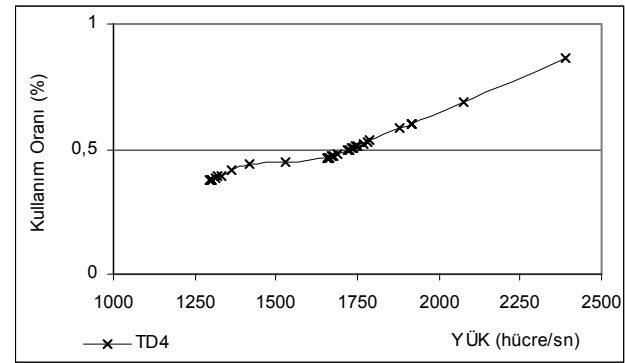
(e) AAL3/4



(f) AAL5



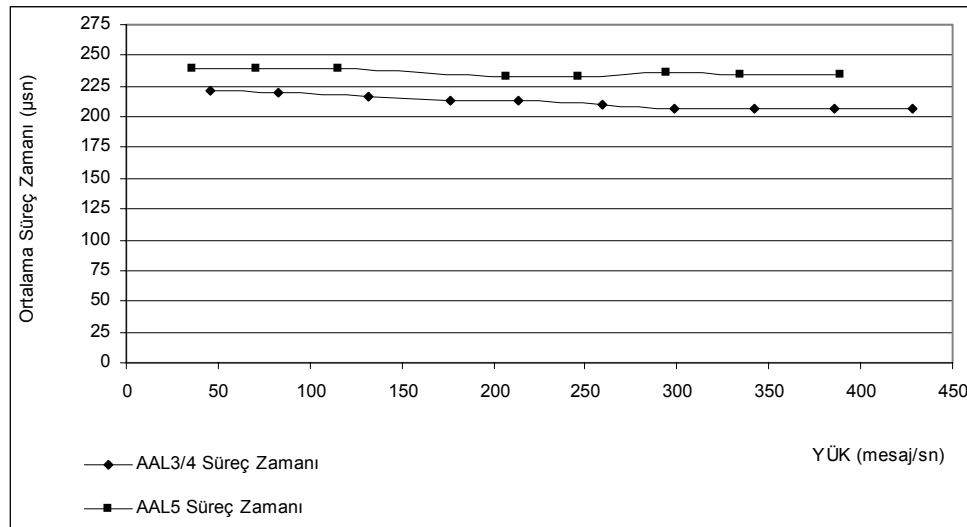
(g) AAL3/4



(h) AAL5

Şekil 3.40. AAL3/4 (a-c-e-g) ve AAL5 (b-d-f-h) Trafiklerindeki Farklı Yükler Altında ATM Ağ Veriyollarının Kullanım Oranının Değişimi

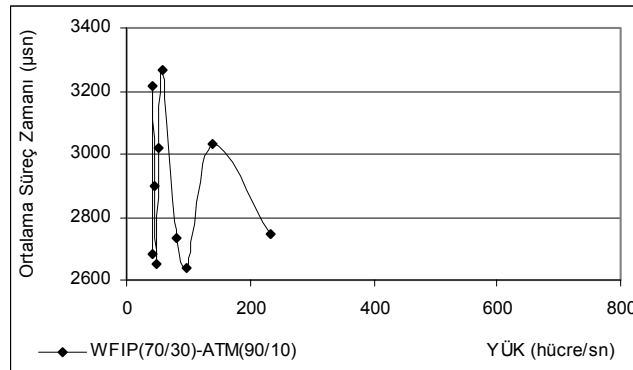
Şekil 3.41’de, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki WorldFIP’den ATM’e farklı yükler altında köprünün süreç zamanı tepkisi görülmektedir. Süreç zamanı tepkisi, mesajın köprünün bir portundan alınıp, gerekli işlemlerden geçirilerek diğer portundan çıkana kadar geçen zamandır. Bu değişim grafiğini elde etmek için WorldFIP ağ düğümlerinin yerel/uzak mesaj oranları %90-%10’dan %10-%90’a kadar değiştirilerek köprü yüklenmiştir. WorldFIP-ATM süreç zamanı belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için yaklaşık 206 – 221  $\mu$ sn, AAL5 için yaklaşık 232 – 239  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. Bu gecikme değerleri, gerçek zamanlı haberleşme için yeterli kabul edilen değer sınırları içerisinde [100, 52]. AAL5 hizmet sınıfı süreç zamanının AAL3/4 hizmet sınıfına göre biraz daha yüksek gerçekleşmesinin nedeni, AAL5 hücre yapısının veri yükünün fazla olmasından dolayı tamponlarda bekletilecek verinin de büyük olması, yani tamponda bekleme süresinin ve veri iletim sürelerinin de artmasından kaynaklanmaktadır.



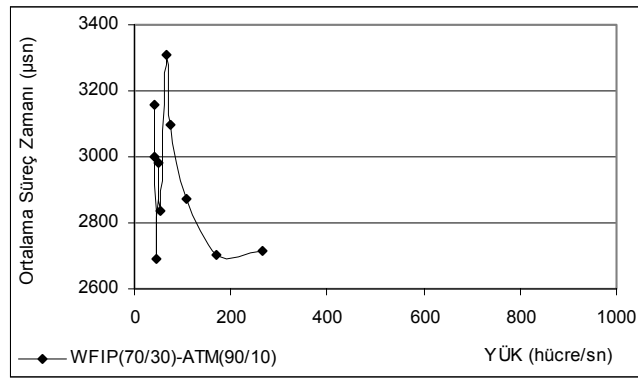
Şekil 3.41. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde WorldFIP-ATM Süreç Zamanı

Şekil 3.42.a-b’de, %70-%30 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %90-%10 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle, Şekil 3.42.c-d’de, %50-%50 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %80-%20 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle, Şekil 3.42.e-f’de ise, %30-%70 oranında yerel/uzak WorldFIP mesajları ve %70-%30 oranında yerel/uzak ATM hücreleriyle, oluşturulan ağ yüklerinde AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıfı trafikleri için köprünün ATM’den WorldFIP yönünde süreç zamanı tepkisi görülmektedir. Süreç zamanı tepkisi, mesajın köprünün bir portundan

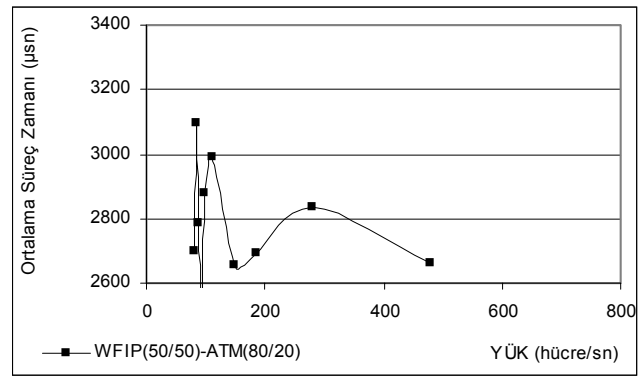
alınıp, gerekli işlemlerden geçirilerek diğer portundan çıkana kadar geçen zamandır. Bu değişim grafiklerini elde etmek için WorldFIP ve ATM ağ düğümlerinde belirlenen oranlarındaki mesaj sıklıklarında üstel dağılımın orta değerinin değiştirilmesi ile farklı yükler oluşturulmuştur. Grafikte, WorldFIP ve ATM'in uzak mesaj oranlarının arttıkça köprüdeki işlenen mesaj sayısının da arttığı görülmektedir. Grafikteki düzensiz değişim ve bu süreç değerlerinin WorldFIP'ten ATM'e olan değerlerden yüksek çıkması, köprü'nün WABT tamponundaki beklemelerden kaynaklanmaktadır. Çünkü, WABT tamponundan WorldFIP ağına gönderilecek mesajlar WorldFIP ağına aperiodyk iletim sürecine kadar tamponda bekletilmektedir. ATM-WorldFIP süreç zamanı belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için yaklaşık 2,5 – 3,2 msn, AAL5 için yaklaşık 2,5 – 3,3 msn olarak gerçekleşmiştir. AAL5'in AAL3/4'e göre biraz daha yüksek olmasının nedeni AAL5 hücre yapısının veri yükünün fazla olmasından dolayı tamponlarda bekletilecek verinin de büyük olması ve WorldFIP'e dönüştürme sürecinin daha uzun sürmesi, yani tamponda bekleme süresinin ve veri iletim sürelerinde artmasındandır. Bu gecikme değerleri, gerçek zamanlı haberleşme için yeterli kabul edilen değer sınırları içerisindedir [100, 52]. Anlık yük değişimleri, tamponlarda bekletilecek verinin sayısının değişimini, tamponda bekleme süresini ve veri iletim süresinin değişimine neden olacağından, ortalama süreç zamanı değişiklik göstermektedir.



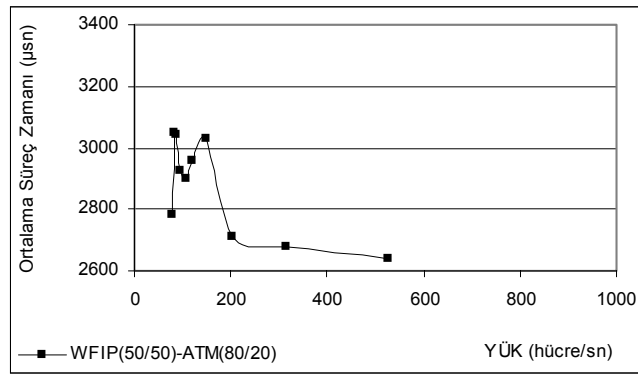
(a) AAL3/4



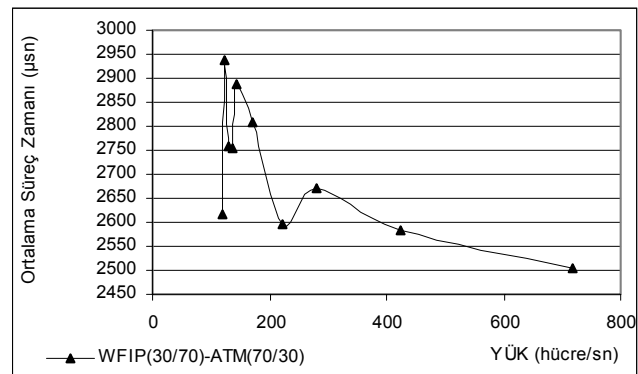
(b) AAL5



(c) AAL3/4

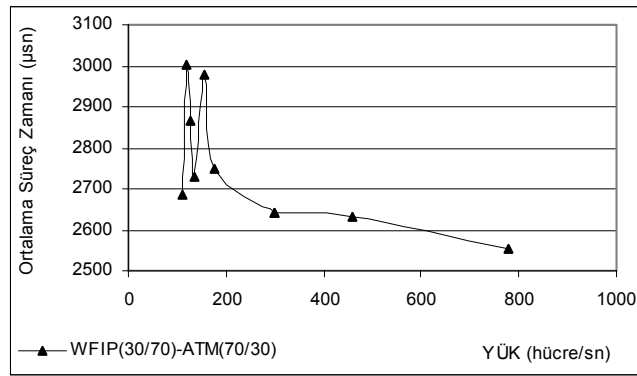


(d) AAL5



(e) AAL3/4

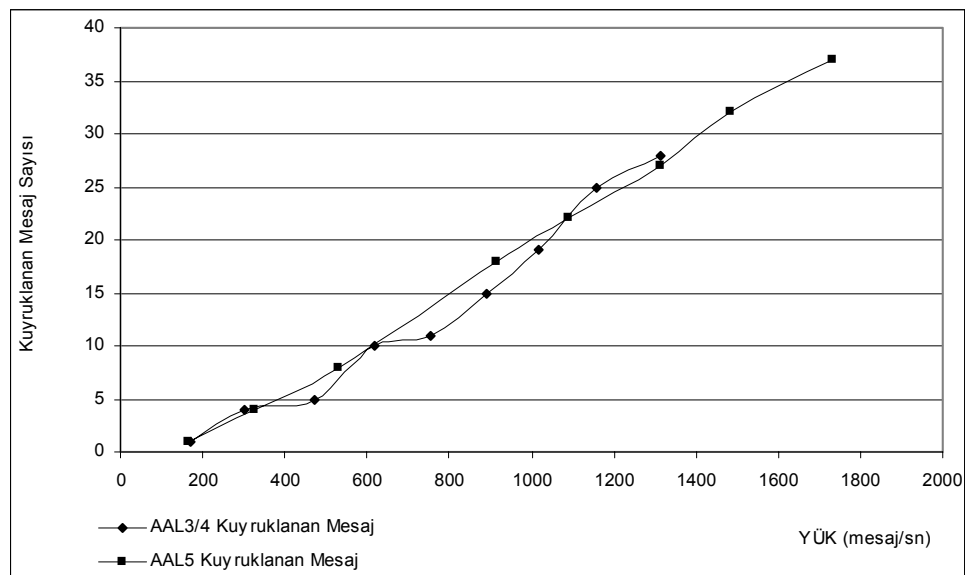




(f) AAL5

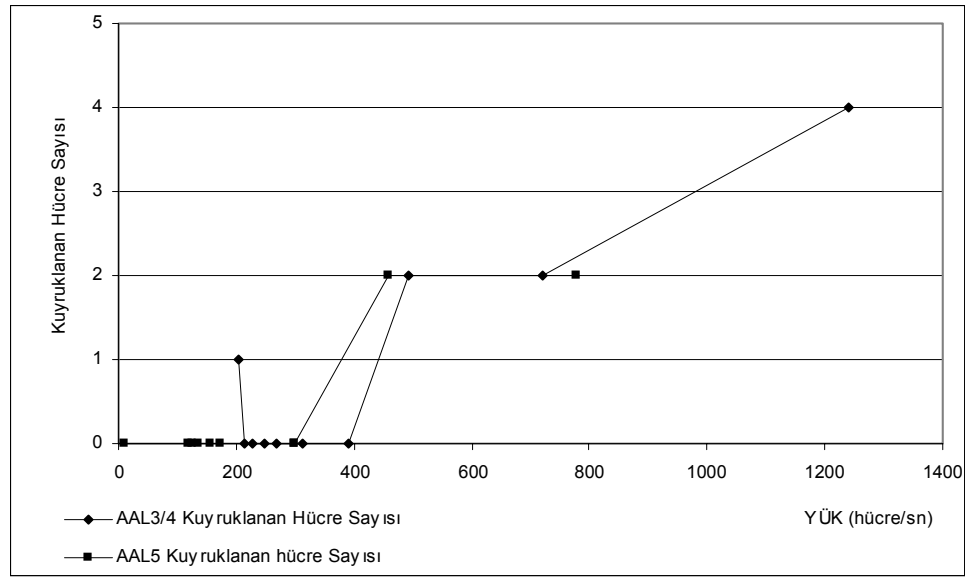
Şekil 3.42. AAL3/4 (a-c-e-) ve AAL5 (b-d-f) Trafiklerinde ATM-WorldFIP Süreç Zamanı

Şekil 3.43'de, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki WorldFIP'den ATM'e farklı yükler altında, köprünün WorldFIP tarafı tamponunda işlenmek üzere bekleyen mesaj sayısı değişimi görülmektedir. Köprülerin tampon boyutları, başarımını etkileyen önemli özelliklerden birisidir. Bu değişim grafiğini elde etmek için WorldFIP ağ düğümlerinin yerel/uzak mesaj oranları %90-%10'dan %10-%90'a kadar değiştirilerek köprü yüklenmiştir. WorldFIP tarafı tampon boyutu belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için en çok 28 mesaj, AAL5 için en çok 37 mesaj büyüklüğünde gerçekleşmiştir. AAL5 hizmet sınıfı hücre yapısında veri yükünün fazla olması, tamponlarda bekletilecek verininde büyük olmasına yani tampon bekleme süresi ve iletim süresinde artmasına neden olacağından, WorldFIP tarafı tamponunda işlenmek üzere bekleyen mesaj sayısı AAL3/4 hizmet sınıfına göre biraz daha yüksektir.



Şekil 3.43. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde Köprü WorldFIP Girişi İçin Kuyruklanan Mesaj Sayısı

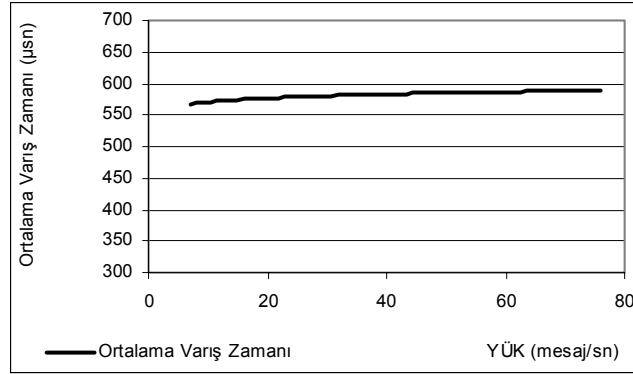
Şekil 3.44’de, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki ATM’den WorldFIP’e farklı yükler altında, köprünün ATM tarafı tamponunda işlenmek üzere bekleyen hücre sayısı değişimi görülmektedir. Bu değişim grafiğini elde etmek için, ATM ağ düğümlerinin yerel/uzak hücre oranları %50-%50 şeklinde ve mesaj sıklığı da üstel dağılımın orta değeri değiştirilerek köprü yüklenmiştir. ATM tarafı tampon boyutu belirtilen yük değişiminde en fazla AAL3/4 için 4 hücre, AAL5 için 2 hücre olarak gerçekleşmiştir. Genel olarak, tampon boyutunun yakın yüklerde her iki hizmet sınıfı için aynı olduğu ve yük arttıkça işlenmek üzere tamponunda bekleyen mesaj sayısının arttığı görülmektedir. Grafikte yük 205 hücre iken kuyrukta 1 hücre beklerken, 214 hücrelik yükte kuyrukta bekleyen hücre olmaması tamamen köprünün o anki diğer yükler, tamponlar ve birimlerdeki süreçlerle ilgili olup genel değerlendirmeyi etkilemeyen özel bir durumdur.



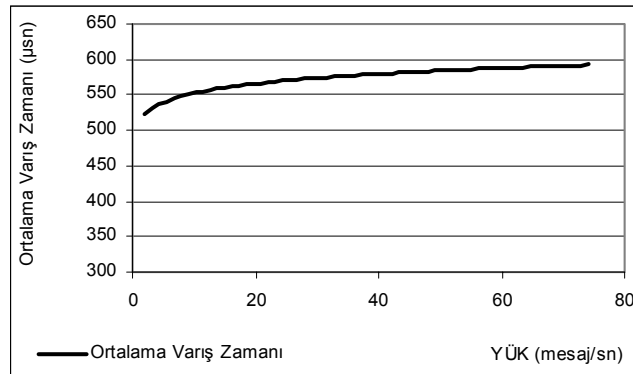
Şekil 3.44. AAL3/4 ve AAL5 Trafiklerinde Köprü ATM Girişi İçin Kuyruklanan Hücre Sayısı

Şekil 3.45’de, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki WorldFIP’den ATM’e farklı yükler altında gönderilen C1A3 mesajının hedef düğüme ortalama varış zamanı görülmektedir. Bu değişim grafiğın elde etmek için WorldFIP ağ düğümlerinin yerel/uzak mesaj oranları %90-%10’dan %10-%90’a kadar değiştirilerek köprü yüklenmiştir. C1A3 mesajının ortalama varış zamanı belirtilen yük değişiminde AAL3/4 ve AAL5 için 560 – 590 µsn olarak gerçekleşmiştir. Aynı büyüklükteki veri, AAL3/4’e göre AAL5 ile daha az sayıda hücre ile taşınacağından WorldFIP

mesajının hedef düğüme varış toplam zamanı AAL5 hücreleri ile daha kısa sürecektir. Bu durum grafiklerde mesaj sayısının az olduğu durumlarda daha belirgin görülmektedir.



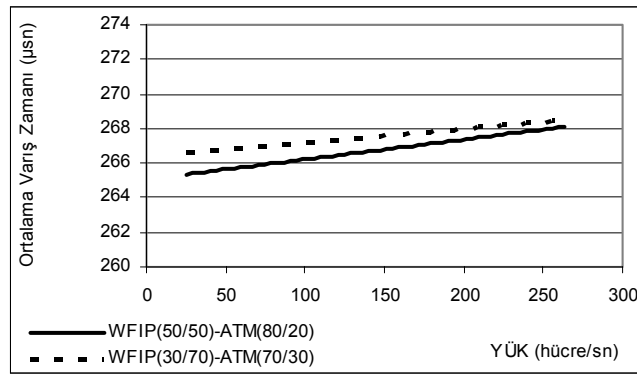
(a) AAL3/4



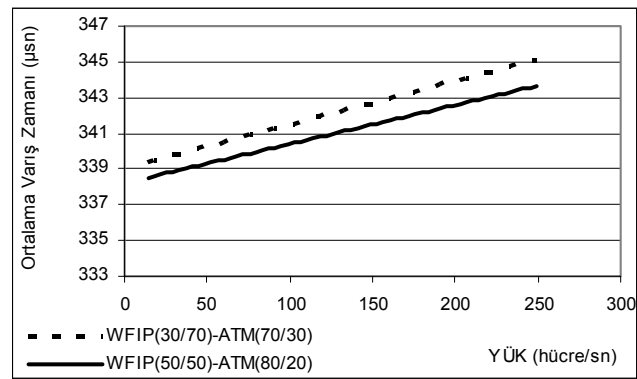
(b) AAL5

Şekil 3.45. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde C1A3 WorldFIP Mesajının Hedefine Ortalama Varış Zamanı

Şekil 3.46’da, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki ATM’den WorldFIP’e farklı yükler altında gönderilen A3C5 hücrelerinin hedef düğüme ortalama varış zamanı görülmektedir. Bu değişim grafiğini elde etmek için WorldFIP ağ istasyonlarının yerel/uzak mesaj oranları %50-%50, %30-%70 şeklinde, ATM ağ bilgisayarlarını yerel/uzak hücre oranları ise %80-%20, %70-%30 şeklinde ve mesaj sıklığı da üstel dağılımın orta değeri değiştirilerek köprü yüklenmiştir. A3C5 hücresinin ortalama varış zamanı belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için 265 – 269 µsn, AAL5 için 338 – 345 µsn aralıklarında gerçekleşmiştir. AAL5 hücresinin yapısı ve WorldFIP mesaj çerçevesine dönüşüm algoritmasının AAL3/4’den farklı olması AAL5’in gecikmesinin fazla olmasına neden olmaktadır.



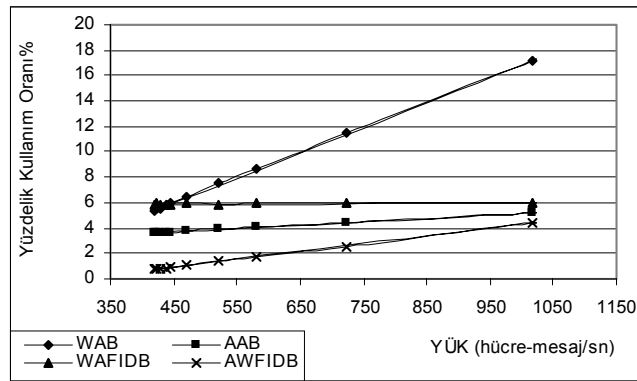
(a) AAL3/4



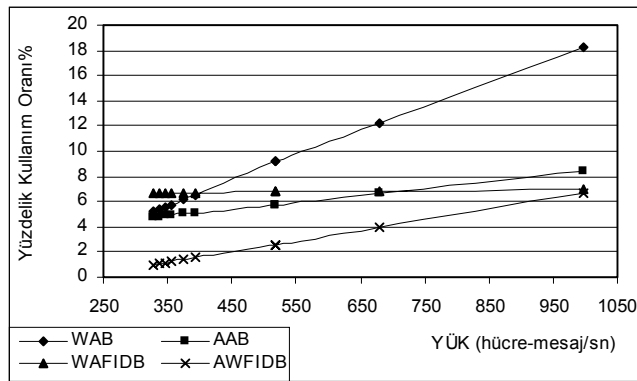
(b) AAL5

Şekil 3.46. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde A3C5 ATM Hücresinin Hedefte Ortalama Varış Zamanı

Şekil 3.47’de, AAL3/4 ve AAL5 trafiklerindeki farklı WorldFIP ve ATM ağ yüklerinde köprü birimlerinin kullanım yüzdesi değişimleri görülmektedir. Bu değişim grafiklerini elde etmek için WorldFIP ağ istasyonlarının yerel/uzak mesaj oranları %70-%30, %50-%50, %30-%70 şeklinde, ATM ağ bilgisayarlarını yerel/uzak hücre oranları %90-%10, %80-%20, %70-%30 şeklinde ve mesaj sıklığı da üstel dağılımın orta değerinin değiştirilmesi ile farklı yükler oluşturulmuştur. AAL3/4 hizmet sınıfı için WAB’ın kullanım oranı yaklaşık %5,5 – %17, WAFİDB’nin yaklaşık %6, AAB’nin yaklaşık %3,6 – %5,5, AWFİDB’nin yaklaşık %0,7– %4,3 olarak gerçekleşmiştir. AAL5 hizmet sınıfı için ise WAB’ın kullanım oranı yaklaşık %5,2 – %18,2, WAFİDB’nin yaklaşık %7, AAB’nin yaklaşık %4,7 – %8,3, AWFİDB’nin yaklaşık %0,9– %6,6 olarak gerçekleşmiştir. Yük arttıkça köprü birimlerinin kullanım oranlarının arttığı görülmektedir. WAFİDB, AWFİDB’de AAL5’de kullanım oranı AAL3/4’e göre biraz artmakta çünkü çerçeve/hücre dönüşüm işlemlerinde AAL5 hücresinin yapısı farklılık göstermektedir.



(a) AAL3/4



(b) AAL5

Şekil 3.47. AAL3/4 (a) ve AAL5 (b) Trafiklerinde Köprü Birimlerinin Kullanım Yüzdesinin Değişimi

### 3.6. Sonuç

Bu bölümde, tez çalışmasında gerçekleştirilen endüstriyel ağ protokollerinden WorldFIP ve günümüzün en hızlı asenkron çerçeve anahtarlamalı ağ protokollerinden olan ATM ağ arasında köprüleme işlevlerini yapan “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü” sunularak, Network II.5 programında modellenmesi, benzetimi ve başarımları analiz edilmiştir.

WorldFIP ve ATM yerel alan ağ modelleri tasarlanarak bu ağlar arasındaki bağlantıyı sağlayacak WorldFIP-ATM köprü modeli tasarlanmıştır. Köprü tasarlanırken, farklı iki ağın farklı öncelik mekanizmalarına, farklı yönlendirme algoritmalarına, farklı topoloji ve ortam erişim tekniklerine, farklı çerçeve ve hücre yapılarına dikkat edilmiştir. Bu uyumsuz özellikler, köprünün mantıksal bağ kontrol altkatmanı (LLC-Logic Link Control) ve ortam erişim kontrol altkatmanı

(MAC-Medium Access Control) seviyelerindeki, veribağı katmanında (DLL-Data Link Layer) yapılmıştır. Bu tasarım ile IEEE802.1D köprüleme standardına göre iki farklı yerel alan ağı başarı ile birleştirilmiştir.

Köprü tasarımı, gerçek zamanlı haberleşme özelliklerini destekleyen ATM protokolünün AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarına göre üretilen trafikleri köprü üzerinden iletebilecek biçimde gerçekleştirilmiştir.

Başarım analizi, köprünün her iki yöndeki ortalama süreç zamanları, her iki yöndeki düğümden düğüme ortalama mesaj/hücre varış zamanları, her iki yöndeki tampon bellek boyutları ve köprü birimleri ile ağ veri yollarının yüzdeler kullanım oranlarına ait veriler incelenerek yapılmış ve grafikler ile sunulmuştur.

Değerlendirme sonunda; WorldFIP-ATM süreç zamanı belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için yaklaşık 206 – 221  $\mu$ sn, AAL5 için yaklaşık 232 – 239  $\mu$ sn, ATM–WorldFIP süreç zamanı ise AAL3/4 için yaklaşık 2,5 – 3,2 msn, AAL5 için yaklaşık 2,5 – 3,3 msn olarak gerçekleşmiştir. AAL5'in AAL3/4'e göre biraz daha yüksek olmasının nedeni AAL5 hücre yapısının veri yükünün fazla olmasından dolayı tamponlarda bekletilecek verinin de büyük olması ve WorldFIP'e dönüştürme sürecinin daha uzun sürmesi, yani tamponda bekleme süresinin ve veri iletim sürelerinin artmasındandır.

WorldFIP tarafı tampon boyutu belirtilen yük değişiminde AAL3/4 için en çok 28 mesaj, AAL5 için en çok 37 mesaj büyüklüğündeyken, ATM tarafı tampon boyutu belirtilen yük değişiminde en fazla AAL3/4 için 4 hücre, AAL5 için 2 hücre olarak gerçekleşmiştir. Yük arttıkça işlenmek üzere tamponunda bekleyen mesaj/hücre sayısının arttığı görülmektedir.

WorldFIP düğümünden ATM düğümüne C1A3 mesajının ortalama varış zamanı AAL3/4 ve AAL5 için 560 – 590  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. Ancak, aynı büyüklükteki veri, AAL3/4'e göre AAL5 ile daha az sayıda hücre ile taşınacağından WorldFIP mesajının hedef düğüme varış toplam zamanı AAL5 hücreleri ile daha kısa sürecektir. ATM düğümünden WorldFIP düğümüne ortalama varış zamanı

A3C5 hücresiyle belirlenmiş ve AAL3/4 için 265 – 269  $\mu$ sn, AAL5 için 338 – 345  $\mu$ sn aralıklarında gerçekleşmiştir. AAL5 hücresinin yapısı ve WorldFIP mesaj çerçevesine dönüşüm algoritmasının AAL3/4'den farklı olması AAL5'in gecikmesinin fazla olmasına neden olmaktadır.

Her iki yöndeki köprü süreçleri esnasında birimlerin kullanım oranları AAL3/4 hizmet sınıfı için WAB'ın kullanım oranı yaklaşık %5,5 – %17, WAFİDB'nin yaklaşık %6, AAB'nin yaklaşık %3,6 – %5,5, AWFİDB'nin yaklaşık %0,7– %4,3 olarak gerçekleşmiştir. AAL5 hizmet sınıfı için ise WAB'ın kullanım oranı yaklaşık %5,2 – %18,2, WAFİDB'nin yaklaşık %7, AAB'nin yaklaşık %4,7 – %8,3, AWFİDB'nin yaklaşık %0,9– %6,6 olarak gerçekleşmiştir. Yük arttıkça köprü birimlerinin kullanım oranlarının arttığı görülmektedir. WAFİDB, AWFİDB'de AAL5'de kullanım oranı AAL3/4'e göre biraz artmakta çünkü çerçeve/hücre dönüşüm işlemlerinde AAL5 hücresinin yapısı farklılık göstermektedir.

Bu sonuçlar tasarlanan “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü” gecikmelerinin literatürde belirtilerek kabul gören, süreç teknolojilerindeki tolere edilebilir gecikme değeri olan 100–300\_msn, üretim teknolojilerindeki tolere edilebilir gecikme değeri 10–100\_msn ve sürücü sistemlerindeki tolere edilebilir gecikme için 1–10 msn değerlerinin altında olduğu ve gerçek zamanlı haberleşme gereksinimleriyle kısıtlamalarını sağladığı tespit edilmiştir [100, 52].

## **BÖLÜM 4. WorldFIP, CAN ve PROFIBUS ENDÜSTRİYEL İLETİŞİM SİSTEMLERİNİN ATM OMURGA ÜZERİNDEN ARABAĞLAŞIMI**

### **4.1. Giriş**

Ağlar fiziksel büyüklük ve coğrafi yerleşimlerine göre Yerel Alan Ağları, Şehir Alan Ağları, Geniş Alan Ağları olarak sınıflandırılırlar. LAN'lar 7 km'ye kadar, MAN'lar 7 km–100 km arasındaki, WAN'lar 100 km'den daha büyük mesafeler içerisindeki düğümlerin haberleştirilmelerinde kullanılır. LAN, WAN ve MAN ağları kurmak için farklı teknolojiler kullanılır.

WAN teknolojileri farklı ölçütlere göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflamalar projelendirme aşamasında kullanılması gereken teknolojiyi ve omurga yapısını (backbone) ortaya çıkarır.

ATM, sunduğu değişik hizmet sınıfları desteği en önemli WAN protokol teknolojilerindedir. Protokol yapısından dolayı ATM, endüstriyel ağ uygulamalarında da kullanılmaktadır.

Bu bölümde, Bölüm 3'de detayları sunulan “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü” ile [25] çalışmasında başarımları analizleri yapılan “İki Portlu PROFIBUS/ATM Saydam Çevirimli Köprü” ve “İki Portlu CAN/ATM Saydam Çevirimli Köprü”leri kullanılarak WorldFIP, PROFIBUS ve CAN ağlarının birbiri ile haberleştirilmesini sağlayacak bir ATM omurgalı arabağlaşım sistemi tasarımı, modellenmesi, benzetimi ve başarımları analizi yapılmaktadır.



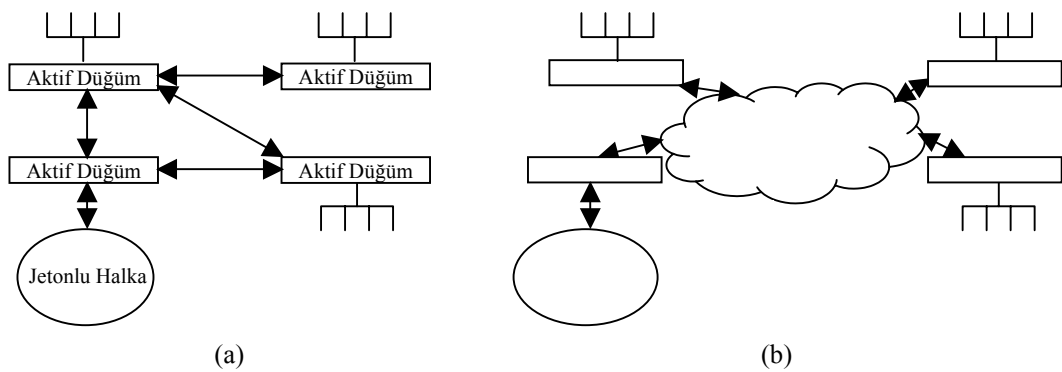
## 4.2. WAN Teknolojileri ve Omurga Yapıları

WAN teknolojileri bağlantı durumuna, anahtarlama yöntemine ve topolojik yapısına göre sınıflandırılabilir [30]. Bu sınıflamalar projelendirme aşamasında kullanılması gereken teknolojiyi ve omurga yapısını ortaya çıkarır.

WAN Teknolojilerinin Bağlantı Durumuna Göre Sınıflandırılması; WAN teknolojileri bağlantı durumuna göre noktadan noktaya ve bulut teknolojisi ile bağlantı olarak iki grupta sınıflandırılır.

- Noktadan Noktaya Bağlantı; iki düğüm arasında noktadan noktaya özel bir hattın olduğu bağlantı türüdür (Şekil 4.1.a). Bu hat özel olarak çekilebileceği gibi genelde telekom hizmeti veren sağlayıcılardan kiralanılan hatlar (leased line) ile yapılır. Sabit miktarda band genişliği sağlar ve mesh (örümcek ağı) topolojisi kullanılan ağlarda maliyet çok fazladır.

- Bulut Teknolojisi ile Bağlantı; iletişim yapılmadan önce bağlantı kurulması yöntemine dayanır. Düğümler noktadan noktaya bağlantının aksine birbirine doğrudan değil, sanal olarak oluşturulmuş bir bulut ile bağlanırlar (Şekil 4.1.b). Bulut içerisindeki bir düğüm, diğer bir düğüme iletişim gerektiği anda bağlanır ve iletişim sonlandığında bağlantı koparılır. Bu teknolojiye bulut, hizmet veren konumundadır ve her bulut teknolojisi kendine has kullanıcı ve ağ arayüzüne sahiptir. Hattın band genişliği tüm kullanıcılar tarafından dinamik olarak paylaşılır.



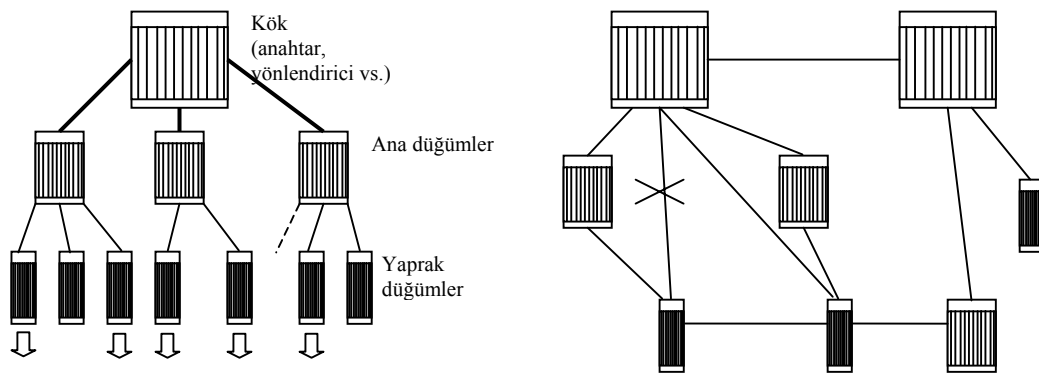
Şekil 4.1. a) Noktadan Noktaya Bağlantı, b) Bulut Teknolojisi

WAN Teknolojilerinin Anahtarlama Yöntemine Göre Sınıflandırılması; Anahtarlama yöntemine dayanan ağ topolojileri, bulut teknolojisini tarif ederler ve bu teknolojinin sahip olduğu özellikleri içerirler. Bölüm 2.2’de detayları verilen WAN teknolojileri anahtarlama yöntemleri, Devre Anahtarlama (Circuit Switching), Mesaj Anahtarlama (Message Switching) ve Paket Anahtarlama (Packet Switching) olarak üç farklı şekilde sınıflanabilir.

WAN Teknolojilerinin Topolojik Yapıya Göre Sınıflandırılması; WAN teknolojileri topolojik yapıya göre hiyerarşik topoloji ve mesh topoloji olarak iki yapıda sınıflandırılır.

- Hiyerarşik Topoloji; yönetim sorumluluğu veya kapasitesi farklı olan cihazlar sorumluluk ve işlevlerine göre sıralanarak birbirlerine bir ağ yapısında bağlanırlar (Şekil 4.2.a). Ağacın kökünde sorumluluğu ve anahtarlama kapasitesi en yüksek olan düğüm, yapraklarda ise en düşük cihazlar bulunur. Bu topolojide ağ yönetimi daha kolay olur, ağ düğümlerinin en verimli şekilde kullanılabileceği öngörülebilir, cihazların port band genişlikleri en etkin şekilde paylaşılabilir.

- Mesh Topolojisi; bu yapıyı oluşturan düğümler direk birbirleri ile birebir bağlanarak veya sadece gerekli düğümler birbirleri ile bağlanarak Şekil 4.2.b’de görüldüğü gibi serbest bağlantılı bir mimariye sahiptir. Ağ yapısı üzerindeki düğümlerden birinin devre dışı kalması o düğüm ile kurulan bağlantı yolunun diğer düğümler üzerinden tekrar kurulması gibi bir avantaja sahip olmasına karşın maliyeti çok fazladır.



Şekil 4.2. a) Hiyerarşik Topoloji Mimarisi, b) Mesh Topoloji Mimarisi

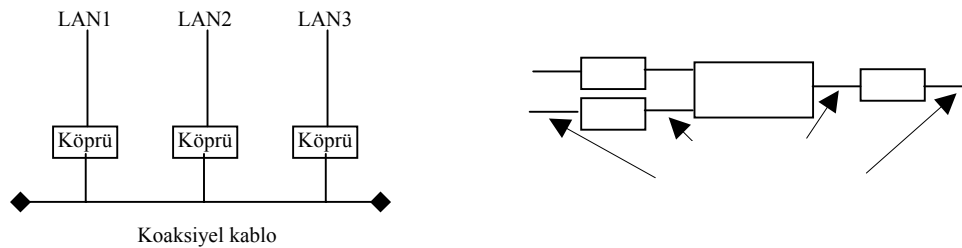
### 4.2.1. Omurga yapıları

Omurga, ağın en yoğun trafiğini taşıyan parçasıdır. Bir binanın içerisine, şehre veya bölgeye yayılmış olan LAN'ları birbirine bağlamak amacıyla kullanılır. FDDI, Ethernet, Token Ring, vb. ağ trafikleri yüksek hızlı omurgalar üzerinden iletilerek ağlar arası haberleşme gerçekleştirilir.

Omurgaların genel karakteristikleri; yol optimizasyonu, trafik önceliği, yük dengeleme, alternatif yollar oluşturabilme, anahtarlama erişim ve kapsülleme ile veri aktarımı olarak sıralanabilir. Dağıtım hizmetleri, omurga bandgenişliği yönetimi, alan ve servis filtreleme, dağıtık tabanlı güvenlik, geçitkapısı hizmetleri, tekrar dağıtım için iç yönlendirme protokolü olarak değerlendirilebilir [101].

Omurga aktif düğümleri (IWU-Interworking Unit) olarak köprü, anahtar, yönlendirme düğümleri ve geçityolları kullanılır [102]. Fakat bunların yanında modemle kurulmuş noktadan noktaya omurgalar ve omurga teknolojisinin kendine özel arabirimlerinin kullanıldığı yapılara da rastlanabilir.

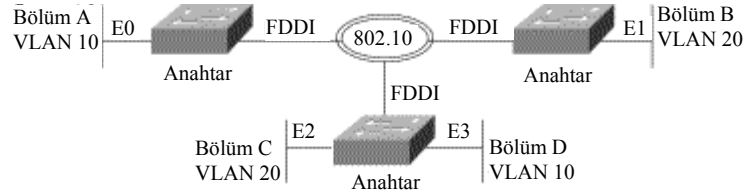
- Köprülü omurgalar, genişletilmiş omurga (extended backbone) ve daraltılmış omurga (collapsed backbone) olarak iki değişik yapıda tasarlanırlar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. a) Köprülü Genişletilmiş Omurga, b) Köprülü Daraltılmış Omurga

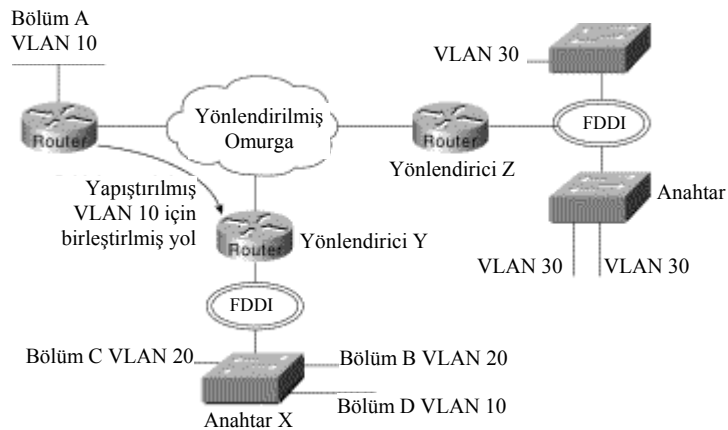
WAN omurga üzerinden güvenli veri akışının sağlanması için gerekli tanımlamalar IEEE 802.10'da yapılmıştır. IEEE 802.10, kurulacak sanal ağlara (VLAN) ait trafiği omurga üzerinden yürütmek için anahtarlama omurga ve yönlendirmeli omurga yöntemleri kullanır [101].

- Anahtarlama omurga (switched backbone); sadece aynı sanal ağın bölümleri arasındaki trafik akışını gerçekleştirir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi sadece A ve D ağları ile B ve C ağları birleştirilebilir.



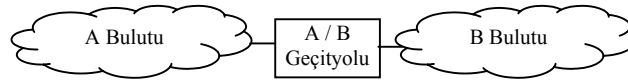
Şekil 4.4. IEEE 802.10 Anahtarlama Omurga

- Yönlendirmeli omurga (routed backbone); anahtarlama omurgada olduğu gibi sadece aynı sanal ağın bölümleri arasındaki trafik akışını gerçekleştirir. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi sadece A ve D ağları ile B ve C ağları birleştirilebilir. Buradaki en önemli fark, sanal ağın bir alt ağ kullanmasıdır. X anahtarı için VLAN 20 sanal ağının alt ağındaki düğümler arası trafik yerel anahtarlama değildir. VLAN 20 sanal ağındaki bir düğümden VLAN 30 sanal ağ alt ağındaki bir düğüme iletilen trafik, Y yönlendiricisi tarafından omurga üzerinden Z yönlendiricisine iletilir. Eğer trafik VLAN 10 sanal ağındaki D bölümünden VLAN 20 sanal ağındaki bir düğüme ise Y yönlendiricisi, FDDI arabirimini devre dışı bırakır.



Şekil 4.5. Yönlendirmeli Omurga

- Geçityolları ise daha çok WAN'ları birbirine bağlamak için kullanılır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Omurgaların Geçityolu İle Birleştirilmesi

Bir WAN sistem projelendirildiğinde, ağı gerçek trafik yükünü taşıyacak omurga yapısı ortaya konulmuş olur. Bu yapı bağlantı, anahtarlama ve topoloji şekline göre belirlenir.

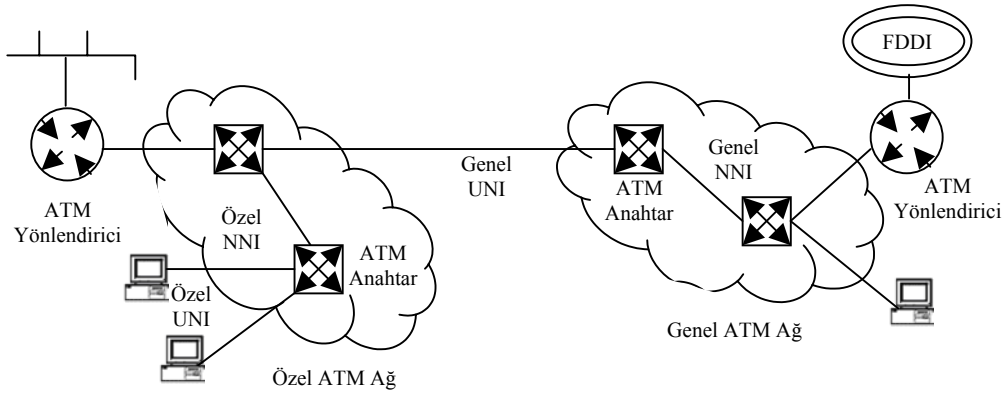
### 4.3. ATM Omurgalar

WAN bulut teknolojilerinden Çerçeve Aktarma (FR-Frame Relay), LAN'dan LAN'a ve LAN'dan WAN'a kısa süreli yoğun trafiğin olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Frame Relay Forum ve ATM Forum arasında eşzamanlı bir anlaşma ile 1995 yılında ATM ve FR arası Kalıcı Sanal Devre (PVC-Permanent Virtual Circuit) ortamlarında ortak çalışma prensipleri geliştirilmiştir.

ATM, hem LAN hem de WAN ağlarda kullanılan bir teknolojidir. Yerel alan ağlarının veya istemci ve sunucuların ATM omurgalar üzerinden birbirlerine bağlanması, yerel alan ağlarının bağlantısız özelliklerinin, ATM sisteminin bağlantılı ortamında taklit edilmesini gerektirir. Bu işlem LAN benzetme (LANE-LAN Emulation) olarak isimlendirilir ve genellikle sunucu yazılımında, ATM ağ adaptöründe veya anahtarlarında gerçekleştirilir.

#### 4.3.1. ATM ağ arayüzleri

ATM ağ topolojisi Şekil 4.7'de görüldüğü gibi noktadan noktaya (point to point) bağlantılardan oluşur. ATM yönlendiriciler ve ATM uç istasyonları doğrudan ATM anahtarlara bağlanırlar. ATM yönlendiriciler, mevcut ağların ATM ağlara bağlanmasını sağlar. Anahtarlar ise birbirlerine bağlanarak ATM ağ omurgasını oluştururlar.

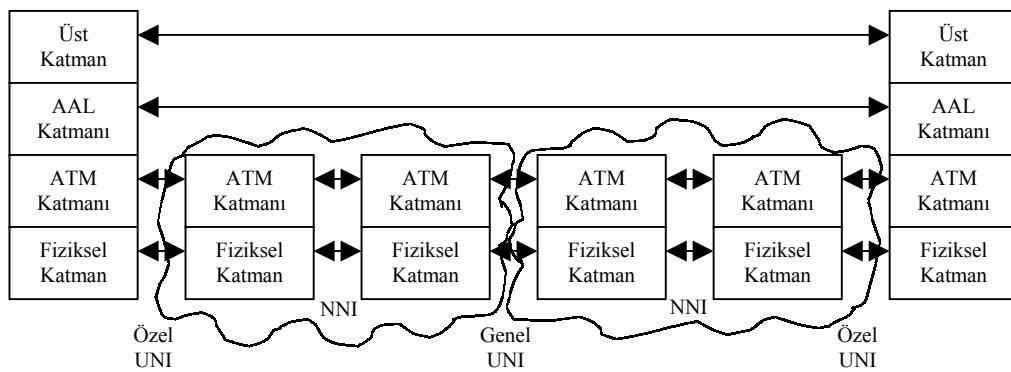


Şekil 4.7. Ağ arayüzlerini gösteren ATM topolojisi

ATM ağlarda dört farklı arayüz bulunmaktadır. Özel kullanıcı-ağ arayüzü (Private UNI), kullanıcı düğümü ile özel ATM anahtar arasındaki birimdir. Genel kullanıcı-ağ arayüzü (Public UNI), özel ATM anahtar ile genel ATM anahtar arasındaki birimdir. Özel ağ-ağ arayüzü (Private NNI), özel ağdaki anahtarlar arasındaki birim ve genel ağ-ağ arayüzü (Public NNI), genel ağdaki anahtarlar arasındaki birimdir [69].

ATM anahtarlar kullanıldıkları uygulama alanlarına göre kampüs ATM anahtarları, şirket ATM anahtarları, çok amaçlı ATM anahtarları olarak sınıflandırılırlar ve her birinin teknik kapasite ve özellikleri birbirinden farklıdır [102, 101].

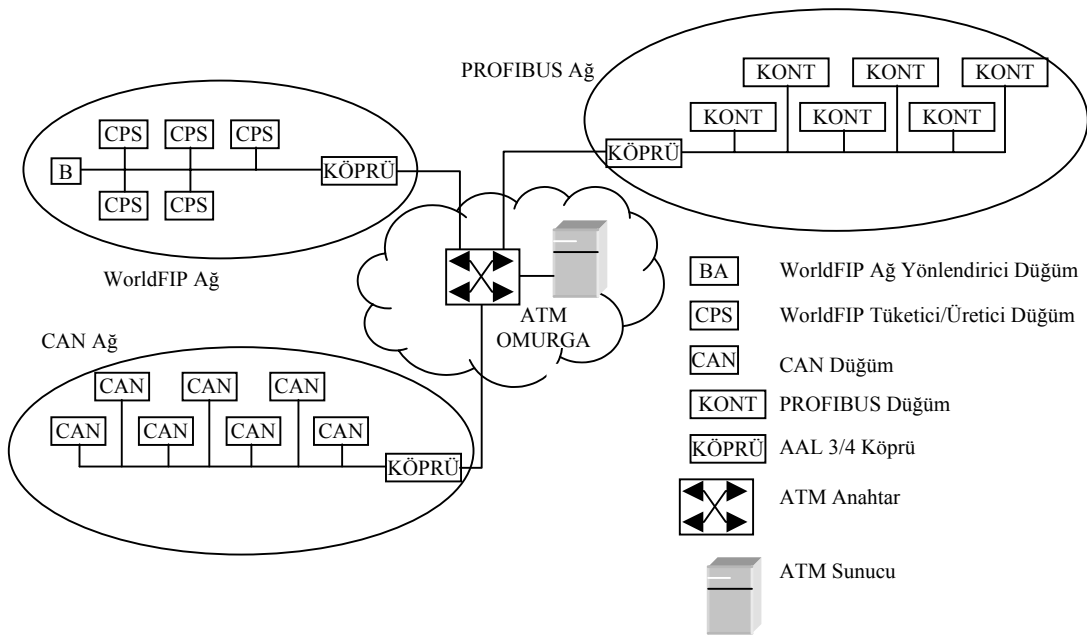
B-ISDN modeli ile ağ topolojisi arasındaki ilişki Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Genel olarak özel UNI bağlantıları B-ISDN modelinin tüm katmanlarının işlevlerini gerçekleştirirken, diğer arayüzlerde sadece ATM ve fiziksel katman işlevleri gerçekleştirilir.



Şekil 4.8. Ağ arayüzlerindeki ATM protokol fonksiyonlarının etkileşimi

#### 4.4. PROFIBUS, CAN ve WorldFIP Endüstriyel Ağlarının ATM Omurga Kullanılarak Arabağlaşımının Tasarımı, Modellenmesi ve Benzetimi

Şekil 4.9’da, modellenen ATM ağ omurga tasarımı görülmektedir. ATM omurga, bulut teknolojisinden ve hiyerarşik topolojiden oluşmaktadır. Omurga hiyerarşisinde; en üstte kök durumunda ATM sunucu, bir alt seviyede köprüler ve en alt seviyede endüstriyel ağlar olacak şekilde yapılandırılmıştır.

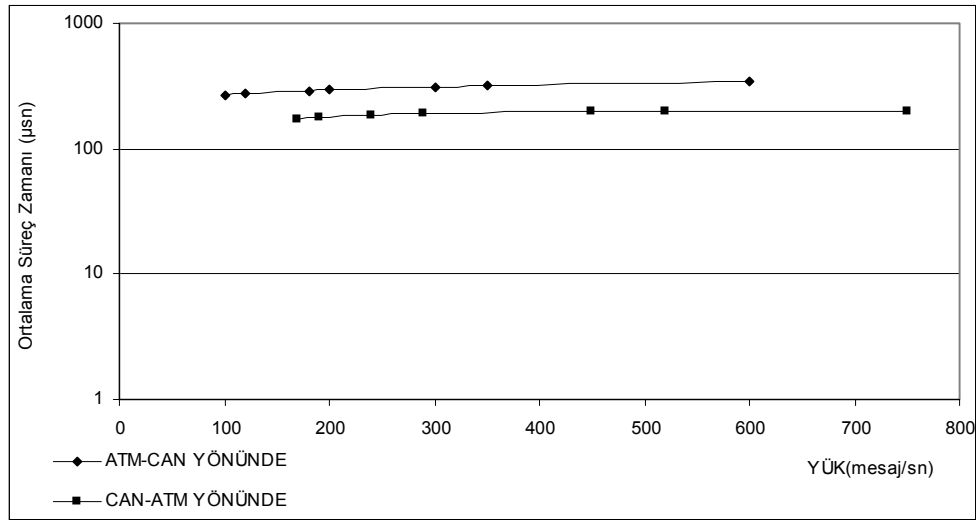


Şekil 4.9. Tasarlanan ATM Omurga Modeli

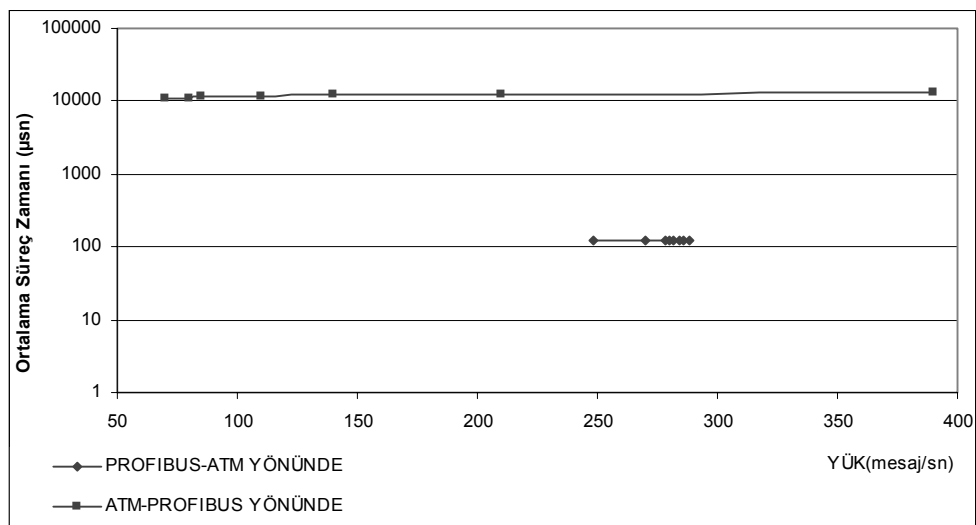
Tasarlanan omurga modellenirken, ATM anahtar 155 Mbps anahtarlama hızına sahip IBM 8285 Nways ATM Workgroup anahtar olarak seçilmiştir. Omurgaya bağlı ağlar arasında, Kalıcı Sanal Devre (PVC) bağlantısı yöntemi kullanılmaktadır. Kabul edilen yöntem gereği, hangi düğümlerin birbirleriyle haberleşeceği başlangıçta tanımlanmaktadır.

ATM omurga ve omurga üzerinden haberleşen WorldFIP, CAN ve PROFIBUS endüstriyel ağlara ait modellerinin benzetimleri Network II.5 benzetim programı ile yapılmıştır. Bölüm 3.1’de yapısı sunulan Network II.5 benzetim programı, desteklediği işlem elemanları, iletim cihazları ve depolama cihazları ile bölüm içerisinde detayları verilecek haberleşme özelliklerini modellemeye uygundur.

Tasarlanan ATM omurgaya bağı CAN, PROFIBUS ve WorldFIP endüstriyel protokol ağlarına ait köprü gecikmeleri Şekil 4.10'da logaritmik olarak verilmiştir. Bu gecikmeler her bir ağın %70/%30 yerel/uzak trafik yüklerindeki değerleridir. Şekil 4.10.a'da farklı yükler altında köprünün portları arası uçtan uca ortalama gecikme değerleri ATM-CAN yönünde 270 – 350  $\mu$ sn ve CAN-ATM yönünde 170 – 200  $\mu$ sn olmuştur. Şekil 4.10.b'de ATM-PROFIBUS yönünde 11050 – 12950  $\mu$ sn ve PROFIBUS-ATM yönünde 125  $\mu$ sn gecikmeler meydana gelmiştir. Şekil 4.10.c'de ATM-WorldFIP yönünde 206 – 221  $\mu$ sn ve WorldFIP-ATM yönünde 2504 – 2937  $\mu$ sn olarak gerçekleştiği görülmektedir.

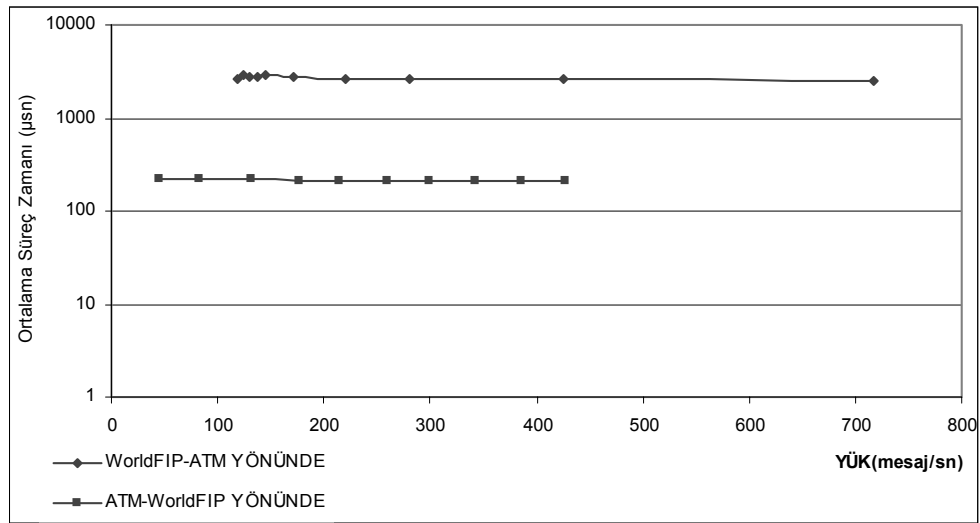


(a) CAN-ATM Köprü Gecikme Değerleri



(b) PROFIBUS-ATM Köprü Gecikme Değerleri





(d) WorldFIP-ATM Köprü Gecikme Değerleri

Şekil 4.10. a) CAN-ATM, b) PROFIBUS-ATM, c) WorldFIP-ATM Köprülerin Portlar Arası Uçtan Uca Ortalama Gecikme Değerleri

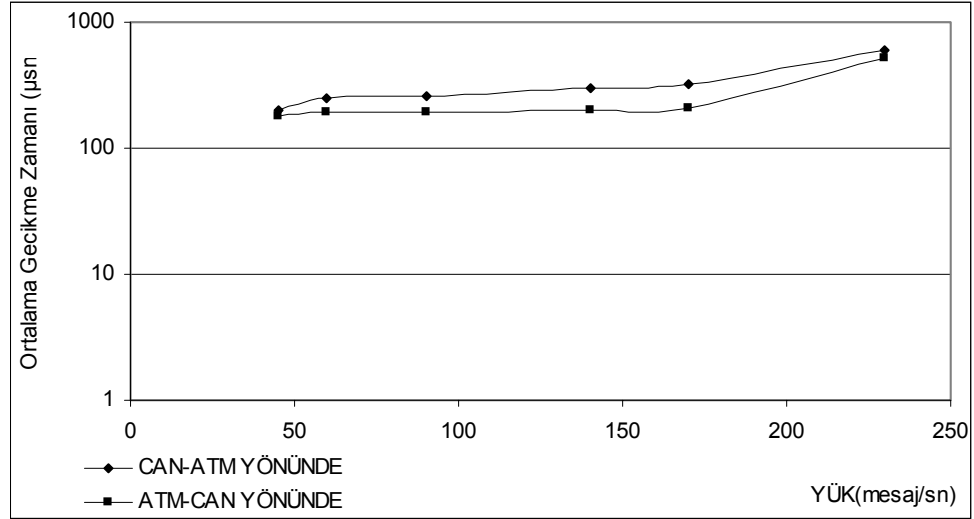
Tablo 4.1'de, endüstriyel ağ düğümlerinin ATM ağ düğümleri ile uçtan uca haberleşme gecikmelerini oluşturan temel değerler verilmiştir. ATM omurga modeli bu gecikme değerlerine göre geliştirilmiştir.

Tablo 4.1. Uçtan Uca Haberleşme Modelinde Meydana Gelen Temel Gecikmeler

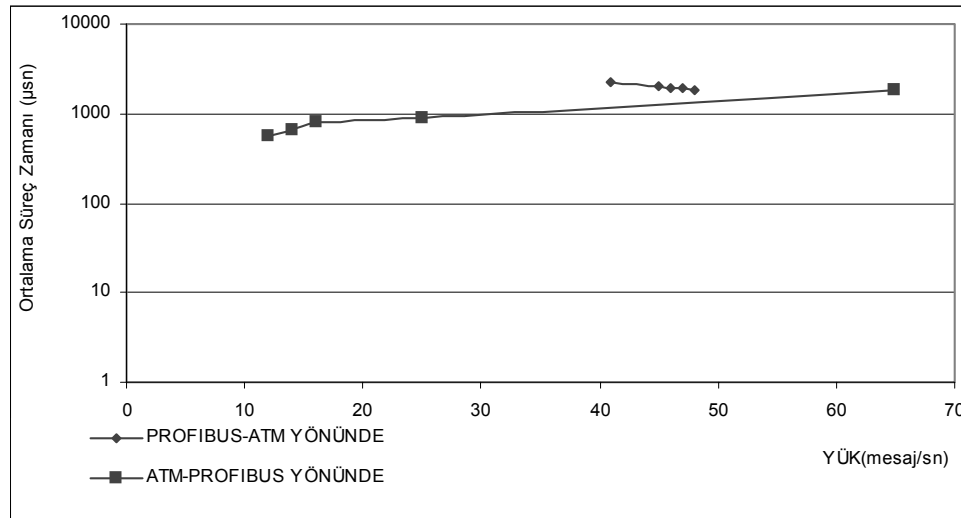
$G_{oku}$	Yollayan uçtaki cihazın algılayıcısından veri almaya yönelik uygulama işlem süresidir.
$G_{paketle}$	Alınan verinin veri paketi haline dönüştürülmesi için gereken süredir.
$G_{vollavıcı-bekle}$	Yollayıcı uçtan paketin iletim yoluna verilmesi için beklenen süredir.
$G_{iletim-köprü}$	Uç ve köprü iletim yolunda geçen iletim süresidir.
$G_{köprü}$	Köprü işlevlerinin icra süresidir.
$G_{iletim-anahtar}$	Köprü ve anahtar iletim yolunda geçen iletim süresidir.
$G_{iletim-ATM}$	Anahtar ve ATM ağ iletim yolunda geçen iletim süresidir.
$G_{ATM}$	ATM ağda gelen hücrelerin birleştirilerek işlenmesi ve gereken verilerin hazırlanarak diğer ağlara gönderilmesi için geçen süredir.
$G_{alıcı-bekle}$	Alıcı ucun paketin iletim yolundan alınabilmesi için beklediği süredir.
$G_{paketçöz}$	Alınan paketin veri alanını haline dönüştürülmesi için gereken süredir.
$G_{vaz}$	Alan uçtaki cihazın aktuatörünün gelen veriyi uygulama işlem süresidir.

Tasarlanan ATM omurgaya bağlı CAN, PROFIBUS ve WorldFIP endüstriyel protokol ağlarındaki düğümler ile ATM ağ düğümleri arasındaki uçtan uca ortalama mesaj varış zamanları Şekil 4.11'de logaritmik olarak verilmiştir. Bu gecikmeler, her bir ağın %70/%30 yerel/uzak trafik yüklerindeki değerleridir. Şekil 4.11.a'da farklı yükler altında düğümler arası uçtan uca ortalama gecikme değerleri ATM-CAN yönünde 180 – 510 µsn ve CAN-ATM yönünde 200 – 600 µsn olduğu görülmektedir. Şekil 4.11.b'de ATM-PROFIBUS yönünde 550 – 1800 µsn ve

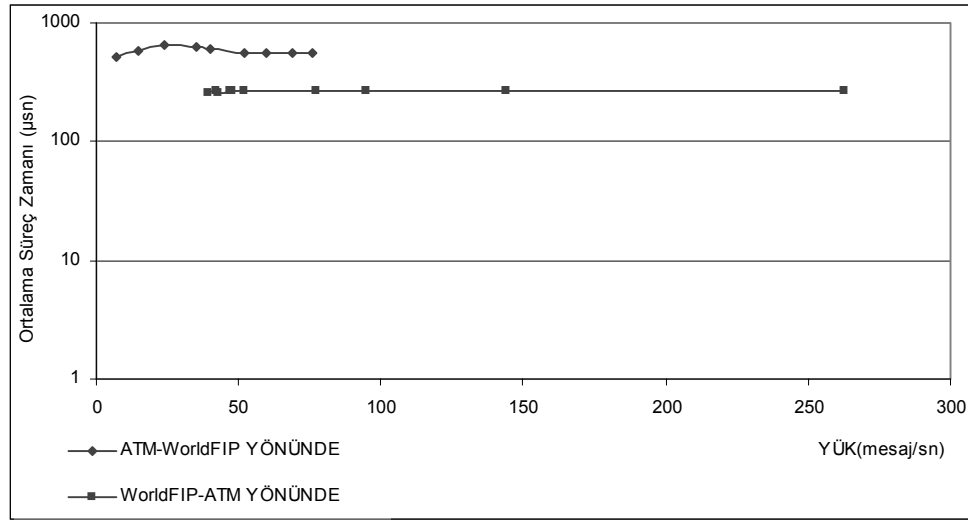
PROFIBUS-ATM yönünde 1850 – 2300  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.11.c’de ATM-WorldFIP yönünde 523 – 650  $\mu$ sn ve WorldFIP-ATM yönünde 262 – 271  $\mu$ sn değerleri tespit edilmiştir.



(a) CAN-ATM Ağ Gecikme Değerleri



(b) PROFIBUS-ATM Ağ Gecikme Değerleri



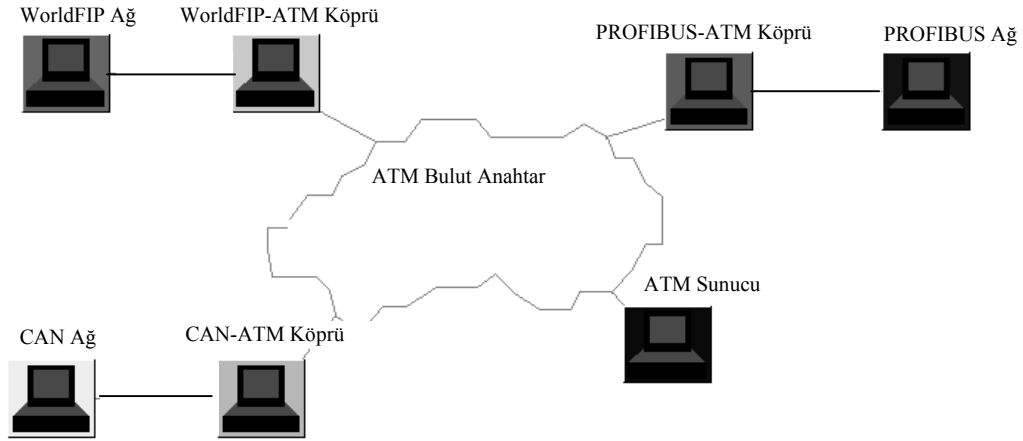
(d) WorldFIP-ATM Ağ Gecikme Değerleri

Şekil 4.11. a) CAN-ATM, b, c) PROFIBUS-ATM, d, e) WorldFIP-ATM Ağ Düşümleri Arası Uçtan Uca Ortalama Gecikme Değerleri

#### 4.4.1. ATM omurganın benzetim sonuçları ve başarımlı analizi

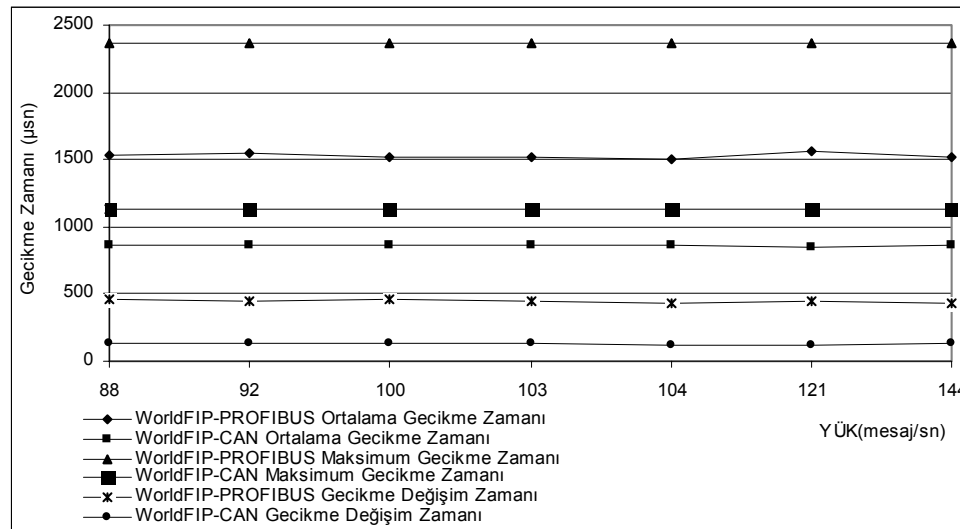
Omurganın başarımlı, uçtan uca gecikme süreleri incelenerek değerlendirilir [102]. Değerlendirmelerde maksimum gecikme, ortalama gecikme ve gecikme değışimi istatistiksel değerleri ele alınmıştır. Maksimum gecikme en kötü durumu gösterirken, gecikme değışimi mesajların hedefe ortalama varış sürelerindeki gecikme değışimleridir. Genel olarak, gecikme değışiminin küçük olması, ortalamadan sapmaların az olduğunu gösterdiğinden istenen durumdur.

Şekil 4.12’de CAN, PROFIBUS ve WorldFIP endüstriyel ağlarını haberleşiren ATM omurga tasarımı görülmektedir. Tasarlanan omurganın modellenmesi ve başarımlı analizi Network II.5 simülasyon programı ile yapılmıştır. Modelleme; Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görülen, omurgaya bağlı CAN, PROFIBUS ve WorldFIP endüstriyel ağ trafiklerindeki gecikme verileriyle yapılmıştır.



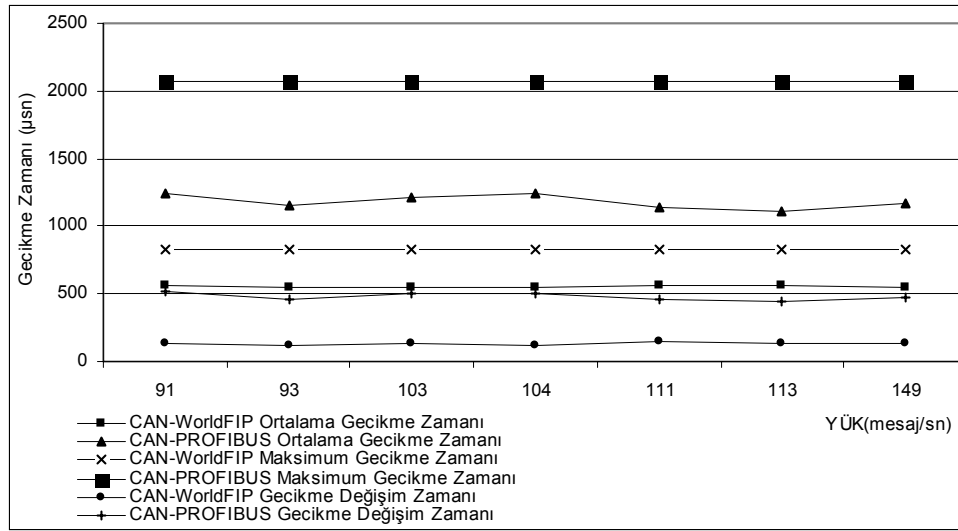
Şekil 4.12. WorldFIP, CAN, PROFIBUS Ağlar Arası Haberleşme İçin Tasarlanan ATM Omurga Modeli

Şekil 4.13’de WorldFIP ağın CAN ve PROFIBUS ağlar ile ATM omurga üzerinden uçtan uca haberleşme yaptıklarında meydana gelen gecikmeler görülmektedir. Meydana gelen gecikmeler Tablo 4.1’de verilen temel gecikmelerin birleşiminden oluşmuştur. Gecikmeler; WorldFIP’ten CAN’e 144 mesaj/sn’de maksimum 1124  $\mu$ sn, ortalama 864  $\mu$ sn, gecikme değişimi 132  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. WorldFIP’den PROFIBUS’a 142 mesaj/sn’de maksimum 2364  $\mu$ sn, ortalama 1522  $\mu$ sn, gecikme değişimi 426  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir.



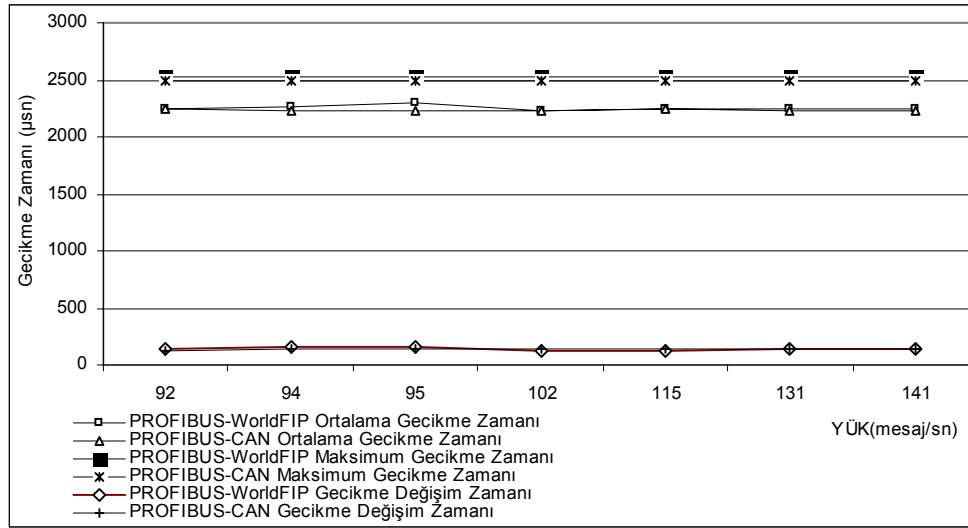
Şekil 4.13. WorldFIP Ağ ile CAN ve PROFIBUS Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri

Şekil 4.14’de CAN ağ düğümlerinin WorldFIP ve PROFIBUS ağ düğümleri ile ATM omurga üzerinden uçtan uca haberleşme yaptıklarında meydana gelen gecikmeler görülmektedir. Meydana gelen gecikmeler Tablo 4.1’de verilen temel gecikmelerin birleşiminden oluşmuştur. Gecikmeler; CAN’den WorldFIP’e 149 mesaj/sn’de maksimum 822  $\mu$ sn, ortalama 549  $\mu$ sn, gecikme değişimi 126  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. CAN’den PROFIBUS’a 149 mesaj/sn’de maksimum 2065  $\mu$ sn, ortalama 1173  $\mu$ sn, gecikme değişimi 549  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.14. CAN Ağ ile WorldFIP ve PROFIBUS Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri

Şekil 4.15’de PROFIBUS ağın WorldFIP ve CAN ağlar ile ATM omurga üzerinden uçtan uca haberleşme yaptıklarında meydana gelen gecikmeler görülmektedir. Meydana gelen gecikmeler Tablo 4.1’de verilen temel gecikmelerin birleşiminden oluşmuştur. Gecikmeler; PROFIBUS’dan WorldFIP’e 141 mesaj/sn’de maksimum 2531  $\mu$ sn, ortalama 2248  $\mu$ sn, gecikme değişimi 135  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir. PROFIBUS’dan CAN’e 132 mesaj/sn’de maksimum 2490  $\mu$ sn, ortalama 2224  $\mu$ sn, gecikme değişimi 132  $\mu$ sn olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.15. PROFIBUS Ağ ile WorldFIP ve CAN Ağların ATM Omurga Üzerinden Haberleşmesi Sonucu Oluşan Uçtan Uca Gecikme Değerleri

Omurga üzerinden düğümler arası uçtan uca gecikme değerleri Tablo 4.1'deki gecikmelerden meydana geldiğinden dolayı; benzetim sonuç verilerinin sunulduğu grafiklerdeki değerler ve değişimleri modellmede kullanılan köprü ve ağların düğümler arası uçtan uca gecikme değerleri değişimlerine yakın oldukları görülmektedir.

#### 4.5. Sonuç

Şekil 4.12'de görülen model, uzak WorldFIP, CAN ve PROFIBUS endüstriyel ağlardan oluşturulan heterojen ağ olarak ATM omurga üzerinden düğümler arası uçtan uca haberleşecek biçimde tasarlanmıştır. Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'deki endüstriyel ağların ATM omurga üzerinden haberleşmesi sonucu oluşan uçtan uca gecikme değerleri, gerçek zamanlı haberleşmenin üretim teknolojilerindeki gecikme sınırları olan 10–100 msn değerlerinin çok altında ve sürücü sistemlerindeki gecikmeler için öngörülen 1–10 msn aralığında meydana gelmiştir.

Bu bölümde, endüstriyel ağlar arasında, ATM omurga üzerinden köprü arabağlaşım düğümü ile gerçek zamanlı bir endüstriyel haberleşmenin başarı ile kurulabileceğini sonucuna varılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, endüstriyel uygulama alanlardaki uzaktan üretim, denetim, bakım vs. konularda yapılacak çalışmalara katkıda bulunacaktır.

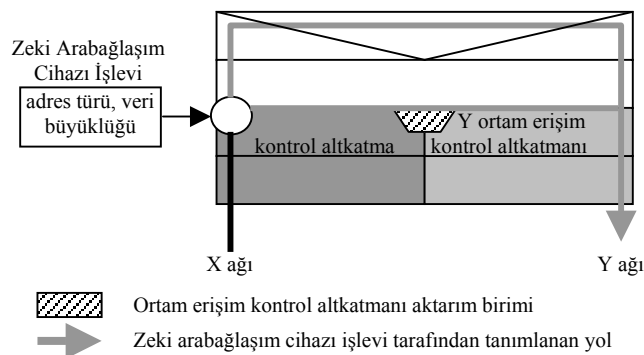
## BÖLÜM 5. WorldFIP/ATM KÖPRÜ BAŞARIMININ BULANIK MANTIK KONTROL YÖNTEMİ İLE ENİYİLEMESİ

### 5.1. Giriş

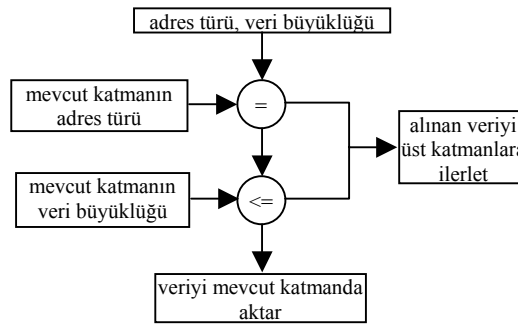
Bilgisayar ağlarında haberleşmeyi sağlamak için arabağlaşım cihazları (IWU-Interworking Units) kullanılır. Arabağlaşım cihazları sayesinde aynı veya farklı teknolojilere ait ağlar arasında haberleşme sağlanarak esnek ağ yapıları kurulabilir. Arabağlaşım cihazlarına örnek olarak geçityolu, yönlendirici, anahtar, köprü, tekrarlayıcı, hub, ağ kartları verilebilir (Bakınız Bölüm 2.3).

Zeki arabağlaşım cihazları ( $I^2U$ -Intelligent Interworking Units), yüksek hızlı ortamlarda, daha karmaşık ve gelişmiş işlemlere izin verirler. Farklı veri hızlarına, bağlantı karakteristiklerine ve ortam erişim yöntemlerine sahip yeni ve eski teknolojilerdeki ağların birlikte kullanılmalari sağlamak için kullanılırlar.

Şekil 5.1’de blok şeması görülen zeki arabağlaşım cihazları, aldığı verinin büyüklüğü ve adres türüne göre hangi katman görevlerini icra edeceğine karar verir. Cihaz gelen veri için Şekil 5.2’deki algoritmayı icra ederek veriyi ya kendi katman özelliklerine göre işler veya bir üst katmana yönlendirir. Zeki cihazlar geçityolu, yönlendirici, anahtar, veya köprü olarak tasarlanabilir [103].



Şekil 5.1. Zeki Arabağlaşım Cihazları Blok Şeması



Şekil 5.2. Zeki Arabağlaşım Cihazları Akış Şeması

Bu bölümde, önce zeki arabağlaşım cihazlarından zeki köprü mimarisi incelenerek sonra da Bölüm 3’de detayları sunulan “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü” için geliştirilen bir zeki yük dengeleme sistemi modellenmesi, benzetimi karşılaştırmalı başarımlar analizleri ile sunulmaktadır.

## 5.2. Zeki Köprü Mimarisi

Yerel alan ağı teknolojilerinin çoğu, CSMA/CD (IEEE 802.3) ve CSMA/CA (IEEE 802.11) gibi 2. katmanda, dağıtık rastgele ortam erişim kontrollerine sahiptir. Bu teknolojilerin hizmet kaliteleri oldukça sınırlıdır. Fiziksel veri iletim hızlarındaki artış ve ortamın paylaşılması konuları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin; IEEE 802.11e çalışma grubu tarafından kablosuz ağların tanımlandığı yeni teknolojiler geliştirilmiştir. IEEE 802.1D, ağlar arası bağlantılar için kapsayan ağaç teknolojisi ile farklı hizmet kalitelerinde iyileştirme sağlamış; ancak günümüz için yeterli olmamıştır. IEEE 802.1p teknolojisi IEEE 802.1D köprüleri için öncelikli kuyruklama standartlarını tanımlamıştır. IEEE 802.Q ise sanal yerel alan ağlarının yayın ve güvenliğinde destekleyen IEEE 802.1p teknolojisinin geliştirilmiş versiyonudur. IEEE 802.1s çoklu kapsayan ağaç ve çoklu sanal ağlar hakkındaki standartları tanımlar. Bu örneklerden de anlaşılacağı gibi, ağ teknolojilerindeki gelişmeler hizmet sınıfları ve kalitelerinin çeşitlenmesine neden olmuştur.

Köprüler, bir ağın mesafesini uzatmak, ağı alt bölümlere ayırmak veya farklı teknolojilerdeki ağları birleştirmek için kullanılır. Köprü bu görevlerini filtreleme, öğrenme, dönüşüm işlevleri ve IEEE 802.1D teknolojisi ile gerçekleştirir. Bu işlevler



köprüyü zeki arabağlaşım cihazları arasına koymaya yeterlidir [108]. Günümüz geniş alan ağları teknolojilerindeki gelişmeler ve ihtiyaçlar göz önüne alındığında köprülerin zekilik özellikleri band genişliği yönetimi, kanal izleme, port planlama, kuyruk yönetimi ve köprü yönetimi olarak beş sınıfta toplanabilir [104].

- Band genişliği yönetimi; ağız fiziksel ortamının tüm düğümler tarafından en etkin ve adil biçimde paylaşılmasını sağlayacak algoritmaları içerir. Fiziksel bağlantının aşırı yüklenmesini önlemede rol oynar ve bunu trafik kontrol veya yük kontrol mekanizmaları ile gerçekleştirir.

- Kanal izleme; band genişliği yöneticisi ve port planlama birimlerinin işlerini gerçekleştirmeleri için kullanacakları, her bir çıkış portu ile ilgili ve belirli parametrelere dönüştürülen kanal kalitesi verilerini tutar. Kanal kalitesi farklı katmanlarda, katmana özel iletilen veri miktarıyla ilgili çeşitli bilgileri ölçerek ve istatistiksel sonuçları değerlendirerek hesaplanır.

- Port planlama; kanal kaynaklarının durumlarına göre, hizmet kalitesine uyarlanmış kuyruklama algoritmalarıyla planlama yöntemlerini kapsar. Port planlayıcı, kullanılabilir tüm kaynak atamalarından sorumludur. Kanal koşulları iyi olduğu zaman başarıyı izler, kanal koşulları kötü olduğu zaman, hizmet kalitesi gereksinimlerine göre önceden belirlenmiş kaynak atama türleri arasında seçicilik görevi yapar. Port planlayıcı, durumuna göre zamanla değişen kanal kalitesini sistem için en yüksek seviyeye çıkartabilir.

- Kuyruk yönetimi; çeşitli hizmet kalitesi ihtiyaçları ile ilişkilendirilmiş kuyruklama yöntemleri için aktif kuyruk yönetimi (AQM-active queue management) algoritmasını gerçekleştirir ve köprüdeki tampon bellek kaynaklarının adil olarak yerleşimini sağlar. AQM, kuyrukta tıkanıklığa olanak tanımadan paketlerin kuyruklaması yaklaşımıdır.

- Köprü yönetimi; bir veya daha fazla hizmet kalitesi ile ilişkili özellikleri destekleyen köprü iletişim kurallarını gerçekleştirir. Dinamik anahtar yapılandırması ve yük dengelemeden sorumludur. Örneğin; IEEE 802.1p ve IEEE 802.1Q gibi

standart tabanlı önceliklendirilmiş trafiği destekleyerek düzenleyebilir veya geliştirilmiş köprüleme yöntemlerini hizmet kalitesi başarımının ve kaynakların kullanımının arttırmasında kullanabilir.

### 5.3. Ağ Denetim Mekanizmaları ve Kuyruk Yönetimi

Yüksek hızlı ağlarda arzulanan ağ performansını sağlamak için bağlantı kabul denetimi, kullanım parametre denetimi, öncelik denetimi ve tıkanıklık denetimi olmak üzere dört çeşit ağ trafik denetim yöntemi kullanılır [73]. Bağlantı kabul denetimi, yeni bağlantı isteğinin kabul edilip edilmeyeceğine karar verir. Bu karar, bandgenişliği ve tampon bellek kaynaklarının kullanılabilirliği ve hizmet kalitesinin yeni bağlantıya uygunluğuna göre verilir. Kullanım parametre denetimi, trafik hacmi ve hücre yönlendirme geçerliliği bakımından, kullanıcı veri trafiğinin izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla ağ tarafından yapılan işlemlerdir. Öncelik denetimi, transfer edilecek verinin, kullanıcı tarafından daha önemli ve daha az önemli şeklinde sınıflandırıldığı durumlardaki bağlantıyı sağlayacak işlemleri içerir. Bu öncelik sistemleri için farklı tamponlama yaklaşımları mevcuttur. Tıkanıklık denetimi, hizmet kalitesinin bozulmasına ve tampon bellek taşmalarına neden olabilecek uzun yayılım gecikmelerini geribesleme kontrolleri ile denetler [105].

Kuyruk yönetimi, ağ denetimleri için önemlidir. Kuyruk yönetiminde, tampon belleği kullanan birimler tampon bellekten en etkin biçimde faydalanır ve tamponda tutulan veri miktarı en aza indirilmiş olur. Böylece tamponlardaki gecikmeler azalır ve sistem performansında artış sağlanır.

Bu denetimler iki algoritma ile gerçekleştirilir. Birincisi geleneksel algoritmadır; mevcut bağlantılara ait hizmet kalitesi ağ kaynakları bozulmalarını hesaplamak amacıyla doğrusal fonksiyonları kullanarak çalışır. Algoritma yeni çağrının bandgenişliğini mevcut bandgenişliği ile karşılaştırır. Eğer hizmet kalitesi parametreleri etkilenmeden kalmışsa bağlantı kurulmuştur. Geleneksel algoritmalar ağdaki trafiğin tüm istatistiklerinin bulunma zorluğundan dolayı bazı sınırlamalarla karşılaşır ve sadece kararlı durumlarda en iyi çözümleri sağlarlar. Diğer taraftan

kontrol algoritmaları değişen ağ koşullarını izleyerek trafik düzenlemelerini dinamik olarak yapabilmelidirler. Normalde bu koşullar karışık ve önceden kestirilemez. Bu nedenle sistemin istatistiksel dalgalanmaları tahmin edilemez. Büyük ağlarda eksik bilgilerin bulunması bu işi daha da zorlaştırır [106].

İkinci algoritma, geleneksel yöntemlerin yetersizliklerini, sınırlamalarını ortadan kaldıran, yüksek hızlı ağların trafiklerini önceden tahmin edebilen ve buna göre çalışmasını ayarlayabilen yöntemleri içerir. Trafiğin davranışını önceden tahmin eden bulanık model kullanılarak gerçekleştirilir [106].

#### **5.4. Bulanık Mantık Kontrol ile Köprü Tamponlarının Kuyruk Yönetimi**

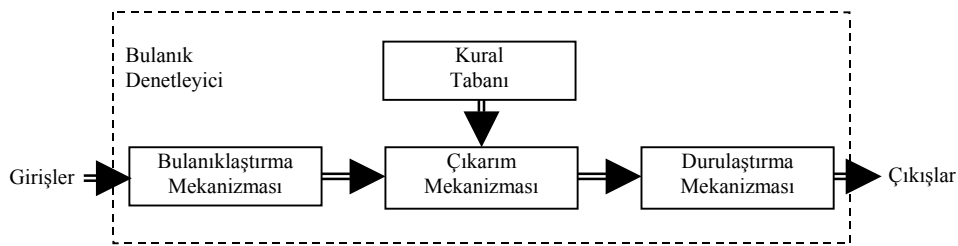
Köprüler, portlar arasında (porttan porta) mesaj kabul, filtreleme, dönüştürme ve iletme gibi benzer işleri yaparlar. Bu fonksiyonları gerçekleştiren birimler tamponlarda kuyruklanan mesajları işlerler. Mesajlar, ilk giren ilk çıkar (FIFO-First In First Out) tampon kuyruklarda saklanırlar. Birimler arasındaki veri yollarının kullanım süreleri, birimlerin işlevlerini gerçekleştirme süreleri ve tamponlarda mesajların bekleme süreleri köprünün toplam işlem süresini belirler. Bu süreler bir mesaj için önceden hesaplanarak belirlenebilir; fakat, farklı yükler altında köprü işlem süresi her zaman değişiklik gösterir.

Köprü birimleri ve tamponlarının en etkin biçimde kullanımı köprünün işlem süresinin en aza indirilmesini sağlayacaktır. Bu, değişen trafik miktarlarına göre köprü birimlerinin, tamponlarının ve iletim yollarının kullanım düzeylerini öğrenebilen ve öğrendiği trafik değişim davranışlarına göre doğru denetim kararlarını verebilen köprü yönetimi ile mümkündür. Böyle bir yönetim mekanizması bulanık mantık kontrol ile gerçekleştirilebilir.

Bulanık kontrolün, öğrenebilme, optimizasyon yapabilme, insan gibi “Eğer-ise” kuralları ile karar verebilme, uzman bilgisine göre çıkartım yapabilme gibi birçok avantajları vardır. Bulanıklık, kesin olmayan/belirsiz verileri ifade etmemizi sağlayan bir kavramdır. Bu kavramı tamamlayan bazı öğeler vardır. Örneğin; trafiğin

yoğunluğu, türüne göre çeşitli birim veya miktarlar ile ifade edilerek tanımlanabilir. Burada trafik yoğunluğu üyelik fonksiyonu ögesinin adıdır. Fakat trafik yoğunluğu anlık değerlerine göre {çok\_az, az, normal, çok, çok\_fazla} gibi dilsel bilgilerle de ifade edilebilir. Bu ifadeler trafik yoğunluğunun dilsel, bulanık değerleridir. Bu dilsel bilgilerin kesin sınırları olmamakla birlikte genel kabul edilebilir makul sınırları vardır. Bu sınır aralıkları, belirsiz bölgeleri ifade eder. Örneğin; {az} dilsel ifadesinin alt sınırları aynı zamanda {çok\_az} dilsel ifadesinin üst sınırlarını da kapsar. Bu bölgedeki gerçek bir değer ne oranla {çok\_az}, ne oranla {az} dilsel bilgisini temsil ettiği önemlidir. Bu oran 0 ile 1 arasında, üyelik değeri (ağırlık) ögesidir.

Şekil 5.3’de görülen bulanık kontrol sisteminin genel blok şemasında, sistemi kontrol eden bulanık denetleyicideki Bulanıklaştırma Mekanizması, girişlerine gelen anlık değerleri, hazırlanan üyelik fonksiyonlarındaki dilsel bilgilere çevirerek, değerlerin ağırlığını hesaplar. Çıkarım Mekanizması, bulanıklaştırılmış bilgileri girişlerin ağırlıklarıyla çıkışların ağırlıklarının ilişkilerinin tutulduğu Kural Tabanındaki “Eğer-ise” kurallarına göre değerlendirerek sistem kontrolü hakkında karar verir. Verilen kararın sonucu bulanık bir bilgi/ağırlıktır. Durulaştırma Mekanizması, bulanık çıkış bilgisini çıkış üyelik fonksiyonuna göre çıkış kontrol değerine dönüştürür. Bu değer sistemi kontrol edecek en iyi değerdir. Kontrol edilecek sistem, aralarında bulanık ilişkiler kurulabilen birden çok giriş ve çıkıştan oluşabilir.



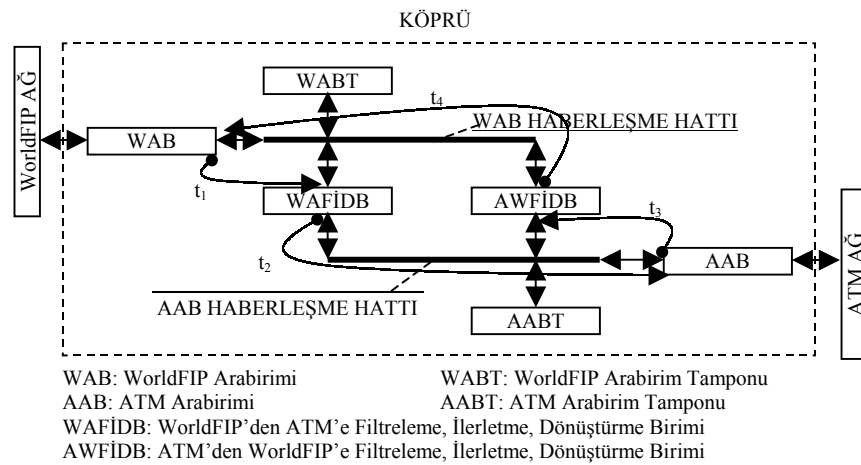
Şekil 5.3. Bulanık Kontrol Sisteminin Blok Şeması

Bu tez çalışmasında tasarlanan ve başarımlı analizi yapılan köprü arabağlaşım cihazını oluşturan tüm birimler arasında da bulanık ilişkiler kurmak mümkündür. Köprüyü kontrol edecek bulanık sistemi oluşturmak için yapılması gereken işler iki aşamada gerçekleştirilebilir:

- Köprü başarımını etkileyecek bulanık gecikme giriş/çıkış değişkenleri ve özelliklerinin belirlenmesi,
- Elde edilen bulanık değişkenler arasındaki ilişkilerin kurulması.

#### 5.4.1. Giriş/Çıkış Değişkenleri ve Özellikleri

Köprünün uçtan uca mesaj/hücre iletim süresi, ağ sistemi için bir gecikmedir. Köprüde gecikmeyi oluşturan durumlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Şekil 5.4):



Şekil 5.4. Köprüde Gecikme Oluşturan Öğeler

- $t_{WAB}$  :WAB'ın bir yöndeki girişinden aldığı mesajı işleyerek çıkışına ulaştırma süresi
- $t_{WABT}$  :WABT'nin mesajları üzerinde tutma süresi
- $t_{WAFİDB}$ :WAFİDB'nin girişinden aldığı mesajı işleyerek çıkışına ulaştırma süresi
- $t_{AAB}$  :AAB'in bir yöndeki girişinden aldığı hücreyi işleyerek çıkışına ulaştırma süresi
- $t_{AABT}$  :AABT'nin hücreleri üzerinde tutma süresi
- $t_{AWFİDB}$ :AWFİDB'nin girişinden aldığı hücreyi işleyerek çıkışına ulaştırma süresi
- $t_{WHHS}$  :WAB HABERLEŞME HATTI'ndaki mesaj/hücre iletim süresi
- $t_{WHBS}$  :WAB HABERLEŞME HATTI'na erişim için diğer birimlerin bekleme süresi

- $t_{AHHIS}$  :AAB HABERLEŞME HATTI'ndaki mesaj/hücre iletim süresi
- $t_{AHHBS}$  :AAB HABERLEŞME HATTI'na erişim için diğer birimlerin bekleme süresi

Anlık yük değişimlerine göre bu işlem süreleri de değişmekte, dolayısı ile birimlerin ve haberleşme hatlarının kullanım oranları da etkilenmektedir.

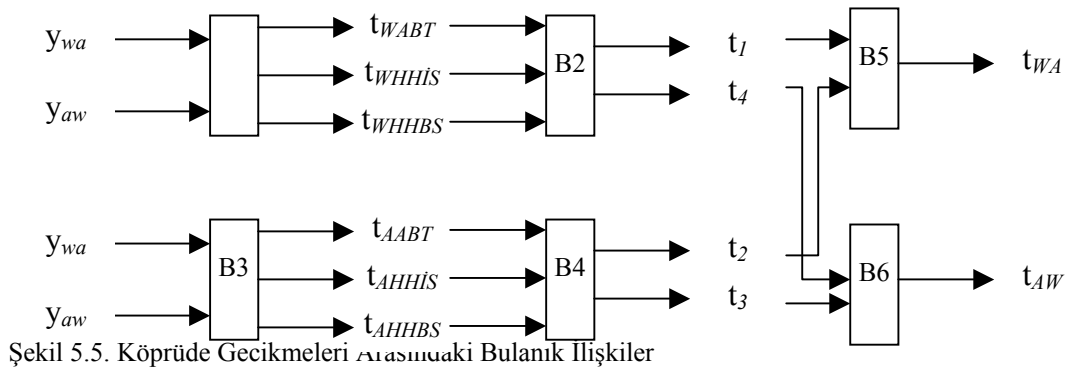
Yukarıda açıklanan gecikmeler dikkate alındığında WorldFIP tarafından gelen yük ( $y_{wa}$ ) ve ATM tarafından gelen yük ( $y_{aw}$ ) miktarına göre  $t_{WABT}$ ,  $t_{WHHIS}$ ,  $t_{WHHBS}$ ,  $t_{AABT}$ ,  $t_{AHHIS}$ ,  $t_{AHHBS}$  gecikmeleri sürekli değişim halindedir.  $t_{WABT}$ ,  $t_{WHHIS}$ ,  $t_{WHHBS}$  gecikmeleri  $t_1$  ve  $t_4$ 'ü,  $t_{AABT}$ ,  $t_{AHHIS}$ ,  $t_{AHHBS}$  gecikmeleri ise  $t_2$  ve  $t_3$ 'ü meydana getirir. Ayrıca WorldFIP'den ATM yönünde meydana gelecek gecikme ( $t_{WA}$ )  $t_1$  ve  $t_2$  gecikmelerinden, ATM'den WorldFIP yönünde meydana gelecek ( $t_{AW}$ ) gecikme  $t_3$  ve  $t_4$  gecikmelerinden oluşur. Geliştirilen modelde tanımlanan gecikmeleri meydana getiren parametreler girişleri, girişlere göre meydana gelen gecikme parametreleri de çıkışları oluştururlar.

Tüm köprü birimleri, anlık değişim sonuçları dikkate alınarak incelendiğinde, yük yoğunluğuna göre birimlerin gecikmeleri ve kullanım oranları arasında bulanık ilişkiler olduğu görülebilir. Yani birimlerin gecikmeleri ve kullanım oranları bulanıklaştırılarak aralarında ilişkiler kurallaştırılabilir. Modelde 6 adet bulanık ilişki kurulmuştur (Şekil 5.5).

#### 5.4.2. Giriş/Çıkış Değişkenleri Arasındaki İlişkiler

Şekil 5.5'de köprü gecikmeleri arasındaki bulanık ilişkiler görülmektedir. B1 bulanık ilişkisinde genel kural  $y_{wa}$  ve  $y_{aw}$  miktarı az ise  $t_{WABT}$ ,  $t_{WHHIS}$ ,  $t_{WHHBS}$  gecikmelerinin de az, normal seviyede ise,  $t_{WHHIS}$  normal,  $t_{WABT}$ ,  $t_{WHHBS}$  az, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı biçimindedir. B3 bulanık ilişkisinde genel kural  $y_{wa}$  ve  $y_{aw}$  miktarı az ise  $t_{AABT}$ ,  $t_{AHHIS}$ ,  $t_{AHHBS}$  gecikmelerinin de az, normal seviyede ise  $t_{AHHIS}$  normal,  $t_{AABT}$ ,  $t_{AHHBS}$  az, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı biçimindedir. B2 bulanık ilişkisinde genel kural  $t_{WABT}$ ,  $t_{WHHIS}$ ,  $t_{WHHBS}$  gecikmeleri az ise  $t_1$ ,  $t_4$  gecikmelerinin de az, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı

biçimindedir. B4 bulanık ilişkisinde genel kural  $t_{AABT}$ ,  $t_{AHHIS}$ ,  $t_{AHHBS}$  gecikmeleri az ise  $t_2$ ,  $t_3$  gecikmelerinin de az, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı biçimindedir. B5 bulanık ilişkisinde genel kural  $t_2$ ,  $t_1$  gecikmeleri az ise  $t_{WA}$  gecikmelerinin de az, normal seviyede ise normal, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı biçimindedir. B6 bulanık ilişkisinde genel kural  $t_4$ ,  $t_3$  gecikmeleri az ise  $t_{AW}$  gecikmelerinin de az, normal seviyede ise normal, fazla seviyede ise gecikmelerin de fazla olacağı biçimindedir.

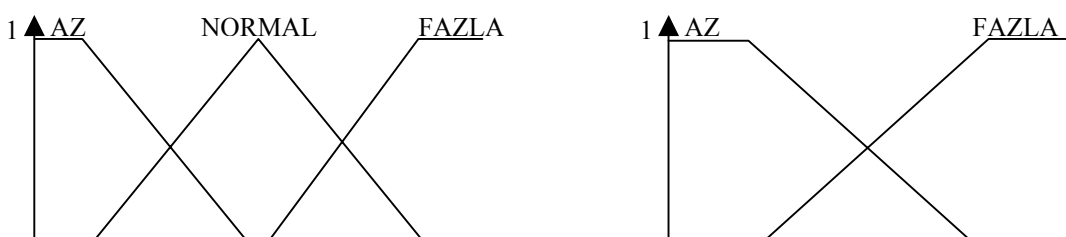


## 5.5. Sistemin Modellenmesi, Simülasyonu, Benzetim Sonuçları ve Başarım

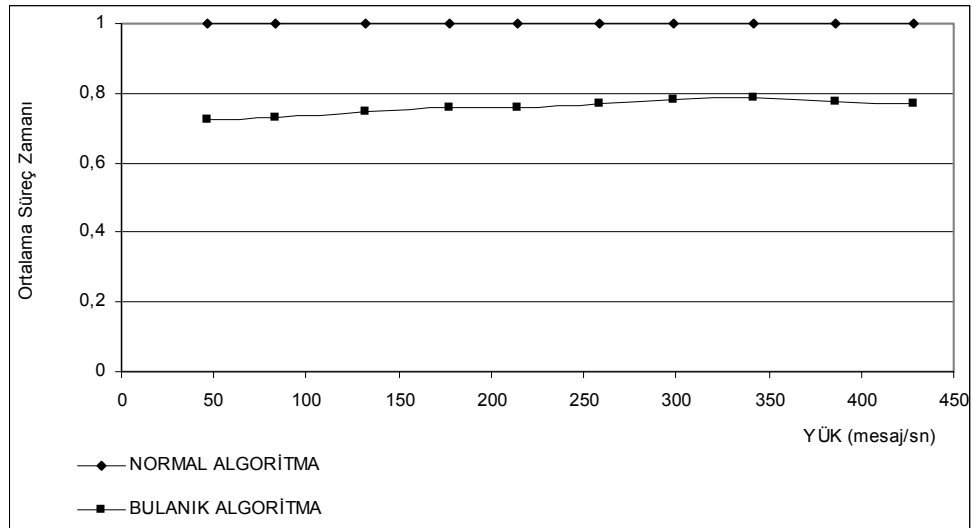
### Analizi

Yukarıda açıklanan model, Matlab programı Fuzzy Araç Kutusu ile modellenmiştir. Şekil 5.6'da modelde kullanılan giriş ve çıkış fonksiyonları görülmektedir. Fonksiyonu oluşturan değerler Bölüm 3'de tasarlanan köprü modelinin %70/%30 yerel/uzak yük altındaki çalışmasından elde edilen sonuç verilerinden alınmıştır.

Şekil 5.7'de WorldFIP-ATM süreç gecikme zamanının bulanık algoritma ile denetlenmesi sonucu elde edilen değerlerin, normal algoritma kullanıldığında elde edilen değerler ile normalize edilmiş sonuçları görülmektedir. Normalizasyon işlemiyle bulanık algoritmanın gecikme iyileştirme oranı daha iyi anlaşılabilir. Normalize edilmiş sonuçlar; normal köprü algoritmasının gecikme değeri 1 kabul edilerek, bulanık algoritmanın gecikme değerinin 1 değerine göre oranı hesaplanarak elde edilmiştir. Şekil 5.7'de, 46 mesaj/sn'de yaklaşık %28'lik, 342 mesaj/sn'de ise yaklaşık %22'lik, ortalama %24'lük bir iyileşme olduğu görülmektedir.



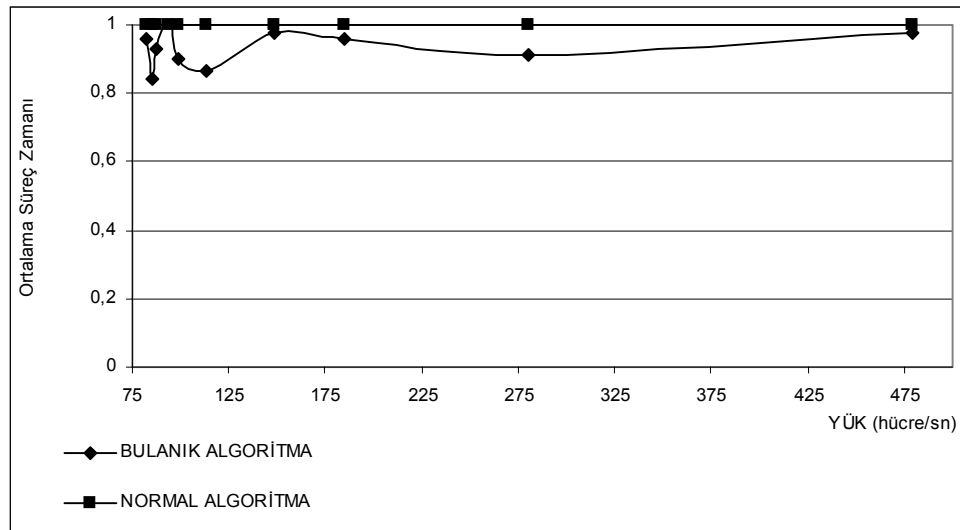
Şekil 5.6. Bulanık Giriş Çıkış Fonksiyonları



Şekil 5.7. Bulanık Algoritma ile WorldFIP-ATM Süreç Zamanı

Şekil 5.8’de ATM-WorldFIP süreç zamanını gecikmesinin bulanık algoritma ile denetlenmesi sonucu elde edilen değerlerin normalize edilmiş değerleri görülmektedir. ATM-WorldFIP yönünde, 85 mesaj/sn’de yaklaşık %17’lik, 149 mesaj/sn’de ise yaklaşık %3’lük, ortalama %7’lik bir iyileşme olduğu görülmektedir. Benzetim sonunda iyileşme oranlarındaki görülen değişimlerin anlık yük değişim değerlerine göre doğrusal olarak değil, bulanık üyelik fonksiyonları ve aralarındaki ilişkilere göre değiştiği gözlenmektedir.





Şekil 5.8. Bulanık Algoritma ile ATM-WorldFIP Proses Zamanı

## 5.6. Sonuç

Yapay zeka algoritmalarının geliştirilmeleri ve uygulamalarının hızla artmaktadır. Arabağlaşım cihazlarının yapay zeka algoritmaları kullanarak zeki hale dönüştürülmeleri cihazın işlev ve özelliklerine göre çok farklı yöntemler ile yapılabilir. Bu bölümde köprü gecikmelerini en aza indirmek, başarımını iyileştirmek için köprü birimlerindeki işlemler ve tamponlardaki beklemelere dayanan diğer köprü içi gecikmeleri, köprü yükü dikkate alınarak incelenmiştir. Yüke bağlı olarak gecikmeler arasındaki bulanık ilişkiler ortaya çıkartılarak, üyelik fonksiyonları ve kurallar bulanık kontrol algoritması ile modellenmiştir. Simülasyonlar sonundaki normalize edilmiş grafikler incelendiğinde, WorldFIP-ATM yönünde %22 – %28 ve ATM-WorldFIP yönünde ise %3 – %17 oranlarında iyileşmeler elde edildiği görülmektedir. Gecikme iyileşmesi WorldFIP-ATM yönünde en fazla 46 mesaj/sn’de yaklaşık 60  $\mu$ sn, en az 46 mesaj/sn’de yaklaşık 44  $\mu$ sn olarak elde edilmiştir. ATM-WorldFIP yönünde ise en fazla 85 mesaj/sn’de yaklaşık 469  $\mu$ sn, en az 149 mesaj/sn’de yaklaşık 62  $\mu$ sn olarak elde edilmiştir. Amacın köprü gecikmelerini azaltmak olduğu düşünülürse, en az iyileşme değerleri bile çalışmanın katkısını ortaya çıkarmaktadır.

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bilgisayar ağları, bilgisayarla tümleşik üretim mimarisinin her katmanında farklı görevleri üstlenerek, kendisine özel bir uygulama alanı bulmuştur. Bu uygulama alanını özel yapan ölçüt, endüstriyel uygulamalarda veri iletiminin gerçek zamanlı olması gereksinimidir. Gerçek zamanlı veri iletimi; algılayıcı ve kontrol cihazları arasında 100 bayttan küçük verilerin 1 sn'den (çoğu zaman 100 ms'den) kısa sürelerde iletilebilmesi ile tanımlanır. Bu gereksinim her ağ mimarisi, topolojisi ve protokolü ile istenilen düzeyde sağlanamamaktadır. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla alan ağları veya saha veri yolları olarak adlandırılan endüstriyel ağ standartları geliştirilmiştir. BACnet, BITBUS, CAN, CEBus, IEC Fieldbus, Interbus, Profibus, P-NET, WorldFIP gibi bir çok ağ protokol mimarisi ve standardı geliştirilmesine karşın bunların çoğu açık standart haline dönüştürülememiştir. Yapılan çalışmalar sonunda endüstriyel ağların IEC61158 ve EN50170 standartları ile yedi ayrı sınıfta toplanması önerilmiştir.

Son zamanlarda üzerinde çalışılmaya başlanan e-üretim konusu, bilgisayarla tümleşik üretim mimarisinin herhangi bir katmanının, küresel ağlar üzerinden, uzaktan denetiminin ve izlenmesinin önemini ortaya çıkarmıştır. Uzaktan denetim ve izlemenin de gerçek zamanlı veri iletimi gereksinimlerini karşılayacak biçimde yapılması gerekliliği, bu konudaki güçlüklerden birisidir.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel alan ağlarına uzaktan erişim, uzak endüstriyel alan ağlarının birlikte çalışmaları amacıyla yapılandırılacak olan heterojen ağların gerçek zamanlı veri transferi ölçütlerinin en iyi koşulları içerisinde haberleşebilmeleri için aşağıdaki yaklaşımlarla çözümler önerilmiştir:

Öncelikle, WorldFIP endüstriyel otomasyon sistemi ile günümüz en hızlı haberleşme teknolojisi olan ATM ağ üzerindeki bilgisayarlar arasında veri alışverişini sağlayacak

“İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü (Transparent Translation Bridges)” ara bağlaşım cihazı tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu tasarım modeline ait benzetim sonuçları elde edilerek başarımları analizleri yapılmıştır. Köprü, ATM haberleşme teknolojisinin alan ağları gereksinimlerini karşılayabilecek AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarına ait trafikleri taşıyabilecek biçimde tasarlanmıştır. Benzetim %70/%30, %50/%50 ve %30/%70 yerel/uzak trafik yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre; köprü gecikmelerinin gerçek zamanlı veri iletimi ölçütlerinin kabul edilebilir seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; WorldFIP-ATM süreç zamanı değişik yükler altında AAL3/4 için yaklaşık 206 – 221 µsn, AAL5 için yaklaşık 232 – 239 µsn, ATM–WorldFIP süreç zamanı ise AAL3/4 için yaklaşık 2,5 – 3,2 msn, AAL5 için yaklaşık 2,5 – 3,3 msn olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen bu sonuçlar çalışmanın diğer bölümleri için de önemlidir.

İkinci olarak, köprü arabağlaşım cihazları ile bir ATM küresel ağa (ATM omurga) bağlanan WorldFIP, CAN ve PROFIBUS endüstriyel alan ağlarının, uçtan uca haberleşmelerini sağlayacak heterojen bir ağ tasarlanarak modellenmiş ve gerçek zamanlı iletimi sağlayabilme açısından başarımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en fazla gecikme PROFIBUS’dan WorldFIP’e 141 mesaj/sn’de maksimum 2531 µsn olarak gerçekleştiği halde, ATM omurgasının başarımları ölçütü olan uçtan uca gecikmelerinin gerçek zamanlı veri iletimi değerlerinin kabul edilebilir seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar endüstriyel ağların küresel ağlar üzerinden, köprü arabağlaşım cihazı ile uzaktan denetimi ve izlenmesi bakımından önemlidir.

Son olarak, WorldFIP/ATM köprüünün, en önemli başarımları ölçütü olan uçtan uca ortalama süreç zamanı olarak da tanımlanan köprü gecikmesini en aza indirmek amacıyla bulanık mantık yöntemi kullanılarak zeki bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma; bulanık mantık yönteminden dolayı, köprüünün her iki tarafındaki yük miktarlarına göre, köprü birimlerinin daha önceki davranışlarından edindiği verilere dayanarak, daha sonraki yük değişimlerinde nasıl davranması gerektiğini öğrenir ve köprü birimlerinin çalışmasını yönlendirir. Elde edilen sonuçlara göre; köprüünün süreç zamanında %3 – %28 arasında bir azalma sağlanmıştır. Bu sonuçlar, önceki

bölümlerde incelenen gecikmeye bağlı tüm değerlendirmeleri iyileştirecek bir gelişmedir.

Tez çalışmasında özetle şu önemli katkılar sağlanmıştır:

- “İki Portlu WorldFIP/ATM Saydam Çevirimli Köprü” ara bağlaşım cihaz tasarımı, modellenmesi ve benzetimi yapılmıştır.
- Endüstriyel ağ trafiklerinin, AAL3/4 ve AAL5 hizmet sınıflarıyla, gerçek zamanlı haberleşme gereksinimleri ve kısıtlamalarının kabul edilebilir seviyelerinde veri iletimi gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.
- ATM omurganın, farklı endüstriyel ağlardan oluşabilecek heterojen ağ trafik yüklerini gerçek zamanlı veri iletimi ölçütlerinin kabul edilebilir seviyelerinde taşıyabilecek uygun bir teknoloji olduğunu yapılan çalışmalarla bir kez daha anlaşılmıştır.
- “Endüstriyel Ağ/ATM” köprülerinin ATM omurga bağlantılarındaki başarımı karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir.
- Köprü için, köprü gecikmesini azaltan ve köprü başarımını iyileştiren zeki bir bulanık mantık algoritması geliştirilmiş, böylece köprü başarımında nispi iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.
- Bu katkılar, endüstriyel ağların standartlaşma, birlikte çalışabilirlik ve uzaktan erişim sorunlarına çözüm olabilecektir.

### 6.1. Tartışma ve Öneriler

Bu tez çalışmasının devamında;

- E-üretim, e-bakım, e-yönetim konularında ATM omurga tabanlı, WorldFIP endüstriyel protokolü ve köprü arabağlaşım cihazının kullanım ve uygulama alanlarının araştırılması üzerine çalışmalar yapılabilir.

- Bulanık mantık ve diğer yapay zeka algoritmaları ile köprü ve ağ başarımını en iyiye çıkartacak zeki algoritma geliştirme çalışmalarına yön verilebilir.
- Köprülerin band genişliği yönetimi, kanal izleme, port planlama, kuyruk yönetimi ve köprü yönetimi özelliklerinin zekileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.
- WorldFIP endüstriyel alan ağının uzaktan zeki denetimleri için çalışmalar yapılabilir.
- Tez çalışmasında sunulan köprü arabağlaşım cihazı ve ATM omurga modeli kablosuz ağlar için ayrı bir çalışma modeli olarak geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Patzke, R., "Fieldbus Basics", Special issue on fieldbus basics, standards and applications, V.19, pp. 275-293, 1998
- [2] Thomesse, J.P., "A Review of The Fieldbuses", Annual Reviews in Control, 22 pp. 275-293, 1998
- [3] Moon, H., "Industrial Automation and Communication Networks", School of Electrical Engineering, Seoul National University, Korea, in 1998
- [4] Pfeifer, T., Park, H.S., Thrum, H., "Flexible Integration of Various Fieldbus and Sensor/Actuator Bus Systems into Machine Tool Control", Microsystem Technologies 3, 191-198, 1997
- [5] Hadellis, L., Koubias, S., Makios, V., "An Integrated Approach for An Interoperable Industrial Networking Architecture Consisting of Heterogeneous Filedbuses", Computers in Industry 1626, 1-16, 2002
- [6] Wang, Z., Wang, T., Yuan, M., Yu, H., "Research And Implementation Of Fieldbus Interoperability", Proceeding Of The 3rd World Congress On Intelligent Control And Automation, Hefei, China, June 28-July 2, 2000
- [7] Veoni, J.M., "Overview of An Integrated Network Management Architecture For A Large Heterogeneous Network", NOMS'92, 1992
- [8] Ekiz, H., Powner, ET., Kutlu, A., "Performance Analysis of a Ethernet/CAN Bridge", Proc. Of IEEE SICON'97 Conference, Singapore, pp. 71-85, 14-17 April 1997
- [9] Flammini, A., Ferrari, P., Sisinni, E., Marioli, D., Taroni, A., "Sensor Interfaces: from field-bus to Ethernet and Internet", Sensors and Actuators A: Physical Volume 101, Issues 1-2, Pages 194-202, 30 September 2002
- [10] Ouni, R., Soudani, A., Nasri, S., Abid, M., Torki, K., Tourki, R., "Interoperability of ATM-Ethernet Interworking System: Design And Congestion Control", Laboratoire D'electronique Et De Micro- Electronique, 2000
- [11] Vitturi, S., "On The Use Of Ethernet At Low Level Of Factory Communication Systems", Computer Standards&Interfaces 28, 267-277, 2001
- [12] Kaiser, J., Brudna, C., "A Publisher/Subscriber Architecture Supporting Interoperability of The Can-Bus And The Internet", 4th International Workshop On Factory Communication Systems, Sweden, August 28-30 2002
- [13] Schwaiger, C., Sauter, T., "A Secure Architecture for Fieldbus/Internet Gateways", Institute Of Computer Technology Vienna University of Technology, Austria, 2001
- [14] Noh, S.K., Lee, S.H., "An Implementation Of Gateway System For Heterogeneous Protocols Over ATM Network", Switching Technology Division, ETRI, Korea, 1997

- [15] Morel, P., Croisier, A., "A Wireless Gateway for Fieldbus", Swiss Federal Institute of Technology, Computer Engineering Department, 1995
- [16] Sauter, T., Lobashov, M., Pratl, G., "Lesson Learnt From Internet Access To Fieldbus Gateways", Institute Of Computer Technology Vienna University Of Technology, Austria, 2002
- [17] Chen, B., Zhao, W., Zhang, Y., Yen, J., "Fuzzy Adaptive Connection Admission Control For Real-Time Applications In ATM-Based Heterogeneous Networks", ISAI/IFIS'96
- [18] Chen, B., Sahoo, A., Zhao, W., Raha, A., "Connection-Oriented Communications for Real-Time Applications In FDDI-ATM-FDDI Heterogeneous Networks", IEEE International Conference on Distributed Computing System, Baltimore, MD, May 1997
- [19] Mizunuma, I., Shen, C., Takegaki, M., "Middleware for Distributed Industrial Real-Time Systems on ATM Networks", in Proceedings of the 17<sup>th</sup> IEEE Real-Time Systems Symposium, Washington, DC 1996.
- [20] Mizunuma, I., Shen, C., Takegaki, M., "New Architecture of Industrial Systems with Real-Time ATM Middleware", Third International Workshop on Real-Time Computing Systems Application (RTCSA '96) p. 246, 1996
- [21] Maaref, B., Nasri, S., Sicard, P., "Performance Evaluation of MMS/ATM Implementation", Labrotoire Logiciels Systemes, France, 1997
- [22] Kunert, O., "Interconnecting Field-buses Through ATM", Factory Communication Systems, 1997. Proceedings.1997 IEEE International Workshop on , pp.223-229, 1997
- [23] Kunert, O., Zitterbart, M., "Interconnecting Fieldbuses Through ATM", IEEE.International Workshop on Factory Communication Systems, 1997
- [24] Kunert, O., "Interworking Between Independent Profibuses Through ATM Networks", Broadband Communications, 2000. Proceedings. 2000 International Zurich Seminar on, pp.147-154, 2000
- [25] Özçelik, İ., "CAN/ATM ve PROFIBUS/ATM Yerel Köprülerinin Tasarımı", SAÜFBE Doktora tezi, 2002
- [26] Özçelik, İ., Ekiz, H., "Design, Implementation And Performance Analysis Of The PROFIBUS/ATM Local Bridge", Computer Standards & Interfaces 26, 329-342, 2004
- [27] Lauckner, R., Rausch, R., Riberio, P., Wijnands, T., "A Large Scale Flexible Real-Time Communications Topology for the LHC Accelerator", CERN 2000
- [28] Baribaud, G., Barillere, R., Bland, A., Brahy, D., Burckhart, H., Brun, R., Carlier, E., Heubers, W., Jirden, L., Perriollat, F., Swoboda, D., "Recommendations For The Use Of Fieldbuses At CERN In The LHC Era", ICALEPCS'97
- [29] Shay, W.A., "Understanding Data Communications and Networks", ITP, 1994
- [30] Çölkesen, R., Önercik, B., "Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri", Papatya Yayıncılık 2003
- [31] Ekiz, H., "Design, Implememtation And Performance Analysis Of CAN/CAN and CAN/ETHERNET Bridges", DPhil Thesis, The University of Sussex, Brighton, England, May, 1997

- [32] Enokido, T., Takizawa, M., "Flexible Group Communication Protocol for Distributed Systems", Proceedings of the 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'03), 2003
- [33] Schickhuber, G., McCarthy, O., "Distributed Fieldbus and Control Network Systems", Computing & Control Engineering Journal February 1997
- [34] Hallsall, F., "Data Communication, Computer Networks, Open Systems", Addison-wesley GM. Fourth Edition, USA, 1996
- [35] Mark, A., Miller, P.E., "Internetworking A Guide to Network Communications LAN to LAN, LAN to WAN", M&T Books 1995
- [36] Backes, F., "Transparent Bridges for Interconnection of IEEE 802 LANs.", IEEE Network, 25-32, January 1988
- [37] Amit, S., Ramakrishnan, G., "FDDI Speed Networks", Prentice Hall, 1994
- [38] Dixon, R.C. and Daniel, A., "Addressing Bridging and Source Routing.", IEEE Network, 5-9, January 1988
- [39] Schatzberg, G., "Internetworking Dissimilar LAN with FDDI", 15. Conference on Local Computer Network, Minneapolis, USA, 1990
- [40] Baykal, N., "Bilgisayar Ağları, Veri İletişimi, Yerel-Geniş Ağlar, İnternet Teknolojileri", SAS Bilişim Yayınları 2001
- [41] "IEEE Standard For Local and Metropolitan Area Networks - Common Specification. Part 3 Media Access Control (Mac) Bridges - Amendment 2 Rapid Reconfiguration", IEEE Std 802.1w-2001
- [42] "IEEE Standards For Local and Metropolitan Area Networks Media Access Control (MAC) Bridges", IEEE Std 802.1Q-1990
- [43] "IEEE Standards For Local and Metropolitan Area Networks Recommended Practice For Media Access Control (MAC) Bridging Of Ethernet V2.0 In Ieee 802 Local Area Networks", IEEE Std 802.1v-2001
- [44] "IEEE Standards For Local and Metropolitan Area Networks Virtual Bridged Local Area Networks", IEEE Std 802.1Q-1998
- [45] Backes, F., "Spanning Tree Bridges: Transparent Bridges for Interconnection of IEEE 802 LANs", IEEE Network, vol. 2, No. 1, pp. 5-9, Jan. 1988
- [46] Thomesse, J.P., "Fieldbuses and Interoperability", Control Engineering Practice 7, 81-94, 1999
- [47] Lawrenz, W., "World-wide status of CAN-Present and Future", 2<sup>nd</sup> International CAN Conference Proceeding, London 1995
- [48] "Controller Area Network-CAN Information", <http://www.algonet.se/~staffann/developer/CAN.htm>, 2004
- [49] Kutlu, A., "CAN Veri Haberleşme Sistemi ve Askeri Uygulama Alanları", Silahlı Kuvvetler Dergisi, Genel Kurmay Askeri Tarihi ve Stratejik Etüt Başkanlığı Yayınları, Ankara, Sayı 362, pp.55-57, Ekim 1999
- [50] Mclaughlin, R., "CAN Controlling from Cars to X-Rays", IEE Networking, UK, May 95
- [51] "Can Physical Layer", CIA, <http://www.can-cia.org/can/physical-layer/>, 2004



- [52] Lawrenz, W., "CAN System Engineering from Theory To Proactical Applications", Springer, Verlag, 1997
- [53] Bosch, R. GmbH., "CAN Specification", <http://www.can.bosch.com> 1991
- [54] CAN Newsletter, "Classification Of CAN Controller Chips", June 1994, Germany
- [55] Profibus Brochure, "Profibus Technical Description", September 1999
- [56] "PROFIBUS Technical Description", PROFIBUS Brochure, September 1999
- [57] Tranoris, C., Thramboulidis, K., "Towards A Realtime Interconnection Of Industrial Fieldbuses", Greece , Crete 2001
- [58] Tovar, E., Vasques, F., "Guaranteeing Real-Time Message Deadlines In Profibus Networks", Proceedings Of The 10. Euromicro Workshop On Realtime Systems, Berlin, Germany, IEEE Pres, June 1998
- [59] IEC, "IEC 61158 Series: Digital Data Communication For Measurement And Control-Fieldbus For Use In Industrial Control Systems", 2000
- [60] Mariño, P., Domínguez, M.A., Poza, F., Nogueira, J.B., "Design Of Distributed System Protocols Based On Standard FDL's", EUROMI'99, 1999
- [61] Tovar, E., Vasques, F., "Distributed Computing For The Factory-Floor: A Real-Time Approach Using WorldFIP Networks", Computers in Industry Volume 44, Issue 1, Pages 11-31, January 2001
- [62] Wang, Z., Song, Y.Q., Yu, H.B., Sun, Y., "Worst-Case Response Time Of Aperiodic Message In WorldFIP", IFAC, 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, 2002
- [63] Tovar, E., Vasques, F., "Engineering Real-Time Applications with WorldFIP: Analysis And Tools", Industrial Communication Protocols SICICA 2000, Buenos Aires, Argentina, 2000
- [64] Léaux, P., Luong M., Lalot, M., Poitevin, M., Saclay, C., "Design And Integration Of A Low Cost Node For A Distributed DAQ/Control System", Proceedings of EPAC, Paris, France, 2002
- [65] Rausch, R., Tavlet, M., "On-Line Radiation Test Facility For Industrial Equipment Needed For The Large Hadron Collider At CERN", CERN, Geneva, Switzerland International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Trieste, Italy, 1999
- [66] Fipware®: Alstom Technology Forworldfip 2001
- [67] Okumuş, Ö., Üzelgençer, A., Kaptan, H., Karaaslan, E., "ATM (Asynchronous Transfer Mode)", EÜ MMF Seminer Notları, Eylül 1996
- [68] Erdur, C., "İleri Bilgisayar Ağları ATM Semineri Raporu", Ege Üniversitesi, 1996
- [69] Çeken, C., "Kablosuz ATM Kullanarak Servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi", KOU Doktora Tezi 2004
- [70] Ebrahim, Z., "A Brief Tutorial on ATM", <http://www.lanl.gov/lanp/atm.tutorial.html>, 1992
- [71] Stallings, W., "Networking Standards A Guide to OSI, ISDN, LAN and MAN Standards", 1993

- [72] Ateş, A.F., “B-ISDN, ATM ve Diğer Gelişen Teknolojiler”, 1996
- [73] Ertürk, İ., Özcerit, A.T., “ATM Bilgisayar Ağlarına Giriş”, Beta yayınları, 2002
- [74] Krupicka, J., “A Short Introduction to ATM Concepts”, Wandel & Goltermann Technologies, Inc.1996
- [75] Manas, O., “ATM (Asynchronous Transfer Mode)-Zamana Bağımsız Aktarım Tipi”, Eylül 2000
- [76] Lampe, D., “Transfer Delay Deviation of Packets in ATD Switching Matrices and its Effect on Dimensioning a Depacketizer Buffer”, Proceedings of the International Conference on Computer Communications, Tel Aviv, pp.55-60, 1988
- [77] Lutz, K.A., “Consideration on ATM Switching Techniques”, International Journal of Digital and Analog Cabled Systems, vol.1, no.4, pp.237-243, October 1988
- [78] Çimensel, A., “ATM Networks Semineri (Bölüm1)”, 13.5.96
- [79] Stephen, P., Klett, Jr., ComputerWorld Dergisi Sayı 298 , Sayfa 43-48 , 1995
- [80] Ertürk, I., “Internetworking Between ATM LANs and Legacy LANs Over ATM Networks”. DPhil. Thesis, The School of Engineering and Information Technology, University of Sussex, 2000
- [81] “Simülasyon nedir?”, <http://www.uytes.com.tr/>, 2004
- [82] OPNET, “Modeler Modeling Concepts Manual”, OPNET Technologies, Inc.,Vol. 5, Release 9.0. 2002
- [83] Garrison, W.J., “NETWORK II.5 Tutorial: Network Modeling Without Programming”, Simulation Conference, 1990. Proceedings., Winter, Page(s):132 -1359-12, Dec 1990
- [84] Garrison, W.J., “Simulation of computer communications networks using Network II.5-without programming”, Military Communications Conference, MILCOM 88, Conference record. '21st Century Military Communications - What's Possible?'. IEEE, Page(s):1015 -1019, vol.323-26 Oct 1988
- [85] Munoz, J.L., Krzych, M.J., “A Study Of Computer Architecture Topology Simulation Using Network II.5, Simscript II.5, and ModSim II” , 1989. Conference Proceedings., IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Page(s): 636 -643, vol.214-17 Nov 1989
- [86] Mason, P.D., Elmaghraby, A.S., “Simulation Of Hypercube Architectures Using Network II.5”, Southeastcon '90. Proceedings., IEEE , Page(s): 457 -461 vol.2, 1-4 Apr 1990
- [87] Sharif, H.R., Furman, E.L., “ATCS RF Channel Modeling Using Computer Aided Engineering”, Vehicular Technology Conference, 1990 IEEE 40th , ,Page(s): 92 -99, 6-9 May 1990
- [88] Catania, V., Mazzola, L., Puliafito, A., Vita, L., “Throughput Analysis of DQDB in Overload Condition” ,Communications, 1991. ICC 91, Conference Record. IEEE International conference on, Page(s): 741 -747 vol.223-26, Jun 1991
- [89] CACI, “Network II.5 User’s Manual”, CACI Products Company, Release 12, November 1997

- [90] Hajare, A.R., "Performance Modelling of LAN Bridges and Routers", Local Computer Networks, 1991. Proceedings., 16th Conference on , Page(s): 554 -561, 14-17 Oct 1991
- [91] "Digital Data Communications For Measurement and Control–Fieldbus For Use iIn Industrial Control Systems–Part 4:Data Link Protocol Specification", International Standard IEC 61158-4 Second edition 2000-01
- [92] "Digital Data Communications For Measurement and Control–Fieldbus For Use In Industrial Control Systems–Part 3 :Data Link Service Definition", International Standard IEC 61158-4 Second edition 2000-01
- [93] "Digital Data Communications For Measurement and Control–Fieldbus For Use In Industrial Control Systems–Part 5:Application Layer Service Definition", International Standard IEC 61158-4 Second edition 2000-01
- [94] "Digital Data Communications For Measurement and Control–Fieldbus For Use In Industrial Control Systems–Part 6:Application Layer Protocol Specification", International Standard IEC 61158-4 Second edition 2000-01
- [95] "Fieldbus Standard For Use In Industrial Control Systems .Part 2:Physical Layer Specification and Service Definition", International Standard IEC 61158-4 Second edition 2000-01
- [96] Mariño, P., Domínguez, M.A., Poza, F. and Nogueira, J.B., "Design of Distributed System Protocols Based on Standard FDL's", Electronic Technology Department and Applied Electronics Institute, University of Vigo (Spain) E.T.S. Ingenieros Industriales, Apartado Oficial, 36200 Vigo, Spain, 1999
- [97] Mariño, P., Domínguez, M.A., Poza, F. and Nogueira, J.B., "Design of WorldFIP's Industrial Communication Systems Based on Formal Methods", Electronic Technology Department and Applied Electronics Institute, University of Vigo (Spain) E.T.S. Ingenieros Industriales, Apartado Oficial, 36200 Vigo, Spain, Bled, Slovenia, ISIE'99, 1999
- [98] Mariño, P., Domínguez, M.A., Poza, F. and Nogueira, J.B., "Application of Formal Description Techniques in The Framework of Factory Communication", Electronic Technology Department and Applied Electronics Institute, University of Vigo (Spain) E.T.S. Ingenieros Industriales, Apartado Oficial, 36200 Vigo, Spain, 1999
- [99] WorldFIP, "Interoperability Profile 2 Devices Version 1.0", 1995
- [100] Etschberger, K., "Controller Area Network", 2001
- [101] Cisco, "Internetworking Design Basics", 2004
- [102] Bassiouni, M., Chiu, M., Williams, J., "Evaluaition of Packet Delays and Packet Bundling in ATM Backbones", Proceedins.of IEEE MILCOM96, pp. 135-139., 1996
- [103] Markus, B., "Intelligent Bridges and Routers", IEEE 1992
- [104] Bansal, D., Bao, J. Q., Lee, C.W., "QoS-Enabled Residential Gateway Architecture", IEEE Communications Magazine, April 2003
- [105] Lim, H.H., Qiu, B., "Fuzzy Logic Traffic Control in Broadband Communication Networks", IEEE International Fuzzy Systems Conference, 2001
- [106] Karthik, S., Venkatesh, C., Natarajan, A.M., "Congestion Control in ATM Networks Using Fuzzy Logic", Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04), 2004

- [107] Prycher, M. D., "Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN", PrenticeHall, Third Edition, 1995
- [108] Rodeheffer, T. L., Thekkath, C. A., Anderson, D. C., "SmartBridge: A Scalable Bridge Architecture", SIGCOMM '00, Stockholm, Sweden, 2000

## ÖZGEÇMİŞ

Tuncay AYDOĞAN

1972 yılında Edirne’de doğdu. İlk ve orta eğitimini Çorlu Atatürk İlkokulu, Erzincan Mehmetçik İlkokulu ve Gazi İlkokulu ile, Erzincan Kazım Karabekir Ortaokulu, Bodrum Turgutreis Ortaokulu ve İstanbul 60. Yıl Sarıgazi Ortaokulunda tamamladı. Lise eğitimini İstanbul Ümraniye Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde tamamladı. 1994 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü Bilgisayar Öğretmenliği Programından mezun olarak lisans eğitimini tamamladı.

1994-1995 yıllarında M.E.B. Isparta Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümünde Teknik Öğretmen olarak görev yaptı. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü Kontrol Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

1997 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim dalında “Uzman Sistemler İle Sera Kontrolü” başlıklı tezi ile Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1998 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü Kontrol Anabilim dalında Öğretim Görevlisi oldu. Halen aynı görevine devam etmekte olan Öğretim Görevlisi Tuncay AYDOĞAN evli ve bir çocuk babasıdır.